



MINISTERO DELL'AMBIENTE  
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

**Rapporto sullo stato  
delle conoscenze scientifiche  
su impatti, vulnerabilità ed adattamento  
ai cambiamenti climatici in Italia**

**Citazione suggerita:** Castellari S., Venturini S., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Gatto M., Gaudioso D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M. (a cura di.) (2014). *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

© MATTM, Roma, 2014

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Tutti i diritti spettano al Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

ISBN 9788887728095

## **Coordinamento:**

*Daniela Pasella* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico),  
*Luisa Pierantonelli* (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare).

## **Coordinamento tecnico-scientifico:**

*Sergio Castellari* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), *Sara Venturini* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici).

## **Contributi tecnico-scientifici per settori:**

### **Vulnerabilità climatica presente e passata**

**Coordinatore:** *Franco Desiato* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** *Vincenzo Artale* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Michele Brunetti* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima), *Sandro Carniel* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine), *Guido Fioravanti* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Maurizio Maugeri* (Università degli Studi di Milano), *Valentina Pavan* (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente dell'Emilia-Romagna) *Claudia Simolo* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima), *Andrea Toreti* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale / Justus Liebig-Universität Gießen).

**Revisore esterno:** *Marina Baldi* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Biometeorologia).

### **Variabilità climatica futura**

**Coordinatore:** *Silvio Gualdi* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

**Gruppo di lavoro:** *Vincenzo Artale* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Sandro Carniel* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine), *Filippo Giorgi* (Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics), *Piero Lionello* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Università del Salento), *Antonio Navarra* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Istituto Nazionale di Geofisica e

Vulcanologia), *Valentina Pavan* (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente dell'Emilia-Romagna), *Antonello Provenzale* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima), *Paolo Ruti* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Rodica Tomozeiu* (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente dell'Emilia-Romagna).

**Revisore esterno:** *Alessandra Giannini* (International Research Institute for Climate and Society – Columbia University).

## Risorse idriche

**Coordinatori:** *Carlo Giupponi* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Michele Vurro* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque).

**Gruppo di lavoro:** *Diego Copetti* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Monica Garnier* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Raffaele Giordano* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Anna Luise* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Tommaso Moramarco* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica), *Ivan Portoghese* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Elisabetta Preziosi* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Emanuele Romano* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Maurizio Sciortino* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Gianni Tartari* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Pierluigi Viaroli* (Università degli Studi di Parma), *Raffaella Zucaro* (Istituto Nazionale di Economia Agraria).

**Revisore esterno:** *Guido Bazzani* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Biometeorologia).

## Desertificazione, degrado del territorio e siccità

**Coordinatori:** *Maurizio Sciortino* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Anna Luise* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** *Valentina Bacciu* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Università degli Studi di Sassari), *Mauro Centritto* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree), *Marco di Legnino* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Paolo Fiorucci* (Fondazione CIMA), *Carlo Giupponi* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Luca*

*Montanarella* (Joint Research Centre della Commissione Europea), *Marcello Pagliani* (Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia), *Giovanni Quaranta* (Università degli Studi della Basilicata), *Rosanna Salvia* (Fondazione MEDES), *Ivan Portoghese* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque), *Donatella Spano* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Università degli Studi di Sassari), *Michele Vurro* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque).

**Revisori esterni:** *Giuseppe Enne* (DesertNet International), *Pandi Zdruli* (Istituto Agronomico Mediterraneo Bari).

### Dissesto idrogeologico

**Coordinatori:** *Fausto Guzzetti* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica), *Alberto Montanari* (Università di Bologna), *Roberto Rudari* (Fondazione CIMA).

**Gruppo di lavoro:** *Renata Archetti* (Università di Bologna), *Francesco Bosello* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università degli Studi di Milano), *Alessio Capriolo* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Fabio Castelli* (Università degli Studi di Firenze), *Marta Chiarle* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica), *Pierluigi Claps* (Politecnico di Torino), *Carlo Giupponi* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Paola Mercogliano* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Centro Italiano Ricerche Aerospaziali), *Mario Parise* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica), *Marco Pizziolo* (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente dell'Emilia-Romagna), *Guido Rianna* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Centro Italiano Ricerche Aerospaziali), *Renzo Rosso* (Politecnico di Milano), *Paola Salvati* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica), *Pierluigi Viaroli* (Università degli Studi di Parma), *Michele Vurro* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque).

**Revisori esterni:** *Francesco Laio* (Politecnico di Torino), *Salvatore Grimaldi* (Università degli Studi della Toscana).

### Ecosistemi terrestri

**Coordinatore:** *Marino Gatto* (Politecnico di Milano).

**Gruppo di lavoro:** *Nicoletta Cannone* (Università degli Studi dell'Insubria), *Renato Casagrandi* (Politecnico di Milano), *Emilio Padoa-Schioppa* (Università degli Studi di Milano-Bicocca), *Juan*

*Terradez Mas* (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), *Antonio Ballarin Denti* (Università Cattolica del Sacro Cuore / Fondazione Lombardia per l'Ambiente), *Anna Bonardi* (Università degli Studi di Milano-Bicocca), *Giulio De Leo* (Stanford University / Università degli Studi di Parma), *Gentile Francesco Ficetola* (Università degli Studi di Milano-Bicocca), *Giulia Fiorese* (Joint Research Centre della Commissione Europea), *Mita Lapi* (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), *Francesco Malfasi* (Università degli Studi dell'Insubria), *Marisa Rossetto* (Politecnico di Milano).

**Revisori esterni:** *Giuseppe Bogliani* (Università degli Studi di Pavia), *Maurizia Gandini* (Museo delle Scienze di Trento).

## Ecosistemi marini

**Coordinatore:** *Roberto Danovaro* (Università Politecnica delle Marche).

**Gruppo di lavoro:** *Lisandro Benedetti-Cecchi* (Università degli Studi di Pisa), *Maria Cristina Buia* (Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli), *Carlo Cerrano* (Università Politecnica delle Marche), *Cinzia Corinaldesi* (Università Politecnica delle Marche), *Serena Fonda* (Università degli Studi di Trieste), *Simona Frascchetti* (Università del Salento), *Cristina Gambi* (Università Politecnica delle Marche), *Michele Mistri* (Università degli Studi di Ferrara), *Paolo Montagna* (Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Scienze Marine), *Cristina Munari* (Università degli Studi di Ferrara), *Anna Occhipinti-Ambrogi* (Università degli Studi di Pavia), *Antonio Pusceddu* (Università Politecnica delle Marche), *Gianluca Sarà* (Università degli Studi di Palermo), *Adriana Zingone* (Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli).

**Revisore esterno:** *Ferdinando Boero* (Università del Salento).

## Ecosistemi di acque interne e di transizione

**Coordinatore:** *Pierluigi Viaroli* (Università degli Studi di Parma).

**Gruppo di lavoro:** *Alberto Basset* (Università del Salento), *Marco Bartoli* (Università degli Studi di Parma), *Angela Boggero* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), *Marco Cantonati* (Museo delle Scienze di Trento, Sezione di Limnologia e Algologia), *Marzia Ciampittiello* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), *Diego Fontaneto* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), *Diana M. P. Galassi* (Università degli Studi dell'Aquila), *Piero Guilizzoni* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), *Massimo Lorenzoni* (Università degli Studi di Perugia), *Alessandro Ludovisi* (Università degli Studi di Perugia), *Antonella Lugliè* (Università degli Studi di Sassari), *Paolo Magni* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per l'Ambiente Marino Costiero), *Marina Manca* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), *Giuseppe Morabito* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli

Ecosistemi), *Luigi Naselli Flores* (Università degli Studi di Palermo), *Bachisio Mario Padedda* (Università degli Studi di Sassari), *Nicoletta Riccardi* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), *Michela Rogora* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), *Giampaolo Rossetti* (Università degli Studi di Parma), *Loreto Rossi* (Sapienza - Università di Roma), *Nico Salmasso* (Fondazione Edmund Mach - Istituto Agrario di San Michele all'Adige), *Nicola Sechi* (Università degli Studi di Sassari), *Fabio Stoch* (Università degli Studi dell'Aquila), *Davide Tagliapietra* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine), *Pietro Volta* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi).

**Revisore esterno:** *Anna Occhipinti* (Università degli Studi di Pavia).

## Salute

**Coordinatore:** *Luciana Sinisi* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** *Francesca De Maio* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Annamaria De Martino* (Ministero della Salute), *Anna Maria Fausto* (Università degli Studi della Toscana), *Luca Lucentini* (Istituto Superiore di Sanità), *Maura Manganelli* (Istituto Superiore di Sanità), *Roberto Romi* (Istituto Superiore di Sanità), *Jessica Tuscano* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Francesco Cuccaro* (Azienda Sanitaria Locale di Barletta-Andria-Trani), *Alessandra Marani* (Sapienza - Università di Roma), *Davide Renzi* (Sapienza - Università di Roma), *Remo Rosati* (Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Regioni Lazio e Toscana), *Gianfranco Tarsitani* (Sapienza - Università di Roma).

**Revisore esterno:** *Giorgio Assennato* (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Puglia).

## Foreste

**Coordinatori:** *Riccardo Valentini* (Università degli Studi della Toscana / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Maria Vincenza Chiriaco* (Università degli Studi della Toscana).

**Gruppo di lavoro:** *Valentina Bacciu* (Università degli Studi di Sassari / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Anna Barbati* (Università degli Studi della Toscana), *Marco Borghetti* (Università degli Studi della Basilicata), *Francesco Bosello* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università degli Studi di Milano), *Piermaria Corona* (Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura), *Carlo Giupponi* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Salvatore Grimaldi* (Università degli Studi della Toscana), *Tommaso La Mantia* (Università degli Studi di Palermo), *Paolo Menozzi* (Università degli Studi di Parma), *Lucia Perugini* (Università

degli Studi della Tuscia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Davide Pettenella* (Università degli Studi di Padova), *Andrea Piotti* (Università degli Studi di Parma), *Raoul Romano* (Istituto Nazionale di Economia Agraria - Osservatorio Foreste), *Cristina Rulli* (Politecnico di Milano), *Michele Salis* (Università degli Studi di Sassari / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Giuseppe Scarascia Mugnozza* (Università degli Studi della Tuscia), *Donatella Spano* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Università degli Studi di Sassari), *Dario Vespertino* (Università degli Studi della Tuscia).

**Revisori esterni:** *Tommaso Anfodillo* (Università degli Studi di Padova), *Renzo Motta* (Università degli Studi di Torino).

### **Agricoltura e produzione alimentare**

**Coordinatore:** *Marco Bindi* (Università degli Studi di Firenze).

**Gruppo di lavoro:** *Guido Bonati* (Istituto Nazionale di Economia Agraria), *Francesco Bosello* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università degli Studi di Milano), *Nicola Lacetera* (Università degli Studi della Tuscia), *Franco Miglietta* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Biometeorologia), *Pier Paolo Roggero* (Università degli Studi di Sassari), *Donatella Spano* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Università degli Studi di Sassari), *Domenico Ventrella* (Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura), *Lorenzo Brilli* (Università degli Studi di Firenze), *Fabio Eboli* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università Ca' Foscari di Venezia), *Roberto Ferrise* (Università degli Studi di Firenze), *Carlo Giupponi* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Valentina Mereu* (Università degli Studi di Sassari), *Marco Moriondo* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Biometeorologia).

**Revisore esterno:** *Marco Acutis* (Università degli Studi di Milano).

### **Pesca marittima**

**Coordinatore:** *Otello Giovanardi* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** *Tomaso Fortibuoni* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Simone Libralato* (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale), *Fabio Pranovi* (Università Ca' Foscari di Venezia), *Michele Romanelli* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Alberto Santojanni* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine).

**Revisore esterno:** *Giuseppe Scarcella* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine).

## Acquacoltura

**Coordinatore:** *Giovanna Marino* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** *Patrizia Di Marco* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Alessandro Longobardi* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Fabio Massa* (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura – Commissione Generale della Pesca per il Mediterraneo), *Giuseppe Prioli* (Associazione Mediterranea Acquacoltori).

**Revisore esterno:** *Davide Fezzardi* (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura).

## Zone costiere

**Coordinatore:** *Marco Zavatarelli* (Università di Bologna).

**Gruppo di lavoro:** *Fabrizio Antonioli* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Renata Archetti* (Università di Bologna), *Francesco Bosello* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università degli Studi di Milano), *Margaretha Breil* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Andrea Critto* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Carla Rita Ferrari* (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente dell'Emilia-Romagna), *Antonio Marcomini* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Sergio Silenzi* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Greta Tellarini* (Università di Bologna), *Silvia Torresan* (Università Ca' Foscari di Venezia / Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici).

**Revisori esterni:** *Attilio Rinaldi* (Fondazione Centro Ricerche Marine).

## Turismo

**Coordinatore:** *Andrea Bigano* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei).

**Gruppo di lavoro:** *Francesco Bosello* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università degli Studi di Milano), *Mariaester Cassinelli* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Alessandro Lanza* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), *Mara Manente* (Centro Internazionale di Studi sull'Economia Turistica), *Juan Terradez Mas* (Fondazione Lombardia per l'Ambiente).

**Revisori esterni:** *Roberto Cellini* (Università degli Studi di Catania), *Lionello Franco Punzo* (Università degli Studi di Siena).

### **Insedimenti urbani**

**Coordinatore:** *Andrea Filpa* (Università degli Studi Roma Tre).

**Gruppo di lavoro:** *Flavio Borfecchia* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Margaretha Breil* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Sergio Castellari* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), *Alessandro Dettori* (Università degli Studi di Sassari), *Serena Marras* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Università degli Studi di Sassari), *Simone Ombuen* (Università degli Studi Roma Tre), *Maurizio Pollino* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Donatella Spano* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Università degli Studi di Sassari).

**Revisori esterni:** *Francesco Musco* (Università IUAV di Venezia), *Michele Talia* (Università degli Studi di Camerino).

### **Patrimonio culturale**

**Coordinatore:** *Cristina Sabbioni* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima).

**Gruppo di lavoro:** *Alessandra Bonazza* (Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima), *Giulia Caneva* (Università degli Studi Roma Tre), *Annamaria Giovagnoli* (Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo - Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro), *Elisabetta Giani* (Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo - Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro).

**Revisore esterno:** *Elisabetta Zendri* (Università Ca' Foscari di Venezia).

### **Trasporti e infrastrutture**

**Coordinatore:** *Domenico Gaudioso* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** *Lorenzo Barbieri* (Università degli Studi Roma Tre).

**Revisore esterno:** *Stefano Caserini* (Politecnico di Milano).

## Industrie ed infrastrutture pericolose

**Coordinatore:** *Alberto Ricchiuti* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** --

**Revisori esterni:** --

## Energia

**Coordinatore:** *Domenico Gaudio* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Gruppo di lavoro:** *Francesco Apadula* (Ricerca sul Sistema Energetico), *Paola Faggian* (Ricerca sul Sistema Energetico), *Sergio La Motta* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Stefano Maran* (Ricerca sul Sistema Energetico), *Paolo Ruti* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Michela Volonterio* (Ricerca sul Sistema Energetico).

**Revisore esterno:** *Piero Pelizzaro* (Kyoto Club).

## Area alpina e appenninica

**Coordinatori:** *Antonio Ballarin Denti* (Università Cattolica del Sacro Cuore / Fondazione Lombardia per l'Ambiente), *Mita Lapi* (Fondazione Lombardia per l'Ambiente).

**Gruppo di lavoro:** *Marco Bindi* (Università degli Studi di Firenze), *Luca Cetara* (Accademia Europea di Bolzano), *Giulio De Leo* (Stanford University / Università degli Studi di Parma), *Marino Gatto* (Politecnico di Milano), *Franco Miglietta* (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Biometeorologia), *Marisa Rossetto* (Politecnico di Milano), *Claudio Smiraglia* (Università degli Studi di Milano), *Juan Terradez Mas* (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), *Pierluigi Viaroli* (Università degli Studi di Parma).

**Revisori esterni:** *Marcello Petitta* (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Riccardo Rigon* (Università degli Studi di Trento).

## Distretto idrografico del fiume Po

**Coordinatori:** *Jaroslav Mysiak* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Lorenzo Carrera* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei).

**Gruppo di lavoro:** *Silvano Pecora* (Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente dell'Emilia-Romagna), *Francesco Puma* (Autorità di Bacino del fiume Po), *Cinzia Alessandrini* (Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente dell'Emilia-Romagna), *Mattia Amadio* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Elisa Calliari* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Maria De Salvo* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Fabio Farinosi* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Silvia Santato* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Claudia Vezzani* (Autorità di Bacino del fiume Po).

**Revisori esterni:** --

### **Stime economiche degli impatti dei cambiamenti climatici e dell'adattamento in Italia**

**Coordinatori:** *Francesco Bosello* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università degli Studi di Milano).

**Gruppo di lavoro:** *Andrea Bigano* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei), *Alessio Capriolo* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), *Fabio Eboli* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici / Fondazione Eni Enrico Mattei / Università Ca' Foscari di Venezia), *Daniele Spizzichino* (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

**Revisori esterni:** --

Si ringraziano per il supporto alla revisione generale: *Silvia Medri, Lorella Reda, Melania Michetti, Eleonora Cogo* (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici).

# Sommario

<b>Introduzione generale.....</b>	<b>21</b>
<b>Variabilità climatica presente e passata .....</b>	<b>23</b>
Sintesi .....	23
Introduzione.....	23
Temperatura.....	28
Precipitazioni.....	34
Altre variabili .....	39
Mare.....	40
Conclusioni.....	44
Bibliografia .....	45
<b>Variabilità climatica futura.....</b>	<b>48</b>
Sintesi .....	48
Introduzione.....	49
Cambiamenti climatici e modelli numerici.....	49
I possibili cambiamenti del clima in Italia.....	61
Conclusioni.....	75
Bibliografia .....	79
<b>Risorse idriche.....</b>	<b>84</b>
Sintesi .....	84
Introduzione.....	85
Valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche .....	86
Verso l'individuazione e l'analisi delle misure di adattamento .....	101
Collegamento con altri settori.....	108
Conclusioni.....	108

Bibliografia .....	112
<b>Desertificazione, degrado del territorio e siccità.....</b>	<b>119</b>
Sintesi .....	119
Introduzione.....	120
I processi di desertificazione e l'influenza dei cambiamenti climatici.....	121
Aree sensibili alla desertificazione e al degrado .....	125
Analisi dei possibili impatti dei cambiamenti climatici sulle aree sensibili alla desertificazione .....	130
Azioni di adattamento intraprese in Italia .....	134
Verso l'individuazione di politiche ed azioni di adattamento.....	137
Valutazione economica delle misure di adattamento nelle zone a rischio di desertificazione	139
Bibliografia .....	140
<b>Dissesto idrogeologico .....</b>	<b>143</b>
Sintesi .....	143
Introduzione.....	144
Dati e informazioni.....	147
Rischio idrogeologico e cambiamenti climatici .....	152
Verso l'identificazione delle azioni di adattamento .....	163
Incertezze e incognite.....	170
Aree maggiormente vulnerabili .....	172
Implicazioni per altri settori.....	174
Bibliografia .....	175
<b>Biodiversità ed ecosistemi .....</b>	<b>182</b>
<b>Ecosistemi terrestri .....</b>	<b>182</b>
Sintesi .....	182
Introduzione.....	182
Classificazione degli impatti dei cambiamenti climatici globali.....	183

Impatti osservati dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi terrestri .....	185
Impatti attesi.....	199
Conseguenze per il territorio e la società .....	208
Azioni di adattamento intraprese per gli ecosistemi terrestri.....	211
Bibliografia .....	215
<b>Ecosistemi marini .....</b>	<b>230</b>
Sintesi .....	230
Introduzione .....	232
Impatto dei cambiamenti globali sugli ecosistemi marini .....	234
Vulnerabilità delle diverse tipologie di ecosistemi/habitat marini.....	248
Impatto dei cambiamenti climatici sul funzionamento degli ecosistemi marini.....	266
Casi di studio.....	267
Impatto dei cambiamenti climatici sui beni e servizi degli ecosistemi marini .....	273
Verso l'individuazione di azioni di adattamento .....	275
Bibliografia .....	279
<b>Ecosistemi di acque interne e di transizione .....</b>	<b>299</b>
Sintesi .....	299
Introduzione .....	300
Stato di conservazione, vulnerabilità ed effetti attesi dei cambiamenti climatici per gli ecosistemi di acque interne .....	303
Azioni di adattamento già intraprese .....	317
Problematiche intersettoriali.....	319
Bibliografia .....	322
<b>Salute .....</b>	<b>330</b>
Sintesi .....	330
Introduzione.....	335
Cambiamenti climatici e malattie trasmissibili .....	336

Clima, qualità dell'aria outdoor e indoor, malattie allergiche, respiratorie e cardiovascolari	351
Clima, sicurezza alimentare e nutrizionale.....	357
Clima e salute: i danni diretti.....	366
Considerazioni finali .....	373
Bibliografia .....	374
<b>Foreste.....</b>	<b>382</b>
Sintesi .....	382
Quadro di riferimento nazionale.....	385
Impatti dei cambiamenti climatici sulla funzionalità e sui servizi ecosistemici delle foreste .	400
Impatti sulle filiere socio-economiche .....	417
Azioni di adattamento intraprese .....	420
Bibliografia .....	430
<b>Agricoltura, pesca e acquacoltura.....</b>	<b>441</b>
<b>Agricoltura e produzione alimentare.....</b>	<b>441</b>
Sintesi .....	441
Introduzione.....	442
Gli aspetti chiave dell'impatto dei cambiamenti climatici.....	443
Azioni di adattamento intraprese .....	454
Interazioni tra strategie di adattamento e mitigazione .....	456
Stima dei costi e benefici.....	458
Incertezze e incognite.....	462
Aree più vulnerabili .....	464
Implicazioni per altri settori collegati.....	465
Bibliografia .....	471
<b>Pesca marittima.....</b>	<b>480</b>
Sintesi .....	480

Introduzione.....	480
Impatti dei cambiamenti climatici sulla pesca marittima e vulnerabilità del settore .....	483
Verso l'individuazione di azioni mitigatrici ed adattative.....	497
Bibliografia .....	499
<b>Acquacoltura.....</b>	<b>507</b>
Sintesi .....	507
Introduzione.....	507
Impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura .....	510
Vulnerabilità dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici .....	518
Verso l'individuazione di azioni di adattamento .....	523
Bibliografia .....	525
<b>Zone costiere.....</b>	<b>529</b>
Sintesi .....	529
Introduzione.....	529
Beni e servizi ecosistemici nella zona costiera: sensitività ai cambiamenti climatici.....	529
Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane .....	542
Dinamica dei litorali ed eventi estremi.....	554
Vulnerabilità delle zone costiere ai cambiamenti climatici .....	559
Impatto delle variazioni climatiche sulle aree urbane costiere.....	565
Il quadro politico e normativo sulla gestione delle zone costiere e l'impatto dei cambiamenti climatici.....	569
Elementi per una valutazione economica degli impatti e dell'adattamento nelle zone costiere .....	576
Bibliografia .....	580
<b>Turismo .....</b>	<b>591</b>
Sintesi .....	591
Introduzione.....	591

Valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul settore turistico in Italia.....	597
Verso l'individuazione di azioni di adattamento nel settore turistico.....	610
Stima dei costi e benefici.....	622
Bibliografia .....	625
<b>Insedimenti urbani.....</b>	<b>628</b>
Sintesi .....	628
Cambiamenti climatici e insediamenti urbani: specificità e riferimenti di contesto .....	629
Impatti dei cambiamenti climatici e vulnerabilità degli insediamenti urbani.....	638
Comprendere e valutare le problematiche climatiche di ciascun insediamento urbano: percorsi e metodi.....	660
Riflessioni sulla quantificazione dei costi per l'adattamento urbano .....	665
Caratteristiche generali di una strategia di adattamento per gli insediamenti urbani.....	670
Bibliografia .....	672
<b>Infrastruttura critica .....</b>	<b>675</b>
<b>Patrimonio culturale .....</b>	<b>675</b>
Sintesi .....	675
Stato delle conoscenze sull'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale in Italia .....	676
Vulnerabilità del patrimonio culturale e valutazione dei rischi .....	679
Vulnerabilità del paesaggio, valutazione dei rischi e strategie di base per la prevenzione del rischio naturale.....	690
Bibliografia .....	693
<b>Trasporti e infrastrutture.....</b>	<b>695</b>
Sintesi .....	695
Introduzione.....	695
Rischi e impatti.....	696
Criteri e norme per l'adattamento: resilienza e <i>climate proofing</i> .....	701

Riferimenti per la valutazione di impatti e azioni di adattamento settoriali .....	702
Verso l'individuazione di azioni di adattamento .....	704
Basi conoscitive per lo studio degli impatti, della vulnerabilità e dell'adattamento.....	707
Bibliografia .....	709
<b>Industrie ed infrastrutture pericolose.....</b>	<b>711</b>
Sintesi .....	711
Introduzione.....	712
Impatti.....	720
Valutazioni di rischio e di vulnerabilità.....	725
Basi conoscitive per lo studio degli impatti, della vulnerabilità e dell'adattamento.....	731
Bibliografia .....	733
<b>Energia .....</b>	<b>736</b>
Sintesi .....	736
Introduzione.....	738
Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento.....	739
Impatti sulla domanda di energia elettrica .....	742
Impatti sulla produzione di energia elettrica .....	744
Impatti sulla trasmissione e sulla distribuzione di energia elettrica.....	753
Valutazioni di rischio e di vulnerabilità.....	753
Verso l'individuazione di azioni di adattamento per il settore energetico .....	754
Azioni di adattamento intraprese .....	755
Basi conoscitive per lo studio degli impatti, della vulnerabilità e dell'adattamento.....	761
Bibliografia .....	765
<b>Casi speciali .....</b>	<b>768</b>
<b>Area alpina e appenninica .....</b>	<b>768</b>
Sintesi .....	768

Introduzione.....	769
Climatologia: tendenze in corso e previste .....	770
Impatti dei cambiamenti climatici sulle aree montane italiane .....	781
Definizione di azioni e interventi di adattamento delle aree montane ai cambiamenti climatici .....	795
Bibliografia .....	802
<b>Distretto idrografico del fiume Po .....</b>	<b>810</b>
Sintesi .....	810
Introduzione.....	810
Principali norme per la tutela quali - quantitativa della risorsa idrica.....	814
Clima .....	817
Scenari socio-economici per la valutazione dei consumi idrici .....	827
Descrizione dei settori principali e degli impatti dei cambiamenti climatici.....	832
Bibliografia .....	849
<b>Stime economiche degli impatti dei cambiamenti climatici e dell'adattamento in Italia.....</b>	<b>853</b>
Sintesi .....	853
Introduzione.....	854
Cambiamenti climatici, pesca/risorse ittiche e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica.....	855
Cambiamenti climatici, agricoltura e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica .....	856
Cambiamenti climatici, zone costiere e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica .....	860
Cambiamenti climatici, dissesto idrogeologico e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica.....	863
Cambiamenti climatici, turismo e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica .....	873
Conclusioni.....	875
Bibliografia .....	877

## Introduzione generale

Disporre di informazioni scientifiche attendibili è un fattore di fondamentale importanza per l'elaborazione della Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici. Per tale ragione il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha avviato la predisposizione del "Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici" coinvolgendo circa un centinaio di esponenti della comunità scientifica nazionale impegnata nella ricerca sui vari aspetti riguardanti i cambiamenti climatici.

L'elaborazione del Rapporto è stata effettuata secondo un approccio settoriale (settori e microsettori di cui alla Tabella 1.1) tenendo conto del lavoro svolto dal Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) e dalla Agenzia Europea dell'Ambiente (European Environment Agency - EEA).

Il Rapporto contiene inoltre un focus su due importanti casi speciali nazionali: l'area alpina e appenninica e, in particolare, il distretto idrografico del fiume Po. Inoltre, è evidente lo sforzo di dare adeguata considerazione ai vari aspetti che sono comuni a più settori.

<b>Variabilità climatica presente e passata</b>	
<b>Variabilità climatica futura</b>	
<b>Risorse idriche (quantità e qualità)</b>	
<b>Desertificazione, degrado del territorio e siccità</b>	
<b>Dissesto idrogeologico (frane e inondazioni)</b>	
<b>Biodiversità ed ecosistemi</b>	<b>Ecosistemi terrestri</b>
	<b>Ecosistemi marini</b>
	<b>Ecosistemi di acque interne e di transizione</b>
<b>Salute (determinanti ambientali e meteo-climatici)</b>	
<b>Foreste</b>	
<b>Agricoltura, pesca e acquacoltura</b>	<b>Agricoltura e produzione alimentare</b>
	<b>Pesca marittima</b>
	<b>Acquacoltura</b>
<b>Zone costiere</b>	
<b>Turismo</b>	
<b>Insedimenti urbani</b>	
<b>Infrastruttura critica</b>	<b>Patrimonio culturale</b>
	<b>Trasporti e infrastrutture</b>
	<b>Industrie ed infrastrutture pericolose</b>
<b>Energia (produzione e consumo di energia)</b>	
<b>Casi speciali</b>	<b>Area alpina e appenninica</b>
	<b>Distretto idrografico del fiume Po</b>

Tabella 1.1: Settori e microsettori considerati nel presente rapporto tecnico.

La stima dei costi e benefici degli impatti dei cambiamenti climatici e delle possibili azioni di adattamento è stata trattata in alcuni settori per i quali esiste un numero sufficiente di dati ed informazioni; inoltre questa è sintetizzata a parte in un capitolo finale dedicato all'analisi economica.

Mentre il presente rapporto tecnico-scientifico raccoglie le conoscenze esistenti e individua le premesse per l'adozione di future azioni di adattamento, le indicazioni strategiche sull'adattamento per i vari settori d'interesse sono contenute nel documento strategico *"Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici"* del MATTM.

# Variabilità climatica presente e passata

## Sintesi

La conoscenza del clima presente e del passato recente rappresenta il primo tassello necessario per identificare e stimare gli impatti dei cambiamenti climatici già avvenuti e quelli in corso. Essa si basa sulla elaborazione, attraverso l'applicazione di metodi e modelli statistici rigorosi, delle serie di osservazioni meteorologiche che soddisfano requisiti di qualità, continuità temporale, distribuzione e densità spaziale, omogeneità e regolarità di aggiornamento.

La temperatura media in Italia negli ultimi 100 anni è aumentata: le stime del rateo di riscaldamento sono dell'ordine di +1 °C/secolo negli ultimi 100 anni e di 2°C/secolo negli ultimi 50 anni; il rateo di variazione è ancora più consistente e stabile negli ultimi 30 anni. L'aumento della temperatura è più sensibile nelle stagioni estiva e primaverile. Il trend in aumento è confermato dall'andamento degli indicatori di estremi di temperatura.

Le precipitazioni cumulate medie annuali in Italia nel lungo periodo sono in lieve diminuzione (dell'ordine di 1%/decennio). Tuttavia il segno e il livello di significatività delle tendenze sono molto variabili a seconda dell'intervallo di tempo, dell'area geoclimatica e della stagione.

Nel lungo periodo si rileva anche una diminuzione significativa del numero di eventi di bassa intensità. Le tendenze di intensità e frequenza delle precipitazioni non sono invece univoche se si considerano finestre temporali più brevi e recenti e quando riguardano regioni specifiche del territorio italiano.

Per migliorare la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici è importante colmare i gap conoscitivi delle variazioni climatiche, a tal fine è prioritario superare gli attuali limiti normativi e organizzativi del monitoraggio meteoroclimatico in Italia.

## Introduzione

### Obiettivi

Nell'insieme delle conoscenze scientifiche utili e necessarie alla elaborazione della Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici, un primo e fondamentale ruolo è ricoperto dalla conoscenza del clima presente e passato. Essa permette, infatti, di identificare e di stimare gli impatti dei cambiamenti climatici già avvenuti e di quelli in corso.

Se le conoscenze sul clima futuro si basano fondamentalmente sull'impiego dei modelli numerici, quelle sul clima degli ultimi 100-150 anni e sulle tendenze in corso si fondano sul monitoraggio delle variabili meteorologiche, cioè sulle serie di osservazioni. Le osservazioni sono inoltre

necessarie per validare i modelli climatici e, attraverso i modelli statistici, sono utili a migliorare le proiezioni future alla scala locale.

Per assolvere al compito di produrre conoscenze solide e affidabili ai fini della Strategia nazionale, le serie di osservazioni devono soddisfare diversi requisiti: qualità dei dati, continuità temporale, adeguata distribuzione e densità spaziale, omogeneità e confrontabilità delle serie di dati e disponibilità e regolarità del loro aggiornamento. La mancanza di uno o più di questi requisiti può determinare stime degli impatti in corso errate, inaffidabili o comunque incerte e di scarsa utilità per i portatori di interesse (stakeholders); può indurre a considerare, erroneamente o impropriamente, i cambiamenti climatici come causa di specifici fenomeni o problemi ambientali, economici e sociali; o, al contrario, può indurre a non considerare o a sottovalutare problemi o fenomeni ambientali, economici e sociali le cui cause sono, almeno in parte, attribuibili ai cambiamenti climatici.

Pur avendo registrato grandi progressi, la conoscenza del clima passato e presente non può definirsi del tutto consolidata, né completa. Come documentato dagli ultimi rapporti dell'IPCC<sup>1</sup>, se c'è ormai una diffusa consapevolezza e affidabilità delle stime del riscaldamento globale, il livello di incertezza cresce man mano che si scende di scala e, soprattutto, quando si considerano variabili climatiche che risentono in maniera via via più indiretta delle variazioni del bilancio energetico indotte dalle emissioni e dall'assorbimento dei gas climalteranti. Pertanto, per esempio, la stima delle variazioni delle precipitazioni è più incerta, sia in senso spaziale che temporale, di quella delle variazioni della temperatura, e ancora più incerte sono le stime delle variazioni degli eventi climatici estremi.

Per tutti questi motivi, il monitoraggio del clima deve essere costantemente migliorato e meglio organizzato, in particolare laddove, come in Italia, alcuni dei requisiti sopra elencati risultano deboli. In considerazione dell'importanza e della valenza prolungata nel tempo della Strategia, il miglioramento, la razionalizzazione e, in definitiva, la riorganizzazione del monitoraggio climatico in Italia dovrebbero essere considerati parte integrante della Strategia stessa.

In questo capitolo si intende riportare una sintesi delle conoscenze sulle variazioni del clima in Italia nel passato recente e in modo particolare negli ultimi decenni. Ciò in considerazione del fatto che, nell'ambito della Strategia nazionale, le conoscenze sono finalizzate a identificare e possibilmente a valutare l'entità degli impatti già in corso, o a prevederne l'evoluzione a breve termine estrapolando nel tempo le tendenze in atto. Inoltre, anche per motivi di spazio, l'attenzione è focalizzata sulle stime delle variazioni climatiche più significative, mentre per i dettagli relativi alle singole variabili e per gli aspetti metodologici si rimanda ai lavori specifici

---

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico, il foro scientifico formato nel 1988 da due organismi delle Nazioni Unite, l'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) e il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) allo scopo di studiare il riscaldamento globale.

riportati in bibliografia. Per la caratterizzazione e la classificazione del clima italiano, si può invece fare riferimento all'atlante climatico d'Italia<sup>2</sup> e all'atlante dei tipi geografici (IGM, 2004).

Per quanto riguarda la scala spaziale, occorre tenere presente che, in generale, ai fini della Strategia è necessaria una conoscenza di impatti e vulnerabilità ai cambiamenti climatici ad alta risoluzione, cioè approfondita e dettagliata per ciascuna area soggetta ad una determinata tipologia di impatto. D'altra parte, le grandezze climatiche e anche i singoli indicatori di variazione hanno una rappresentatività spaziale assai diversa caso per caso; si pensi, per esempio, alla relativa uniformità delle variazioni della temperatura media rispetto a quelle della precipitazione cumulata. Poiché si tratta di strategia nazionale, le conoscenze qui riportate riguardano essenzialmente l'intero territorio nazionale o grandi aree geoclimatiche più o meno omogenee. In bibliografia sono tuttavia riportati anche studi relativi a variazioni climatiche a scala regionale o ad aree specifiche del nostro territorio, in modo particolare per quanto riguarda le precipitazioni. Sta anche all'analisi delle conoscenze degli impatti nei diversi settori il compito di evidenziare le lacune attuali e la necessità di disporre di alcuni indicatori della variabilità climatica alla scala locale.

### *Serie osservative*

L'Italia dispone di alcune tra le più lunghe e preziose serie di dati meteorologici esistenti al mondo. Le stime delle variazioni climatiche in Italia sono frutto, da un lato, delle attività di monitoraggio e di gestione degli archivi di dati da parte degli enti preposti; dall'altro, delle attività di recupero e analisi statistica delle serie osservative, svolte nell'assolvimento di compiti istituzionali o nell'ambito di progetti di ricerca nazionali e internazionali. Di particolare rilievo, il programma di ricerche ventennale svolto congiuntamente dall'Istituto per le Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAC-CNR) e dal Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano, che ha consentito di organizzare un archivio di serie storiche secolari e di svolgere analisi volte a documentare la variabilità e i cambiamenti climatici avvenuti nel nostro Paese nel corso degli ultimi due secoli (Brunetti et al., 2006; Nanni et al., 2009).

Il panorama delle attività istituzionali di monitoraggio in Italia ha subito notevoli variazioni nel corso del tempo. Attualmente diversi organismi nazionali e regionali dispongono di archivi di dati meteorologici relativi alle proprie reti di monitoraggio ed emettono bollettini, periodici e non, e altri prodotti di interesse per lo studio del clima italiano e delle sue variazioni. A livello nazionale, i principali organismi sono il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM)<sup>3</sup> e il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura – Unità di ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura (CRA-CMA, ex UCEA). L'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA) gestisce la rete ondometrica e la rete mareografica nazionali. Le regioni sono titolari degli archivi dell'ex Istituto Idrografico e Mareografico

---

<sup>2</sup> <http://clima.meteoam.it/AtlanteClimatico/Index.htm>

<sup>3</sup> La gestione di un certo numero di stazioni sinottiche aeroportuali è stata rilevata dall'ENAV.

Nazionale (SIMN) relativi ai territori di competenza e di diverse tipologie di reti meteoclimatiche: le reti di stazioni in telemisura che fanno capo ai centri funzionali di Protezione Civile e che in parte rappresentano il proseguimento dei rilevamenti della rete dell'ex SIMN; le reti di servizi meteorologici (o idrometeorologici) regionali; le reti di servizi agrometeorologici regionali. Gli organismi di cui si avvalgono le regioni per la gestione delle reti sono diversi: una decina di regioni si avvalgono delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA), altre regioni, dei Centri Funzionali di Protezione Civile Regionale, altre ancora di organismi connessi al CNR, a università o ad altri enti di ricerca.

La copertura temporale dei dati rilevati è estremamente variabile da rete a rete. Le misure hanno inizio dalla metà circa del XIX secolo per alcuni osservatori dell'UCEA, dalla prima metà del XX secolo per le stazioni del SIMN, dagli anni 1950 – 1960 per buona parte della rete sinottica del SMAM. Le reti regionali e la rete di stazioni automatiche del CRA-CMA sono più recenti ma, come detto, numerose stazioni delle reti regionali garantiscono la continuità di lunghe serie storiche. Anche la densità spaziale e la tipologia delle stazioni di misura, della strumentazione, delle variabili misurate e la frequenza delle osservazioni, variano da un periodo all'altro e da una rete all'altra, rispondendo ciascuna alle esigenze operative dei vari enti.

Al fine di dare una risposta, sia pure parziale, all'esigenza di disporre di dati e informazioni sul clima in Italia originati da diverse reti osservative, da alcuni anni l'ISPRA, in collaborazione con lo SMAM, il CRA-CMA, dieci ARPA e i servizi agro-meteorologici regionali della Sicilia e delle Marche, ha sviluppato il Sistema nazionale per la raccolta, elaborazione e diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA, Desiato et al., 2007; Desiato et al., 2011). In sintesi, l'obiettivo è di integrare le serie di dati provenienti da diverse fonti, armonizzare i metodi di calcolo e il controllo delle statistiche climatiche (indicatori), e garantirne l'aggiornamento regolare. Gli indicatori climatici elaborati attraverso il sistema SCIA sono pubblicamente accessibili.<sup>4</sup> Basandosi su di essi, a partire dal 2006 viene pubblicato un rapporto annuale (ISPRA, 2013) sullo stato e sulle tendenze del clima in Italia.

Nel 2009, alcuni servizi e centri funzionali regionali operanti nel Nord Italia hanno firmato un accordo inter-regionale dando vita a un archivio meteo-climatologico di dati giornalieri (ARCIS<sup>5</sup>). L'obiettivo, oltre alla raccolta in un unico archivio dei dati giornalieri delle serie con la massima copertura temporale, è l'analisi della qualità e dell'omogeneità statistica dei dati e la produzione di analisi oggettive giornaliere a partire dal 1961.

Rispetto alla esigenza di disporre con continuità di tutti i dati necessari alla conoscenza del clima italiano e della sua evoluzione, permangono diverse e importanti limitazioni, che derivano soprattutto dall'assenza di norme che regolino i ruoli e i rapporti tra diverse istituzioni. Come già

---

<sup>4</sup> [www.scia.isprambiente.it](http://www.scia.isprambiente.it)

<sup>5</sup> Il progetto ARCIS (Archivio Climatologico per l'Italia Settentrionale) è un progetto portato avanti dalle Agenzie Regionali e Provinciali per la Protezione dell'Ambiente del Nord Italia (ARPA e APPA) e dai Centri Funzionali di riferimento. ARCIS ha come obiettivo quello di costruire un data-base di dati climatologici giornalieri per il Nord Italia: [www.arcis.it](http://www.arcis.it)

esposto, le conoscenze sulla variabilità climatica presente e passata cui fare riferimento ai fini della Strategia devono essere di qualità controllata, riguardare in modo completo e uniforme tutto il territorio nazionale ed essere aggiornate regolarmente; perciò è di importanza prioritaria che siano messe in luce e attuate tutte le iniziative necessarie a garantire la disponibilità, la continuità nel tempo e la qualità delle serie osservative utili e necessarie alla stima delle tendenze climatiche, nel quadro di un sempre più urgente programma di riorganizzazione del monitoraggio meteorologico in Italia.

### *Metodi di elaborazione delle serie*

La disponibilità di un grande numero di serie osservative non è sufficiente a ricostruire le variazioni del clima passato e a stimare le tendenze in corso. Infatti le serie di dati non sempre sono sufficientemente continue e complete. Inoltre esse presentano spesso disomogeneità che sono la conseguenza di fattori esterni non climatici. Ad esempio, bruschi cambiamenti del valore medio possono essere dovuti allo spostamento della stazione di misura, alla sostituzione della strumentazione, a cambiamenti nell'esposizione dello strumento o all'adozione di nuove procedure di elaborazione dei dati. Cambiamenti nell'ambiente circostante la stazione (urbanizzazione o crescita di vegetazione) e cambiamenti graduali nella calibrazione o nelle caratteristiche fisiche dello strumento di misura (drift) possono altresì introdurre trend artificiali nelle serie (Peterson et al., 1998; Aguilar et al., 2003). Pertanto è necessario adottare tecniche per verificare l'omogeneità delle serie di dati e, se necessario, correggere (omogeneizzare) le serie stesse, al fine di filtrare i segnali non climatici.

Per individuare eventuali punti di disomogeneità e correggere le serie sono state sviluppate diverse metodologie, per lo più di carattere statistico. I principali e più recenti riferimenti per i metodi di omogeneizzazione sono la linea guida della Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) (Aguilar et al., 2003), i risultati della COST Action ES0601 Home<sup>6</sup> e quelli della Data Rescue Activity DARE<sup>7</sup> della OMM. Va comunque rilevato che i risultati dell'applicazione di metodi di omogeneizzazione diversi spesso non sono univoci; soprattutto, in questi casi, è di importanza fondamentale la disponibilità di informazioni (metadati) che documentino la storia delle stazioni di rilevamento; i metadati consentono infatti di individuare le eventuali disomogeneità e di applicare i metodi di omogeneizzazione in modo più attendibile.

Gran parte delle stime delle variazioni climatiche presentate in questo capitolo si basa sull'analisi statistica di serie omogenee. In Italia infatti, nel corso degli ultimi decenni, sono state svolte diverse attività di ricerca che hanno consentito di ottenere un numero rilevante di serie omogenee di temperatura e precipitazione di lunga durata, sia relative a tutto il territorio nazionale (Maugeri et al., 2004; Brunetti et al., 2006; Giavante et al., 2009) che a specifiche aree geografiche (Attorre et al., 2007; Eccel et al., 2012). Recentemente sono state omogeneizzate le serie di temperatura di 50

---

<sup>6</sup> [http://www.homogenisation.org/v\\_02\\_15/](http://www.homogenisation.org/v_02_15/)

<sup>7</sup> <http://www.climatol.eu/DARE>

stazioni della rete sinottica con le quali viene calcolata dal 2006, e aggiornata annualmente, una serie rappresentativa dell'anomalia della temperatura media in Italia (Toreti e Desiato, 2008a; ISPRA, 2013). Un insieme di 67 serie omogeneizzate della stessa rete (Simolo et al., 2010), unitamente ad un numero simile di serie secolari, costituiscono la base per la pubblicazione, da parte dell'ISAC-CNR, di bollettini mensili sull'evoluzione della temperatura e delle precipitazioni in Italia<sup>8</sup>. Nell'ambito di ARCIS, è stato individuato un gruppo di stazioni con serie omogenee (circa 600 serie pluviometriche e circa 170 serie termometriche) che vengono utilizzate al fine di produrre analisi oggettive che coprono l'Italia settentrionale.

Al fine di valutare la variabilità climatica, va sottolineata l'opportunità di utilizzare serie rappresentative di una certa area geografica, piuttosto che di singole stazioni (Nanni et al., 2009). L'aggregazione spaziale consente infatti di estrarre un segnale climatico più stabile e meno influenzato dagli errori casuali delle singole serie. Risulta inoltre conveniente analizzare e utilizzare le serie di anomalie, cioè delle differenze tra i valori medi di un periodo (anno, stagione, mese) e i corrispondenti valori medi di riferimento (normali) sul lungo periodo (30 anni secondo le linee guida della OMM). In tal modo, infatti, si possono attenuare le perturbazioni nelle serie indotte dai dati mancanti (Nanni et al., 2009; Desiato et al., 2012).

Una volta ottenuta una serie temporale ben rappresentativa dell'andamento di una variabile climatica in una determinata area, l'identificazione delle variazioni significative nel periodo di interesse e la stima della loro entità e del livello di significatività vengono effettuate mediante l'applicazione di test e tecniche di analisi statistica. I risultati, accompagnati dal livello di significatività statistica, dipendono dalla lunghezza della serie (Tomozeiu et al., 2000) e dall'eventuale riconoscimento di change point che separano periodi con trend distinti all'interno dell'intervallo di tempo complessivo (Tomé e Miranda, 2004).

## Temperatura

### *Valori medi*

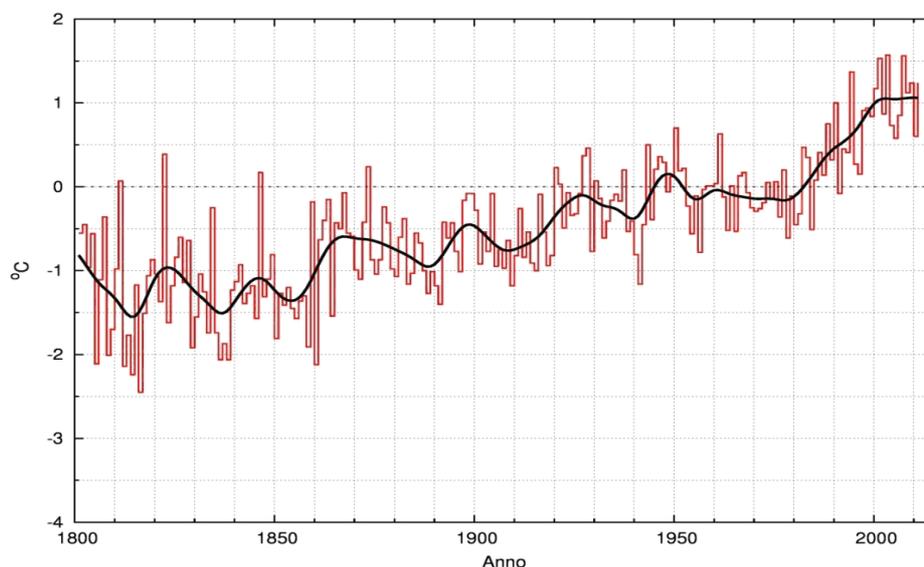
L'aumento della temperatura media registrato nell'ultimo secolo in Europa è superiore a quello medio globale (EEA, 2012). Viene stimata una differenza di circa 1,3 °C tra la temperatura media europea sulla terraferma nel primo decennio del XXI secolo e quella analoga relativa all'epoca pre-industriale. Il decennio più recente è il più caldo dell'intera serie, e si nota la maggiore entità e rapidità della variazione della temperatura a partire all'incirca dal 1980. Le aree soggette a un riscaldamento più intenso risultano essere la Penisola Iberica, l'Europa Centrale e Nord-Orientale e le aree montuose in generale (Haylock et al., 2008).

L'andamento della temperatura in Italia negli ultimi due secoli è stato analizzato approfonditamente da Brunetti et al. (2006). Le stime vengono aggiornate mensilmente in rete dal

---

<sup>8</sup> [http://www.isac.cnr.it/climstor/climate\\_news.html](http://www.isac.cnr.it/climstor/climate_news.html)

gruppo di climatologia storica dell'ISAC-CNR. Come già esposto, l'andamento della temperatura media nel lungo periodo presenta una debole variabilità spaziale; pertanto gli elementi salienti possono essere ben descritti da un'unica serie rappresentativa delle variazioni medie su tutta l'Italia (Figura 1.2).



**Figura 1.2:** Temperatura media annuale per l'Italia nel periodo 1800–2011. I dati sono espressi in termini di anomalie rispetto al periodo 1961-1990. La curva rappresenta la serie che si ottiene mediante l'applicazione un filtro gaussiano passa-basso (Fonte: ISAC-CNR).

La stima aggiornata al 2011 della variazione della temperatura media negli ultimi 200, 100, 50 e 30 anni è riportata in Tabella 1.2 assieme alle variazioni globali stimate dall'IPCC. Confrontando le stime nei diversi periodi si nota un progressivo aumento della pendenza del trend: il rateo di crescita della temperatura sugli ultimi 30 anni è infatti quasi quattro volte più forte di quello calcolato sugli ultimi due secoli. Questo è in accordo con il trend globale anche se, come si nota dalla Tabella 1.2, il rateo di crescita in Italia è circa il doppio rispetto a quello globale.

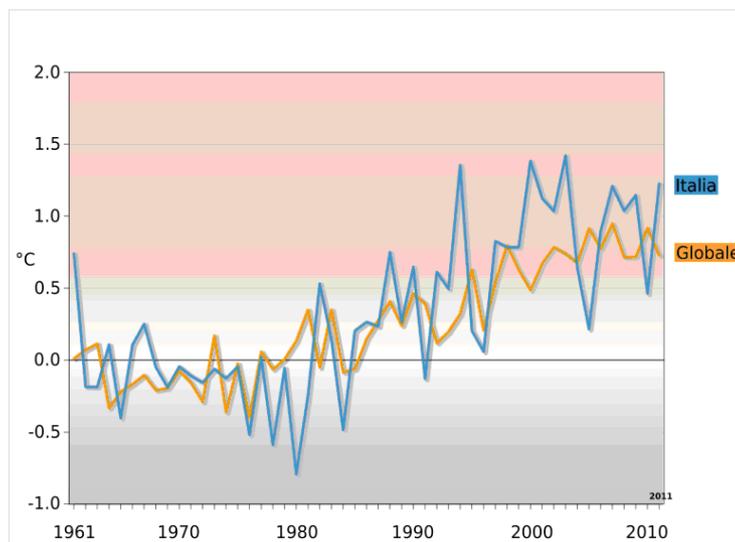
PERIODO	TREND TEMPERATURA MEDIA ITALIANA [°C/DECENNIO]	TREND TEMPERATURA MEDIA GLOBALE (DA IPCC 2007) [°C/DECENNIO]
1812-2011 (ULTIMI 200 ANNI)	0.109±0.006	-
1912-2011 (ULTIMI 100 ANNI)	0.142±0.015	-
1962-2011 (ULTIMI 50 ANNI)	0.34±0.04	-
1982-2011 (ULTIMI 30 ANNI)	0.38±0.08	-
1856-2005	0.104±0.009	0.045±0.012
1906-2005	0.130±0.015	0.074±0.018
1956-2005	0.27±0.04	0.13±0.03
1981-2005	0.54±0.12	0.18±0.05

Tabella 1.2: Trend della temperatura media italiana su diversi periodi e confronto con i trend a livello globale (Fonte: ISAC-CNR).

Un'analisi delle variazioni della temperatura media su base stagionale mostra che, considerando un orizzonte secolare, non ci sono differenze molto significative tra le diverse stagioni. Se però ci si concentra sugli ultimi decenni, si evidenzia un riscaldamento più marcato nei mesi estivi (ad es. Toreti et al., 2010). In particolare, nel periodo 1981-2012 è stato stimato un riscaldamento medio in Italia di circa  $0,5 \pm 0,13$  °C in primavera e in estate, mentre in inverno e in autunno la tendenza, comunque positiva, non risulta statisticamente significativa (ISPRA, 2013). Evidenze della maggiore incidenza delle stagioni calde nel trend di aumento della temperatura emergono anche da studi a scala regionale (e.g. Bartolini et al., 2012).

Dall'analisi separata delle serie di temperatura minima e massima giornaliera si rileva che l'escursione termica giornaliera, dopo un aumento iniziale fino agli anni '30 del XIX secolo, si presenta abbastanza stabile fino a metà del XX secolo e mostra un trend negativo tra il 1950 e la fine degli anni '70, seguito da un incremento negli ultimi decenni.

La variazione della temperatura media in Italia negli ultimi 50 anni (Figura 2.2) viene stimata e aggiornata annualmente dall'ISPRA in base alla serie di anomalia media ottenuta da 65 serie omogenee. Le variazioni stimate dal 1961 al 2011, ottenute moltiplicando i ratei per il periodo di 50 anni, aggiornando quanto riportato precedentemente da Toreti e Desiato (2008a), sono di  $1,13$  °C o di  $0,94$  °C, a seconda del modello di trend utilizzato (piecewise o sloped-steps) (Desiato et al., 2012).



**Figura 2.2:** Serie temporali delle anomalie di temperatura media globale e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990 (Fonti: ISPRA e NCDC/NOA).

E' da notare che le stime delle variazioni relative all'ultimo mezzo secolo, ottenute sulla base di serie non coincidenti, tecniche di mediazione spaziale diverse e attività di omogeneizzazione indipendenti, sono sostanzialmente in accordo. Le modeste differenze sono dovute al set di stazioni non del tutto coincidenti e ai diversi metodi statistici utilizzati.

Negli ultimi 27 anni, ad eccezione del 1991, la temperatura media in Italia è stata sempre superiore al valore climatologico normale 1961-1990. L'anno più caldo è stato il 2003, con un'anomalia media stimata di +1,57 °C (stima ISAC-CNR) o di 1,42 °C (stima ISPRA); Il 2011 e il 2012 si collocano tra i primi posti dell'intera serie.

### Valori estremi

In Europa, nell'ultimo secolo, la frequenza di eventi estremi relativi a temperature elevate è aumentata, mentre è diminuita quella di eventi estremi relativi alle basse temperature (Klein Tank e Wijngaard, 2002; Parry et al., 2007). Queste tendenze sono consistenti con un generale riscaldamento nel continente europeo. Alcune recenti stagioni invernali particolarmente fredde registrate in Europa settentrionale e occidentale non contraddicono la tendenza media all'aumento della temperatura su scale temporali di alcuni decenni.

Per l'analisi e lo studio delle variazioni degli estremi di temperatura vengono presi in considerazione diversi indici che possono essere calcolati a partire dalle serie di temperatura minima e massima giornaliera (Peterson et al., 2001). L'ISPRA ha calcolato e aggiorna annualmente, a partire da un set omogeneo di 50 stazioni sinottiche, le serie di tre indici: il numero medio di giorni con gelo, cioè il numero medio di giorni con temperatura minima minore o uguale a 0 °C; il numero medio di notti tropicali, cioè con temperatura minima maggiore di 20 °C; il numero medio di giorni estivi, cioè con temperatura massima maggiore di 25 °C (ISPRA, 2013).

Uno studio sulle variazioni di questi e di altri indici (Toreti e Desiato, 2008b) conferma il trend di aumento della temperatura a partire dalla fine degli anni '70. In media, si stima un incremento di 12,3 giorni estivi e di 12,4 notti tropicali nel periodo 1961-2004. Il numero di giorni con gelo, che è un indicatore di particolare rilievo per il settore agricolo, viene stimato in diminuzione ad una media di 2,5 giorni ogni 10 anni. Dal 1961 al 2011, 22 degli ultimi 23 anni sono stati caratterizzati da un numero medio di notti tropicali superiore al valore normale 1961-1990; 20 degli ultimi 23 anni da un numero medio di giorni con gelo inferiore e da un numero di giorni estivi superiore ai rispettivi valori normali 1961-1990.

Alcuni indici si ottengono contando i giorni di ogni anno con temperatura massima (o minima) superiore (o inferiore) a un percentile elevato (o basso) della distribuzione della variabile sul periodo di riferimento (1961-1990). Analizzando per l'Italia un sottoinsieme di tali indici sia per le temperature massime (TX10 e TX90) che per le minime (TN10 e TN90), si osserva un aumento del numero di eventi sopra-soglia e una diminuzione del numero di eventi sotto-soglia (Simolo et al., 2010), più pronunciato per le temperature massime che per le minime (Tabella 2.2).

	<b>1952-2008</b>	<b>1980-2008</b>
<b>TX90</b>	<b>9.3±1.5</b>	<b>21.9±4.2</b>
<b>TN90</b>	<b>7.7±1.4</b>	<b>21.3±4.0</b>
<b>TX10</b>	<b>-5.4±1.1</b>	<b>-8.9±2.8</b>
<b>TN10</b>	<b>-5.2±1.0</b>	<b>-7.0±2.8*</b>
<b>TX95</b>	<b>5.8±1.1</b>	<b>16±3.1</b>
<b>TN95</b>	<b>4.6±1.0</b>	<b>13.5±3.0</b>
<b>TX5</b>	<b>-3.2±0.7</b>	<b>-5.2±1.6</b>
<b>TN5</b>	<b>-2.8±0.8</b>	<b>-3.6±2.0**</b>

*Tabella 2.2: Trend lineare per le serie annuali di TX95, TX90, TX10, TX5, TN95, TN90, TN10 e TN5 nei periodi 1952–2008 e 1980–2008. I valori sono espressi in numero di eventi per decennio; il livello di significatività è 0,01 (\* 0,05; \*\* trend non significativo) (Fonte: ISAC-CNR).*

Per quanto riguarda le temperature massime, il rateo di crescita di TX90, valutato sull'intero periodo, è quasi il doppio del rateo di diminuzione di TX10. Lo stesso è evidente anche per le temperature minime (TN90 e TN10). L'asimmetria aumenta fortemente se l'analisi viene ristretta al periodo 1980-2008 (per questo periodo i trend sui valori medi di minime e massime sono confrontabili). L'analisi su base stagionale indica che il contributo maggiore a queste tendenze proviene dai mesi estivi.

Da questo studio si rileva che le tendenze osservate dipendono da una traslazione della distribuzione delle temperature giornaliere e non da una variazione della sua forma. In altri termini, non ci sarebbe un aumento della separazione tra valori medi ed estremi, cui corrisponde un'idea di "estremizzazione del clima" (Simolo et al., 2010).

Le onde di calore sono molto significative per la valutazione dei trend climatici. Un'onda di calore si può definire come un evento della durata di alcuni giorni, in cui la temperatura massima è superiore ad una soglia rappresentata da un percentile elevato della distribuzione delle temperature massime giornaliere sul trentennio climatologico. Baldi et al., (2006) hanno analizzato le onde di calore (definite come episodi di 6 o più giorni consecutivi oltre il 90° percentile) di un insieme di 50 stazioni della rete UCEA nel periodo 1951-2003. I risultati indicano un trend positivo a partire dagli anni '70, con il 46% degli eventi che si è verificato nell'ultimo decennio e gli episodi più intensi nel 2003. Simolo et al., (2010) hanno usato l'indice WSDI (Warm Spell Duration Index): i risultati (Figura 3.2) confermano il forte aumento delle onde di calore negli ultimi decenni.

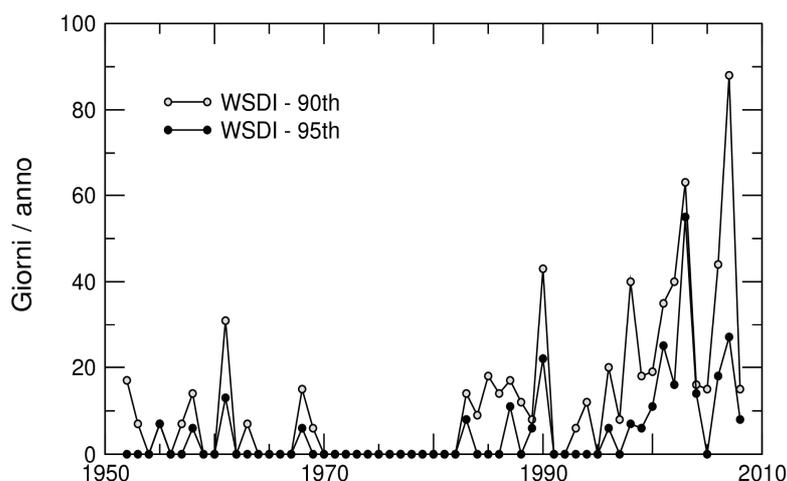


Figura 3.2: Andamento dell'indice WSDI: numero annuale dei giorni, appartenenti a sequenze di almeno 6 giorni consecutivi, con temperatura massima superiore alla soglia del 90-esimo (cerchi vuoti) e del 95-esimo (cerchi pieni) percentile. Dati di 67 stazioni sinottiche (Fonte: ISAC-CNR).

In base alla definizione di eventi di almeno 3 giorni consecutivi con temperatura massima superiore al 95° percentile (Kuglitsch et al., 2010) sono stati calcolati fino al 2011 tre diversi indicatori delle onde di calore (ISPRA, 2012): l'intensità media (HWI), cioè il valore medio delle eccedenze di temperatura rispetto alla soglia, cumulate nel corso di ciascun evento (°C); la durata media (HWL), espressa come numero di giorni; la frequenza, o numero medio (HWN). Le serie annuali di questi indicatori mostrano una tendenza generale, negli ultimi 50 anni, all'aumento del numero e alla intensificazione delle onde di calore. E' piuttosto evidente l'eccezionalità dell'estate del 2003, ma anche il valore mediamente più elevato di tutti e tre gli indicatori negli ultimi 10-15 anni (Figura 4.2).

La tendenza significativa all'aumento degli estremi delle temperature giornaliere emerge anche dall'analisi dettagliata dell'andamento di vari indici (inclusi quelli relativi alle onde di calore), svolta da CESI Ricerca su dati di 50 anni fino al 2006 del SMAM, con la finalità di valutare il ruolo delle variazioni climatiche sulla domanda elettrica nazionale (Apadula e Cortesi, 2009). Da questo

studio emerge anche che le variazioni più significative hanno luogo nella stagione estiva e interessano maggiormente la parte più recente del periodo considerato.

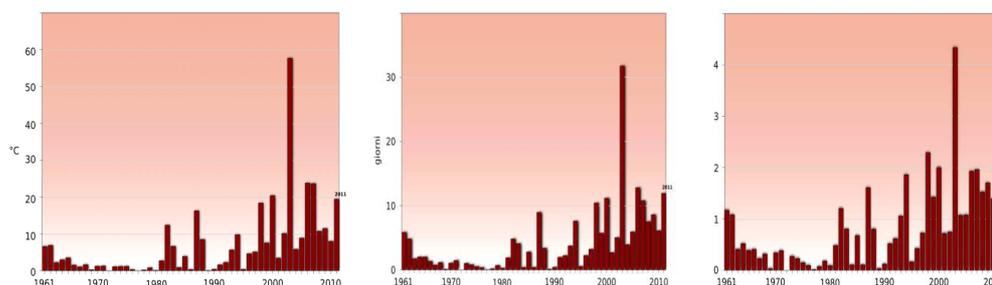


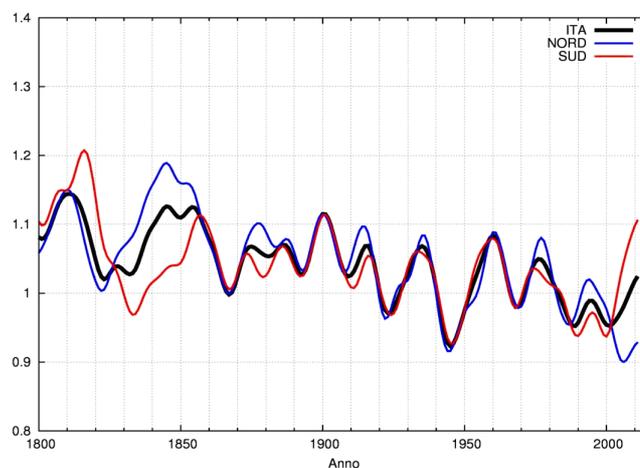
Figura 4.2: Serie annuale dei valori medi su 50 stazioni sinottiche di intensità, durata e numero delle onde di calore (Fonte: ISPRA).

## Precipitazioni

### Precipitazioni cumulate

Le medie europee di precipitazione cumulata non indicano variazioni significative a partire dal 1950 (Haylock et al., 2008). A scala sub-continentale, si rileva un aumento significativo delle precipitazioni sull'Europa Nord-Orientale dell'ordine di 70 mm negli ultimi 50 anni, e, all'opposto, una diminuzione delle precipitazioni all'incirca della stessa entità, sulla Penisola Iberica e in particolare sulla Spagna Nord-Occidentale e il Nord del Portogallo.

Per quanto riguarda l'Italia, la Figura 5.2 mostra la serie di precipitazioni medie annuali ottenuta da una versione aggiornata del database presentato in Brunetti et al., (2006), oltre a due serie rappresentative dell'Italia settentrionale e meridionale, separate dal 43° parallelo. Tale serie presenta una sequenza di massimi e minimi relativi, sovrapposta ad un trend in lieve diminuzione.



**Figura 5.2:** precipitazioni cumulate in Italia nel periodo 1800–2011. I dati sono espressi in termini di anomalie moltiplicative rispetto al periodo 1971-2000. Le curve sono ottenute mediante l'applicazione di un filtro gaussiano passa-basso (Fonte: ISAC-CNR).

La tendenza sull'intero periodo (1800-2011) è leggermente negativa ( $-0,58 \pm 0,15$  %/decennio) e maggiormente pronunciata al Nord ( $-0,71 \pm 0,19$  %/decennio). Il trend negativo diventa via via più marcato ma diminuisce la significatività statistica del segnale. L'ultimo decennio è caratterizzato da tendenze opposte al Nord e al Sud: un protrarsi della tendenza negativa al Nord e aumento delle precipitazioni al Sud.

A livello stagionale si nota una forte diminuzione invernale e primaverile per l'Italia meridionale ( $-22\%$  e  $-12\%$  dal 1800 ad oggi, rispettivamente) con un'inversione di tendenza negli ultimi decenni, mentre per l'Italia settentrionale le stagioni con il segnale negativo più forte sono l'estate e l'autunno ( $-19\%$  e  $-25\%$  dal 1800 ad oggi, rispettivamente).

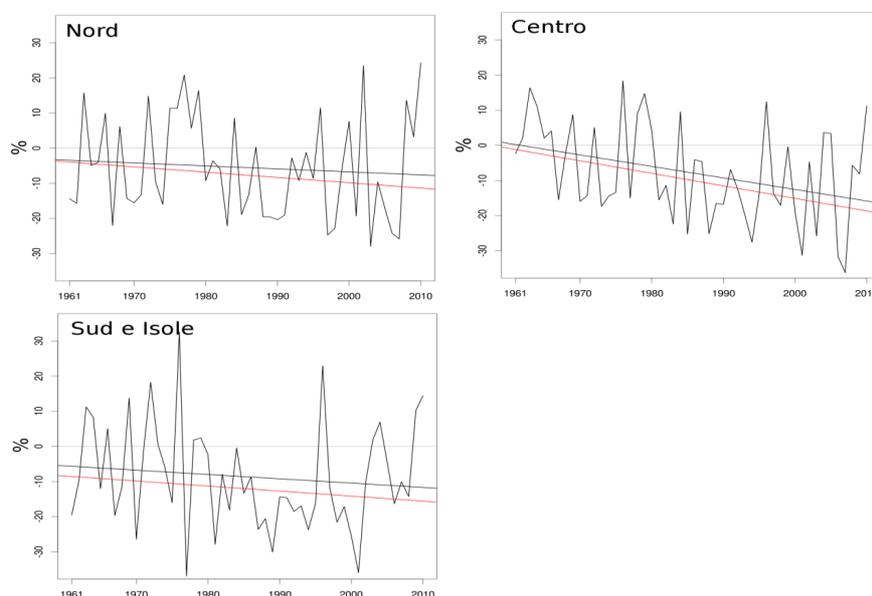
PERIODO	TREND PRECIPITAZIONE MEDIA ITALIANA [%/DECENNIO]	TREND PRECIPITAZIONE MEDIA PER IL NORD ITALIA [%/DECENNIO]	TREND PRECIPITAZIONE MEDIA PER IL SUD ITALIA [%/DECENNIO]
1800-2011	$-0.58 \pm 0.15$	$-0.71 \pm 0.19$	$-0.53 \pm 0.17$
1900-2011	$-0.8 \pm 0.4^*$	$-1.0 \pm 0.4^*$	$-0.6 \pm 0.4^{**}$
1950-2011	$-1.1 \pm 0.9^{**}$	$-1.8 \pm 1.0^{**}$	$-0.6 \pm 1.1^{**}$
1980-2011	$+0.8 \pm 2.0^{**}$	$-2.0 \pm 2.4^{**}$	$+3.3 \pm 3.0^{**}$

**Tabella 3.2:** Trend della precipitazione media italiana su diversi periodi. I valori sono espressi in percentuale per decennio; il livello di significatività è 0,01 (\* 0,05; \*\* trend non significativo) (Fonte: ISAC-CNR).

Le tendenze delle precipitazioni cumulate in Italia nel periodo 1961-2006 sono state stimate da Toreti et al., (2009) sulla base delle serie di 59 stazioni sinottiche, raggruppate in tre aree geografiche (Nord, Centro, Sud e Isole). I risultati non mostrano, per quel periodo, trend statisticamente significativi sulle serie annuali, mentre su base stagionale la serie invernale dell'Italia settentrionale mostra un trend significativo di diminuzione della precipitazione media di 1,47 mm/anno.

Più di recente, l'ISPRA (Desiato et al., 2012) ha calcolato le anomalie di precipitazione cumulata annuale per il Nord, il Centro e il Sud Italia, utilizzando il metodo dei "poligoni di Thiessen" o della "tassellatura di Voronoi" (Li e Heap, 2008) per sopperire alla disomogeneità del numero e della distribuzione spaziale delle stazioni con dati di precipitazione disponibili anno per anno. I risultati indicano tendenze negative non significative al Nord e al Sud e un trend negativo significativo al Centro ( $-0,29\%$ /anno), (Figura 6.2). L'analisi delle serie non evidenzia punti di discontinuità dei trend nell'arco dei 50 anni.

Per l'Italia settentrionale, anche i risultati preliminari di uno studio relativo al territorio coperto dalle amministrazioni che contribuiscono all'archivio ARCIS indicano, negli ultimi 50 anni, l'assenza di trend significativi della precipitazione annuale, unita a una diminuzione significativa del numero di giorni piovosi.



**Figura 6.2:** Anomalie percentuali di precipitazione 1961-2010 in Italia e relativo trend lineare stimato con OLS (Ordinary Least Square) e con lo stimatore di Theil-Sen (linea rossa): Nord (a), Centro (b), Sud e Isole (c). Il trend è statisticamente significativo (livello 0,05) al Centro (-0,29 %/anno) (Fonte: ISPRA).

## ***Frequenza e intensità delle precipitazioni***

Oltre ai trend delle precipitazioni cumulate, è importante conoscere le variazioni della distribuzione delle precipitazioni, cioè del numero di eventi precipitativi e della loro intensità.

Il numero di giorni piovosi, l'intensità delle precipitazioni e diverse categorie di eventi precipitativi sono stati analizzati a partire da 39 serie di precipitazioni giornaliere della banca dati dell'ex UCEA riferite al periodo 1880-2002 (Brunetti et al., 2004). Il numero di giorni piovosi presenta un chiaro trend negativo su tutto il territorio italiano, più evidente nell'ultimo secolo dagli anni '30 ai '40. Su base annuale il trend è altamente significativo su tutto il territorio, con valori che oscillano da -7% per secolo nel Trentino-Alto Adige a -15% per secolo nell'Italia centrale (corrispondenti, rispettivamente, a -6 e -14 giorni all'anno per secolo) e con una diminuzione media nazionale del 10% per secolo (equivalente a -9 giorni piovosi all'anno in meno per secolo). I contributi maggiori provengono dalla primavera e dall'autunno, con l'eccezione dell'area sud-occidentale che mostra la diminuzione maggiore in inverno. Su scala nazionale i contributi primaverile ed autunnale sono pari a -14% per secolo (3 giorni piovosi in meno in primavera per

secolo) e -11% per secolo (2,5 giorni piovosi in meno in autunno per secolo). La significatività statistica dei trend quantificati è sempre superiore al 95%.

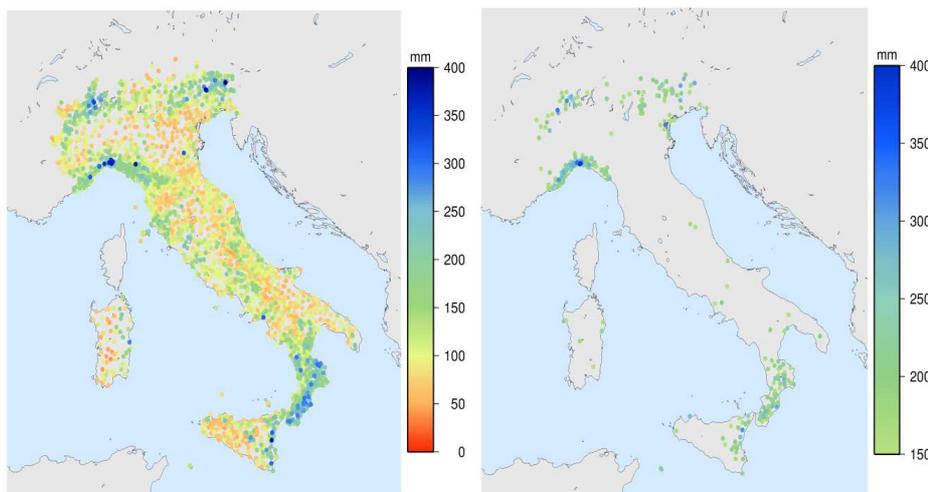
L'intensità delle precipitazioni (cioè la precipitazione media nei giorni piovosi) presenta un trend generalmente positivo, con valori e livelli di significatività variabili a seconda della regione. Su base annuale il trend positivo raggiunge valori significativi in alcune aree settentrionali della penisola, prevalentemente dovuti alle stagioni estiva ed autunnale, mentre nell'Italia centrale si hanno valori positivi significativi solo in autunno e in inverno. A scala nazionale si riscontra invece un trend positivo del 5% per secolo che risente principalmente dell'estate (+6% per secolo) e dell'autunno (+7% per secolo). Anche in questo caso la significatività statistica dei trend quantificati è superiore al 95 %.

Per poter valutare le variazioni nella distribuzione delle precipitazioni, queste sono state suddivise in sei classi di intensità crescente. Al Nord si osserva una diminuzione degli apporti dovuti alle categorie di bassa intensità e un aumento di quelli dovuti alle categorie corrispondenti agli eventi più intensi (oltre il 95° percentile). Al contrario, nelle regioni meridionali non si ha un andamento ben definito ed i trend sono raramente significativi.

Per comprendere se la diminuzione degli eventi di bassa intensità e l'aumento degli eventi più intensi sia il segnale di una tendenza delle precipitazioni italiane verso una più alta frequenza di eventi estremi, è stato analizzato anche l'andamento del numero di eventi che ricade in ciascuna categoria. I risultati indicano con chiarezza un trend negativo del numero di eventi di bassa intensità. È inoltre evidente un trend positivo nel numero di eventi intensi in alcune regioni del Nord, mentre al Centro e al Sud il numero di eventi piovosi mostra un trend negativo in tutte le categorie, anche se non sempre statisticamente significativo.

In sintesi, nel periodo 1880-2002 l'andamento delle precipitazioni in Italia risulta caratterizzato da una diminuzione significativa del numero di eventi di bassa intensità e solo alcune regioni del Nord mostrano un aumento della frequenza degli eventi di forte intensità. Ovvero, soprattutto nell'Italia peninsulare, l'aumento del contributo relativo alle precipitazioni totali dato dagli eventi più intensi è principalmente legato ad una diminuzione del numero di giorni con piogge deboli, mentre l'aumento dei giorni con piogge intense è meno evidente.

La elevata densità e l'ottima copertura spaziale di dati storici, almeno fino all'inizio degli anni '90, che si riferiscono in gran parte alla rete pluviometrica dell'ex SIMN, consentono di localizzare le aree del territorio italiano più soggette a precipitazioni intense. La mappa a sinistra di Figura 7.2 mostra le precipitazioni massime giornaliere nel periodo di riferimento 1951-1980 (ISPRA, 2012). La mappa analoga riferita al periodo 1961-1990, che si basa su un numero di dati leggermente inferiore, presenta caratteristiche del tutto simili. Per "massima giornaliera" si intende qui il massimo delle precipitazioni cumulate su intervalli fissi e separati di 24 ore e non quello su tutti gli intervalli di 24 ore a orario mobile. Le precipitazioni massime giornaliere più intense si registrano in Liguria, Val d'Ossola, Alpi e Prealpi Carniche, Calabria e versante Ionico della Sicilia; i valori più elevati superano i 400 mm/giorno (per esempio su alcune stazioni della provincia di Genova), mentre i valori più frequenti sull'intero territorio nazionale sono compresi tra 50 e 200 mm/giorno.

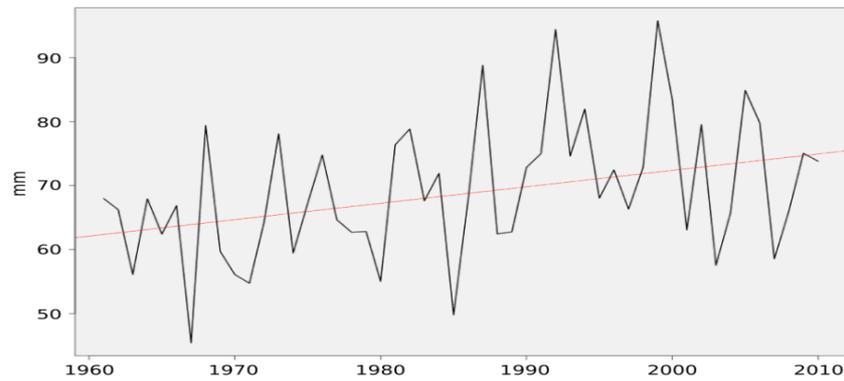


**Figura 7.2:** Precipitazioni massime giornaliere nel periodo climatologico di riferimento 1951-1980 (a sinistra) e 150 stazioni con i valori di precipitazione giornaliera più elevati nel periodo 2001-2010 (a destra) (Fonte: ISPRA).

La densità e la copertura spaziale dei dati disponibili nel periodo più recente sono inferiori. I 150 valori più elevati registrati nel decennio 2001-2010 estratti dal database del sistema SCIA sono rappresentati a destra della Figura 7.2. Tra gli eventi di precipitazione intensa più recenti si segnala la precipitazione massima su finestra mobile di 24 ore di 539 mm registrata a Brugnato durante il nubifragio che ha colpito la provincia della Spezia nel mese di ottobre 2011 (comunicazione di Arpa Liguria).

Sulla base dei dati di 40 stazioni con le serie più complete, continue e aggiornate, l'ISPRA ha valutato l'andamento temporale delle precipitazioni massime giornaliere nel periodo 1961-2010 su tre aree geoclimatiche: Nord (solo stazioni in pianura); versante tirrenico; Meridione e Sicilia (ISPRA, 2012). I risultati indicano un trend positivo (al livello di significatività del 5%) per le stazioni dell'Italia settentrionale, con un incremento medio di 26 mm/100 anni (Figura 8.2). Per le altre due aree non si rilevano invece trend statisticamente significativi.

Come accennato nella Introduzione, sul territorio nazionale le precipitazioni presentano regimi e caratteristiche estremamente variabili nello spazio. Pertanto, per la stima delle tendenze a scala regionale e locale, sia delle precipitazioni cumulate che della loro frequenza e intensità, è opportuno fare riferimento a valutazioni specifiche, anche in base alla tipologia e alla quantità di serie storiche disponibili. A questo proposito, la bibliografia è stata integrata con una ampia, sezione in cui sono elencate diverse pubblicazioni, successive al 2005, contenenti dati e stime sulle tendenze delle precipitazioni a scala regionale.

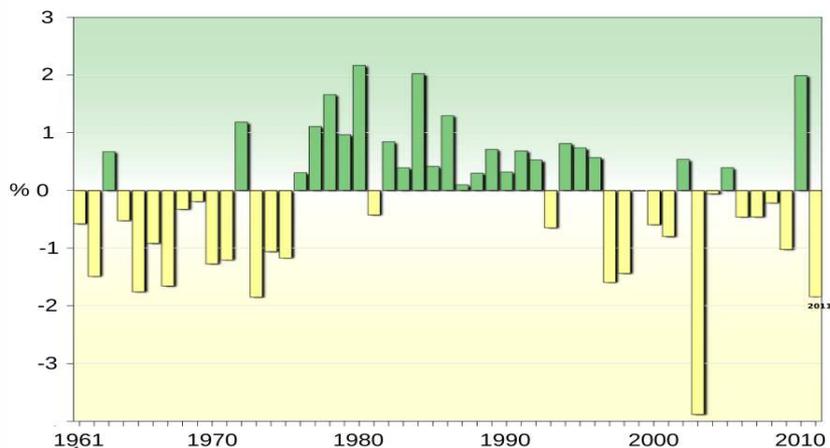


**Figura 8.2:** Andamento delle precipitazioni massime giornaliere negli ultimi 50 anni. Valore medio su 12 stazioni dell'Italia settentrionale (Fonte: ISPRA).

## Altre variabili

Sebbene la letteratura scientifica sulla caratterizzazione e la mappatura di altre variabili climatiche (umidità, vento, radiazione solare, ecc.) sia piuttosto ricca, le stime delle loro tendenze sono piuttosto limitate. Ciò non toglie che le variazioni di alcune variabili climatiche, anche in combinazione tra di loro, possano contribuire significativamente ad alcuni impatti dei cambiamenti climatici, già in corso o potenziali, che sono trattati in altre parti del volume. E' il caso, per esempio, del rischio di incendi boschivi cui possono contribuire variazioni dell'umidità e del vento, oltre che della temperatura (ad es. Moriondo et al., 2006).

Per quanto riguarda l'umidità, in Figura 9.2 è rappresentata la serie annuale dell'anomalia media di umidità relativa in Italia, ottenuta elaborando i dati di 33 stazioni, che soddisfano i requisiti di completezza e continuità delle serie nel periodo 1961-2011 (ISPRA, 2013). La serie è significativamente anticorrelata con quella della temperatura media, indica cioè un trend positivo all'incirca fino al 1980 e un trend negativo negli ultimi 30 anni, con l'eccezione del 2010 che è stato un anno con precipitazioni superiori ai valori climatologici normali.



**Figura 9.2:** Serie delle anomalie di umidità relativa media in Italia, rispetto ai valori normali 1961-1990. Dati di 33 stazioni della rete sinottica (Fonte: ISPRA).

Dall'analisi della serie di dati barometrici rappresentativi della medie annuali in Italia, la pressione atmosferica al suolo risulta in aumento nella seconda metà del secolo scorso, con una variazione positiva di 1,8 hPa in 50 anni (Nanni et al., 2009). Tale variazione sembra dovuta, più che a un aumento costante, a un brusco change point che si colloca attorno al 1980. Su base stagionale, il contributo maggiore viene dall'inverno (+5,7 hPa in 50 anni) mentre l'aumento nelle altre stagioni non risulta statisticamente significativo.

## Mare

### Temperatura e salinità

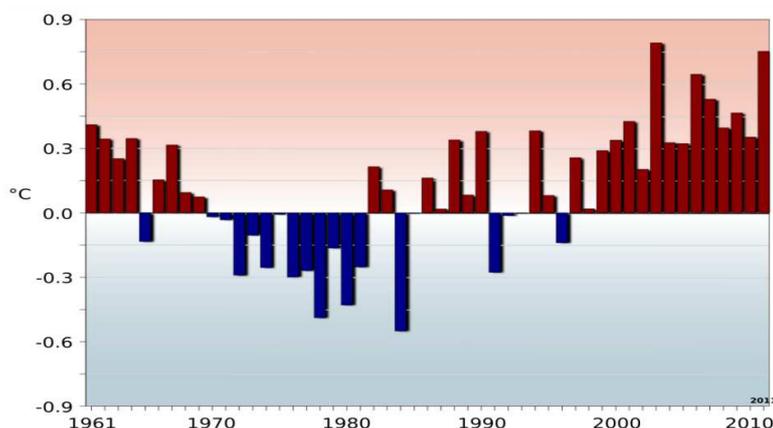
Da uno studio della variabilità a lungo termine della temperatura superficiale del mare Mediterraneo (Axaopoulos e Sofianos, 2010) basato sul Data Set ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) della NOAA<sup>9</sup>, si possono rilevare le seguenti variazioni nel periodo 1904-2006: Mediterraneo occidentale: +0,85 °C; Ionio (esteso dalle coste italiane alla costa africana): +0,92 °C; Adriatico: +1,45 °C.

Relativamente agli ultimi decenni, l'ISPRA (2013) aggiorna annualmente una serie rappresentativa delle anomalie medie di temperatura dei mari italiani. Vengono utilizzati i dati elaborati a scala globale dalla (NOAA) che rappresentano i valori medi mensili su grigliato regolare alla risoluzione spaziale di 2° x 2°. Tali valori derivano da misure da satellite e misure effettuate da navi, boe ed altri tipi di piattaforma (Smith e Reynolds, 2003; Smith e Reynolds, 2004). Per la stima relativa ai

---

<sup>9</sup>La National Oceanic and Atmospheric Administration è un'agenzia scientifica del Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti che ha il compito di monitorare le condizioni dell'atmosfera e degli oceani.

mari italiani vengono mediati i valori di 6 celle del grigliato, ciascuna rappresentativa di uno dei mari italiani. In Figura 10.2 è rappresentata la serie delle anomalie medie rispetto al periodo 1961-1990. L'andamento è molto simile a quello della temperatura dell'aria e indica anche in questo caso un trend positivo a partire dall'inizio degli anni '80. Negli ultimi 15 anni l'anomalia media della temperatura superficiale dei mari italiani è stata sempre positiva.



**Figura 10.2:** Serie delle anomalie della temperatura media superficiale dei mari italiani, rispetto ai valori normali 1961-1990 (Fonte: ISPRA).

Se la temperatura superficiale, recando la 'firma' quasi istantanea delle interazioni con l'atmosfera, è per sua natura soggetta ad una grande variabilità, l'analisi della variabilità del contenuto di calore e di sale nell'intero volume della massa d'acqua fornisce sicuramente un indice climatico più adatto a monitorare eventuali variazioni su tempi lunghi (Marullo et al., 2007). L'andamento spaziale e temporale di questo indice rappresenta quindi uno dei segnali più robusti ai fini climatici.

In un recente lavoro (Rixen et al., 2005) il dataset MEDAR-MedAtlas<sup>10</sup> è stato analizzato per ricostruire la variabilità dei campi 3D di temperatura e salinità nel Mediterraneo dal 1950 al 2000. L'analisi è stata effettuata suddividendo l'intero bacino in tre strati definiti da quote fisse: uno superficiale (da 0 a 150 m), uno intermedio (da 150 a 600 m) ed uno profondo (dai 600 m al fondo).

Lo studio mostra che i due strati più superficiali evidenziano un alternarsi di fasi di riscaldamento/raffreddamento e salinificazione/desalinificazione. In particolare, per quanto riguarda la temperatura nel primo strato superficiale (0-150 m), è stato osservato che nel Mediterraneo Occidentale la temperatura decresce lentamente fino alla metà degli anni 80 per poi aumentare con un tasso simile a quello osservato in superficie. Il Mediterraneo Orientale invece è stato soggetto ad un notevole raffreddamento tra il 1970 ed il 1980, prima di sperimentare

<sup>10</sup> Banca dati dei parametri oceanografici del Mediterraneo e del Mar Nero.

successivamente un riscaldamento leggermente inferiore rispetto alla parte occidentale del bacino. Negli strati intermedi (150–600 m) la variabilità della temperatura è simile nei due sottobacini orientale ed occidentale, alternando fasi di riscaldamento (1960-1980, 1990-2000) a fasi di raffreddamento (1980-1990). Infine, gli strati più profondi (600 m–fondo), mostrano per tutto il periodo (1950-2000) una tendenza monotona al riscaldamento, con una notevole accelerazione negli ultimi 15 anni.

Complessivamente, il contenuto totale di calore dal 1950 al 2000 è aumentato di circa  $1,3-1,5 \cdot 10^{21}$  J, corrispondente ad un aumento di temperatura di circa  $0,1^\circ\text{C}$  e pari ad un flusso medio di energia di  $0,38 \text{ W m}^{-2}$ . Contemporaneamente il contenuto di sale è aumentato di circa  $1,4-1,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$ , corrispondenti ad un aumento medio di salinità di  $0,035-0,04$ . Tali tassi di aumento hanno mostrato una notevole accelerazione negli ultimi 15 anni. Il confronto con l'oceano globale, seppure reso complesso dalla differenza di volume, riporta un assorbimento di calore di ca.  $0,21 \text{ W m}^{-2}$ , ossia un valore minore di quello relativo al Mar Mediterraneo (Bindoff et al., 2007).

Anche i risultati di molti studi dedicati alla descrizione in dettaglio della variabilità osservata nelle acque intermedie e profonde nel Mediterraneo mostrano, nell'ultimo secolo, un graduale aumento della temperatura. Tale incremento è accompagnato da un contemporaneo aumento della salinità, che riesce a bilanciare gli effetti sulla densità e ridurre di conseguenza la crescita del livello del mare. Il quadro generale che ne consegue mostra che, nel corso del XX secolo, le acque intermedie e profonde nel Mediterraneo Occidentale hanno subito un riscaldamento ed aumento della salinità che può essere diviso in tre fasi distinte. L'iniziale tasso di crescita osservato nei primi anni del secolo subisce un incremento intorno al 1960, passando da circa  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}/\text{anno}$  a  $2-4 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}/\text{anno}$  per la temperatura, e da circa  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ psu}/\text{anno}$  a  $1-2 \cdot 10^{-3} \text{ psu}/\text{anno}$  per la salinità. Parallelamente, il tasso di crescita di temperatura e salinità per le acque intermedie risulta essere comparabile e leggermente superiore. Dopo il 1990, tali tassi di crescita aumentano di più di un ordine di grandezza, e le acque profonde nel Mar Tirreno e nel Mar Ligure mostrano un aumento della temperatura e della salinità pari a qualche centesimo di grado e psu per anno. Tale improvviso aumento è da mettersi in relazione alla produzione di acque di fondo provenienti dal Mar Egeo invece che dal Mar Adriatico, come avvenuto normalmente almeno negli ultimi 50 anni, con caratteristiche fisiche completamente diverse. In tale contesto, quindi, i fattori antropici non dovrebbero aver svolto un ruolo diretto sui cambiamenti climatici.

### *Livello del mare*

Dato il suo potenziale impatto sulle attività umane che si svolgono nelle aree costiere, la variazione del livello marino è uno dei parametri climatici di più immediato interesse (Bindoff et al., 2007). Il livello del mare dipende da una molteplicità di parametri e la sua variabilità in un certo senso 'integra' tutti i cambiamenti interni all'oceano, inclusi gli effetti dei diversi forzanti atmosferici sulla superficie marina. Su scale temporali di interesse climatico (multi-decadali o più lunghe) la variazione del livello marino globale dipende dagli scambi di massa d'acqua tra l'oceano, l'atmosfera e le riserve d'acqua continentali, inclusi i ghiacciai e le distese ghiacciate (Meier et al., 2007), e dall'espansione termica, che influisce direttamente sul volume dell'oceano. A livello regionale, e su scale temporali più brevi, entrano in gioco le variazioni delle condizioni

meteorologiche (soprattutto vento e pressione atmosferica, v. Signell et al., 2005, e Gomis et al., 2012) e le loro conseguenze sulla circolazione oceanica, oltre che effetti legati al movimento verticale del suolo (ad es. subsidenza). Seppure in media tali effetti possano essere ritenuti trascurabili a livello planetario, rivestono ruoli anche notevoli su scale spaziali regionali più ristrette, come appunto il bacino del Mediterraneo, e in particolare in alcune aree ben definite quali le coste adriatiche, per esempio l'area costiera di Ravenna.

Storicamente, la misura del livello marino e delle sue variazioni è stata effettuata per mezzo di stazioni mareografiche disseminate in alcuni punti del pianeta e, solamente a partire dal 1992, per mezzo di altimetri montati su satellite. Ovviamente, la misura da mareografi non solo è sparsa per sua natura, ma è anche relativa al suolo rispetto al quale gli strumenti sono solidali, ed è quindi influenzata da un suo eventuale movimento verticale. Le misure altimetriche da satellite, essendo relative al centro di massa terrestre, non sono influenzate in modo significativo dai movimenti del suolo, ma possono coprire un periodo ancora relativamente breve (circa 15 anni), mentre esistono decine di serie temporali mareografiche per gli ultimi 50-70 anni ed anche valori acquisiti presso stazioni che forniscono dati per più di 200 anni. In questi anni quindi gli scienziati stanno cercando di ottenere le cifre più realistiche sulle variazioni del livello marino globale combinando sia dati mareografici che da satellite (Meyssignac et al., 2011).

Riportiamo nel seguito le stime sull'elevazione del livello marino globale, limitandoci al periodo successivo al picco glaciale di circa 21000 anni fa (per descrizioni su variazioni negli ultimi 150000 anni, v. Yokoyama e Esat, 2011).

Se si considerano le stazioni relative al Mar Mediterraneo aventi dati per più di 80 anni, solo tre sono considerate "stabili": Marsiglia, Genova e Trieste. Da queste ultime stazioni si stimano aumenti medi del livello marino di 1,2-1,3 mm/anno su 120-130 anni, quindi valori leggermente minori di quelli ottenuti su scala globale (Church e White, 2006). Se consideriamo solo i dati posteriori al 1950, nel Mediterraneo troviamo 40 stazioni utili, di cui 24 con almeno 30 anni di dati; la maggior parte di esse mostra andamenti di crescita compresi tra 0 e 2 mm/anno.

Infine, dal 1992 sono disponibili dati altimetrici satellitari. A fronte del relativamente piccolo intervallo temporale che può essere studiato, tali dati sono utili per esplorare la variabilità spaziale dell'elevazione superficiale dei mari. I dati Topex/Poseidon acquisiti dal 1993 al 1999 hanno mostrato che la superficie del Mediterraneo è cresciuta continuamente con un valore medio pari a circa 5 mm/anno, raggiungendo dei tassi fino a 20 mm/anno a sud di Creta (Meyssignac et al., 2011). Unica eccezione a questo generale ma disomogeneo tasso di crescita è costituita dal Mar Ionio, che negli stessi anni si è abbassato con un tasso di diminuzione pari a circa -10 mm/anno, probabilmente legato all'EMT (Eastern Mediterranean Transient<sup>11</sup>). I lavori più recenti hanno evidenziato un'inversione di tendenza nel 1999 (Cazenave et al., 2001), tanto che il tasso medio di

---

<sup>11</sup> L'Eastern Mediterranean Transient è un fenomeno climatico dell'ultimo secolo che determina le caratteristiche della circolazione e delle proprietà fisiche delle acque del Mediterraneo.

crescita nell'intero bacino Mediterraneo nel periodo 1992-2005 è ora stimato essere di 2,1 mm/anno (Criado-Aldeanueva et al., 2008).

## Conclusioni

Ai fini della Strategia nazionale di adattamento, le conoscenze sulla variabilità del clima passato e presente consistono essenzialmente nella stima delle variazioni significative delle variabili climatiche negli ultimi decenni. Tali variazioni possono essere messe in relazione con gli impatti dei cambiamenti climatici già in corso e con quelli futuri a breve termine.

Le variazioni più certe, confermate da stime indipendenti, riguardano l'aumento della temperatura media. Riferite a diversi intervalli di tempo, le stime del rateo di riscaldamento in Italia sono dell'ordine di +1 °C/secolo negli ultimi 100 anni e di 2°C/secolo negli ultimi 50 anni; il rateo di variazione è ancora più consistente e stabile negli ultimi 30 anni. L'aumento della temperatura è più sensibile nelle stagioni estiva e primaverile. All'aumento dei valori medi corrisponde una variazione di segno analogo di alcuni indicatori dei valori estremi di temperatura, tra i quali le onde di calore.

Le precipitazioni hanno una variabilità spaziale molto più marcata. Le stime delle variazioni delle precipitazioni cumulate (sia annuali che stagionali), sono piuttosto diversificate caso per caso, anche in funzione della finestra temporale analizzata. In generale, vengono rilevate tendenze di segno negativo, che indicano cioè una riduzione delle precipitazioni cumulate nel lungo periodo, anche se talvolta di entità non statisticamente significativa. Nel contempo, considerando l'intero periodo 1880-2002, si rileva una diminuzione significativa del numero di eventi di bassa intensità e, in alcune aree del Nord, un aumento della frequenza degli eventi di forte intensità. Le tendenze di intensità e frequenza delle precipitazioni non sono invece univoche se si considerano finestre temporali più brevi e recenti e se riguardano regioni specifiche del territorio italiano.

A fronte della ricchezza di serie osservative del clima passato e di reti di monitoraggio attive, c'è una forte esigenza di colmare lacune e ritardi relativi a disponibilità, controlli di qualità, continuità e aggiornamento regolare dell'insieme dei dati utili e necessari alla stima delle tendenze climatiche. Inoltre, sia la natura di alcune variabili climatiche che le problematiche degli impatti e dell'adattamento ai cambiamenti climatici richiedono conoscenze ad alta risoluzione spaziale e che coprano in modo uniforme il territorio nazionale. Soddisfare tali requisiti, superando i limiti normativi e organizzativi attuali del monitoraggio meteo-climatico in Italia, significherebbe anche creare i presupposti per una conoscenza più completa e affidabile del clima presente e passato ai fini della Strategia nazionale di adattamento.

## Bibliografia

- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. C., Wieringa, J. (2003). Guidelines on climate metadata and homogenisation. In: World Meteorological Organization, WMO-TD No. 1186, WCDMP No. 53, Geneva, Switzerland, 55 pp.
- Apadula, F., Cortesi, N. (2009). Studio del ruolo delle variabili meteoclimatiche sulla domanda elettrica. Rapporto CESI RICERCA per la Ricerca di Sistema, 08005759.
- Attorre, F., Alfò, M., De Sanctis, M., Francesconi, F., Bruno, F. (2007). Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale, *International Journal of Climatology* 27 (13), 1825-1843. doi: 10.1002/joc.1495.
- Axaopoulos, P., Sofianos, S. (2010). AIP Conference Proceedings 1203, 899. doi: 10.1063/1.3322579.
- Baldi, M., Dalu, G., Maracchi, G., Pasqui, M., Cesarone, F. (2006). Heat waves in the Mediterranean: a local feature or a larger-scale effect?, *Int. J. Climatol.*, 26, issue 11, 1477-1487. doi: 10.1002/joc.1389.
- Bartolini, G., Di Stefano, V., Maracchi, G., Orlandini, S. (2012). Mediterranean warming is especially due to summer season Evidences from Tuscany (central Italy), *Theor Appl. Climatol.* 107, 279-295. doi 10.1007/s00704-011-0481-1. Springer Verlag
- Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quéré, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D., Unnikrishnan, A. (2007). Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T. (2004). Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years, *J. of Geoph. Research - Atmosphere*, 109, D05102, doi:10.1029/2003JD004296.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenized instrumental time series, *Int. J. Climatol.*, 26, 345-381. doi: 10.1002/joc.1251.
- Cazenave, A., Cabanes, C., Dominh, K., Mangiarotti, S. (2001). Recent sea level changes in the Mediterranean Sea revealed by TOPEX/Poseidon satellite altimetry, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1607-1610. doi:10.1029/2000GL012628.
- Criado-Aldeanueva F., Del Río Vera J., García-Lafuente J. (2008). Steric and mass-induced Mediterranean sea level trends from 14 years of altimetry data, *Global Planet. Change*, 60, 563-575. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.07.003.
- Church, J. A., White N. J. (2006). A 20th century acceleration in global sea-level rise, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01602. doi:10.1029/2005GL024826.
- Desiato, F., Lena, F., Toreti, A. (2007). SCIA: a system for a better knowledge of the Italian climate, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 48, 3, 351-358.
- Desiato, F., Fioravanti, G., Frascchetti, P., Perconti, W., Toreti, A. (2011). Climate indicators for Italy: calculation and dissemination, *Advances in Science and Research*, 6, 147-150. doi:10.5194/asr-6-147-2011
- Desiato, F., Fioravanti, G., Frascchetti, P., Perconti, W., Piervitali, E. (2012). Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche, *Rapporto ISPRA Serie Stato dell'Ambiente n. 32/2012*.
- Eccel, E., Cau, P., Ranzi, R. (2012). Data reconstruction and homogenization for reducing uncertainties in high-resolution climate analysis in Alpine regions, *Theor. Appl. Climatol.* doi: 10.1007/s00704-012-0624-z.

EEA (European Environmental Agency) Report No 12/2012, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, An indicator-based report, ISSN 1725-9177. doi:10.2800/66071

Giavante, S., Di Giuseppe, E., Esposito, S. (2009). Flat steps models for the analysis of temperature and precipitation italian time series from 1961 to 2007. In: Atti Convegno SIS (Società Italiana di Statistica) 2009: Statistical Methods for the Analysis of Large Data-Sets. ISBN 978-88-6129-425-7. CLEUP – Padova, Italia

Gomis, D., Tsimplis, M., Marcos, M., Fenoglio-Marc, L., Pérez, B., Raicich, F., Vilibić, I., Wöppelman, G., Monserrat, S. (2012). Mediterranean Sea-Level Variability and Trends. In: The Climate of the Mediterranean Region, P. Lionello Ed., 257-299. doi: org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00004-5. Elsevier B.V.

Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *Journal of Geophysical Research*, 113 (D20). doi: 10.1029/2008JD010201.

IGM (2004). Atlante dei tipi geografici, Autori Vari, Istituto Geografico Militare Editore, Pagine: 868, ISBN: 88-523-8913-X, [www.igmi.org/pubblicazioni/atlante\\_tipi\\_geografici/](http://www.igmi.org/pubblicazioni/atlante_tipi_geografici/).

IPCC (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)

ISPRA (2012). Tematiche in primo piano - Annuario dei dati ambientali 2011, Rapporto Serie Stato dell'Ambiente 26/2012, ISBN: 978-88-448-0552-4.

ISPRA (2013). Rapporto annuale Gli indicatori del clima in Italia nel 2012 – Anno VIII, Serie Stato dell'Ambiente 36/2013, ISBN: 978-88-448-0598-2, e anni precedenti (2006-2012).

Klein Tank, A., Wijngaard, J., Können, G.P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., ..., Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment, *Int. J. of Climatol.*, 22(12), 1441–1453. doi: 10.1002/joc.773.

Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Zerefos, C. S., Türkes, M., Luterbacher, J. (2010). Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960, *Geoph. Res. Letters*, 37, L04802, doi: 10.1029/2009GL041841.

Li, J., Heap, A.D. (2008). A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists, *Geoscience Australia, Record 2008/23*, 137 pp., Australian Government, Department of Resources, Energy and Tourism, Minister for Resources and Energy.

Marullo, S., Buongiorno Nardelli, B., Guarracino, M., Santoleri, R. (2007). Observing the Mediterranean Sea from space: 21 years of Pathfinder-AVHRR sea surface temperatures (1985 to 2005): re-analysis and validation, *Ocean Sci.*, 3, 299–310. doi:10.5194/os-3-299-2007, 2007.

Maugeri, M., Brunetti, M., Buffoni, L., Fassina, A., Iafrate, L., Lentini, G., Mangianti, F., Masiello, C., Mazzucchelli, E., Monti, F., Nanni, T., Pastorelli, R., Torquati, C. (2004). Acquisizione, esame critico ed analisi di serie storiche italiane per lo studio delle variazioni del clima, Relazione finale per il terzo anno del progetto finalizzato CLIMAGRI. Sottoprogetto analisi climatiche e scenari futuri. Unità di ricerca 1.1 Istituto di Fisica Generale Applicata, Università degli Studi di Milano.

Meier, M., Dyurgerov, M. B., Rick, U. K., O'Neel, S., Pfeffer, W. T., Anderson, R. S., Anderson, S. P., Glazovsky, A. F. (2007). Glaciers Dominate Eustatic Sea-Level Rise in the 21st Century, *Science*, 317, no. 5841, 1064-1067. doi: 10.1126/science.1143906.

Meyssignac, B., Calafat, F. M., Somot, S., Rupolo, V., Stocchi, P., Llovel, W., Cazenave, A. (2011). Two-dimensional reconstruction of the Mediterranean sea level over 1970–2006 from tide gage data and regional ocean circulation model outputs, *Global Planet. Change* 77, 1–2, 49–61. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.03.002. Elsevier B.V.

- Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., Corte-Real, J. (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area, *Climate Research*, 31, 85-95. doi:10.3354/cr031085
- Nanni, T., Maugeri, M., Brunetti, M. (2009). La variabilità e le tendenze del clima in Italia nel corso degli ultimi secoli. In: *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, a cura di Castellari S. e Artale V., Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, Bononia University Press, ISBN: 978-88-7395-484-2, 11-45
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J. P., van der Linden, P., Hanson, C. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., ..., Parker, D. (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review, *Int. J. Climatol.*, 18, 1493-1517.
- Peterson, T. C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N. (2001). Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 pp.
- Rixen, M., Beckers, J., Levitus, S., Antonov, J., Boyer, T., Maillard, C., Fichaut, M.,..., Zavatarelli, M. (2005). The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change. *Geoph. Res. Letters*, 32(12), L12608. doi:10.1029/2005GL022702.
- Signell, R. P., Carniel, S., Cavaleri, L., Chiggiato, J., Doyle, J., Pullen, J., Scavo, M. (2005). Assessment of wind quality for oceanographic modeling in semi-enclosed basins, *Journal of Marine Systems*, 53, 217-233. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.marsys.2004.03.006.
- Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., Speranza, A. (2010). Understanding climate change-induced variations in daily temperature distributions over Italy, *J. Geophys. Res.:Atmospheres*, 115, D22110. doi:10.1029/2010JD014088.
- SMAM (2008). Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, *Atlante climatico d'Italia*. VV. 3.
- Smith T. M., Reynolds R. W. (2003). Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854-1997), *J. Climate*, 16, 1495-1510. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442-16.10.1495>
- Smith, T. M., Reynolds, R. W. (2004). Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997), *J. Climate*, 17, 2466-2477.
- Tomé, A. R., Miranda, P. M. A. (2004). Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters, *Geoph. Res. Letters*, 31, L02207. doi:10.1029/2003GL019100.
- Tomozeiu, R., Busuioc, A., Marletto, V., Zinoni, F., Cacciamani, C. (2000). Detection of changes in the summer precipitation time series of the region Emilia-Romagna, Italy, *Theor. Appl. Climatol.*, 67, 193-200. Springer-Verlag.
- Toreti, A., Desiato, F. (2008a). Temperature trend over Italy from 1961 to 2004, *Theor. Appl. Climatol.*, 91, 51-58. Springer-Verlag. doi:10.1007/s00704-006-0289-6.
- Toreti, A., Desiato, F. (2008b). Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years, *Int. J. Climatol.*, 28, 733-745. doi: 10.1002/joc.1576.
- Toreti, A., Fioravanti, G., Perconti, W., Desiato, F. (2009). Annual and seasonal precipitation over Italy from 1961 to 2006, *Int. J. Climatol.*, 29, 1976-1987. doi: 10.1002/joc.1840.
- Toreti, A., Desiato, F., Fioravanti, G., Perconti, W. (2010). Seasonal temperatures over Italy and their relationship with low-frequency atmospheric circulation patterns, *Climatic Change*, 99, 211-227. doi: 10.1007/s10584-009-9640-0 Springer Science + Business Media B.V.
- Yokoyama, Y., Esat, T. (2011). Global Climate and Sea Level: Enduring Variability and Rapid Fluctuations Over the Past 150,000 Years, *Oceanography* 24(2):54-69, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2011.27>.

# Variabilità climatica futura

## Sintesi

I modelli numerici del clima offrono uno strumento formidabile per cercare di capire quale può essere la risposta del sistema climatico a cambiamenti della concentrazione atmosferica dei gas serra e degli aerosol, fornendo proiezioni di possibili condizioni climatiche future basate su scenari di emissioni plausibili. Una valutazione corretta degli scenari di cambiamento climatico in Italia non può prescindere dall'utilizzare tutti gli strumenti disponibili per regionalizzare correttamente i segnali climatici di larga scala dei modelli globali accoppiati atmosfera-oceano (AOGCM).

Gli scenari climatici indicano che già nei primi decenni del XXI secolo (2021-50) potrebbero verificarsi significativi cambiamenti del clima Mediterraneo e dell'Italia rispetto al periodo di riferimento (1961-90). Lo scenario A1B IPCC SRES , per il periodo 2021-50, produce un riscaldamento (~1.5° C in inverno e quasi 2°C in estate) e una diminuzione di precipitazione (circa -5% in inverno e -10% in estate) rispetto al periodo di riferimento su gran parte dell'area Mediterranea. Valori più alti di riscaldamento e riduzioni più drastiche di precipitazioni si ottengono per scenari corrispondenti a più alte emissioni (ad es. A2).

Le proiezioni di cambiamento climatico per l'Italia (scenario A2) mostrano aumenti della temperatura media stagionale con valori che alla fine del XXI secolo vanno dagli oltre 5°C dell'Italia settentrionale in estate ai circa 3°C nell'Italia meridionale in inverno.

Su gran parte dell'Italia, secondo lo scenario A2, le precipitazioni medie diminuiscono in estate del 30% e oltre, mentre in inverno la riduzione è molto meno consistente al sud e praticamente nulla al centro. Al nord la precipitazione mostra un aumento significativo (+17%), soprattutto sulle aree Alpine.

Oltre ai cambiamenti nei valori medi, le proiezioni indicano alterazioni della variabilità delle temperature e delle precipitazioni sull'Italia. In particolare, l'aumento della variabilità estiva della temperatura, accompagnato dall'aumento dei valori massimi indica un aumento considerevole della probabilità di occorrenza di ondate di calore. Anche la precipitazione mostra un cambio nei regimi, con un aumento degli eventi intensi, a dispetto della generale diminuzione dei valori medi stagionali.

I cambiamenti di precipitazione associati a quelli di temperatura ed evaporazione provocano un significativo aumento degli eventi siccitosi su gran parte dell'Italia.

Il generale riscaldamento della penisola italiana e dell'area alpina in particolare, portano a una significativa riduzione dell'estensione dei ghiacciai Alpini. Per i ghiacciai delle Alpi Occidentali, per esempio, si prevede un arretramento di molte centinaia di metri entro la fine del XXI secolo.

Le proiezioni climatiche indicano che anche le condizioni del Mar Mediterraneo potrebbero essere sostanzialmente alterate dal riscaldamento globale. In particolare, nello scenario A1B la sua temperatura superficiale (SST) nel periodo 2021–50 è proiettata in aumento di circa  $1.3^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}$  rispetto al periodo di riferimento.

Le variazioni di temperatura e del bilancio idrologico del Mar Mediterraneo si riflettono sul livello del mare. Gli scenari A1B condotti nel Progetto Europeo CIRCE indicano una possibile tendenza di aumento del livello del mare per effetto sterico dell'ordine di  $0.29 (\pm 0.13)$  cm/anno, che porterebbero il livello del bacino nel periodo 2021-50 ad essere mediamente più alto dai 7 ai 12 cm rispetto al periodo di riferimento. A questo aumento andrebbe aggiunto quello del livello dell'oceano globale indotto dalla fusione dei ghiacci continentali (soprattutto Groenlandia e Ovest Antartico).

Le incertezze associate alle proiezioni climatiche fornite dai modelli numerici sono ancora grandi, soprattutto quando si voglia caratterizzare il segnale a scala regionale o locale. L'approccio multi-modello e multi-scenario intrapreso in molti progetti ha permesso di avere una stima delle incertezze dovute ai diversi modelli utilizzati ed alla scelta degli scenari considerati. Queste incertezze devono essere attentamente considerate nell'interpretazione e nell'utilizzo delle informazioni e dei dati ottenuti dalle proiezioni climatiche.

## **Introduzione**

Lo scopo di questo capitolo è fornire una sintetica e aggiornata panoramica sullo stato dell'arte dei principali risultati riguardanti i possibili futuri cambiamenti climatici nella regione del bacino Mediterraneo e della penisola italiana. Gran parte di questi risultati, sono stati ottenuti dalle proiezioni climatiche condotte nell'ambito del programma CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project-3, Meehl et al. 2007a). Recentemente, nell'ambito del programma CMIP5 (Taylor et al., 2012), sono state condotte nuove proiezioni, i cui risultati, a quanto risulta dalle prime pubblicazioni che li illustrano, sono sostanzialmente in accordo con quanto qui mostrato e discusso, confermandone il messaggio essenziale. Per eventuali approfondimenti si rimanda alla vasta bibliografia riportata a conclusione del capitolo.

## **Cambiamenti climatici e modelli numerici**

Nelle scienze del clima, il termine “cambiamento climatico” o “cambiamenti climatici” indica variazioni significative della statistica dei parametri fisici che caratterizzano, più o meno globalmente, lo stato dell'atmosfera, dell'oceano e dei ghiacci (marini e terrestri) del nostro pianeta. Generalmente, le statistiche utilizzate per definire lo stato climatico e le sue variazioni sono basate su dati osservati e/o ottenuti da modelli che coprono un periodo di almeno una trentina d'anni.

**Summary for Policy Makers – “CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science” Contributo del Gruppo di Lavoro I al Quinto Rapporto di Valutazione (AR5) dell'IPCC (2013)**

*“L'influenza umana sul sistema climatico è chiara. Ciò è evidente dalle concentrazioni crescenti di gas serra in atmosfera, dal forzante radiativo positivo, dal riscaldamento osservato, e dalla comprensione del sistema climatico*

*Il forzante radiativo totale antropogenico per il 2011 rispetto al 1750 è 2,29 [1,13-3,33] Wm<sup>-2</sup> (vedi Figura SPM.5), ed è aumentato più rapidamente dal 1970 che nel corso dei decenni precedenti. La migliore stima del forzante radiativo totale antropogenico per il 2011 è del 43% più alta di quella riportata in AR4 per il 2005. Ciò è causato dalla combinazione della continua crescita delle concentrazioni della maggior parte dei gas serra, e dalle stime migliorate del forzante radiativo degli aerosol, indicanti un effetto netto di raffreddamento più debole (RF negativo).”*

I rapporti dell'IPCC, in particolare gli ultimi due, hanno presentato "un quadro inequivocabile del riscaldamento del sistema climatico" osservato nel corso dell'ultimo secolo, stabilendo che l'effetto globale medio delle attività umane dal 1750 è stato una causa di riscaldamento (IPCC-AR4, 2007; IPCC-AR5, 2013). La tendenza al riscaldamento atmosferico, osservata nel corso del XX secolo, continua, sostanzialmente in linea con quanto mostrato dai modelli nelle proiezioni anche nei primi anni del XXI secolo (Figura 1.3).

I cambiamenti climatici possono essere dovuti a cause naturali come, ad esempio, le variazioni dell'attività solare, o antropogeniche legate principalmente all'immissione in atmosfera di grandi quantità di gas serra e aerosol.

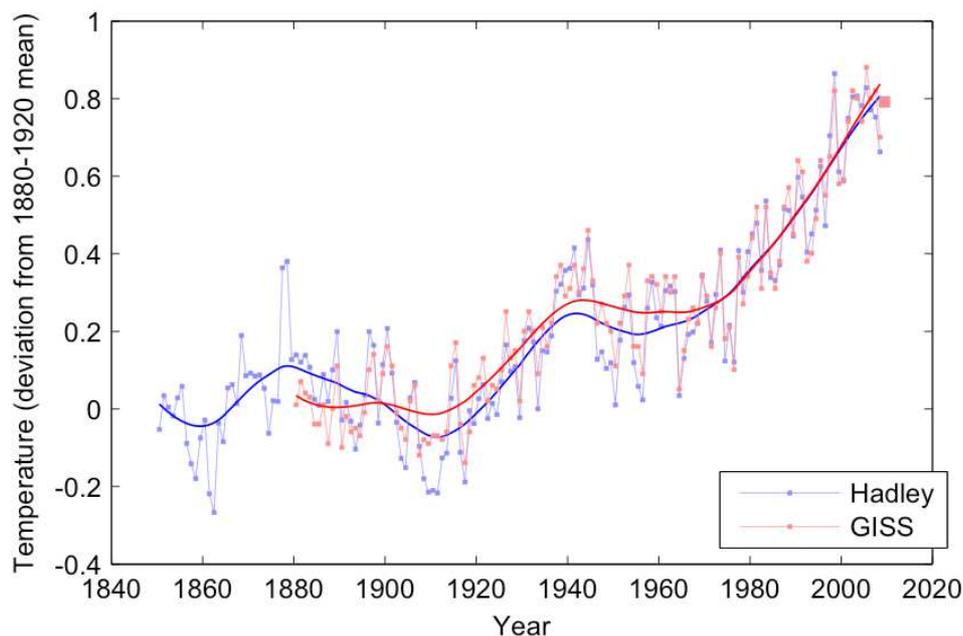
Uno dei principali problemi che si pongono nello studio delle scienze del clima rispetto ad altre discipline scientifiche, consiste nella mancanza di un possibile tavolo sperimentale sul quale eseguire i test e gli esperimenti con cui verificare o confutare ipotesi e teorie. Questa mancanza ha indotto gli scienziati a sviluppare modelli numerici con i quali eseguire simulazioni ed esperimenti sul clima e sulla sua variabilità che, per ovvi motivi, non possono essere condotti in un laboratorio. In particolare, i modelli consentono di studiare le variazioni del clima rispetto a modificazioni anche drastiche dei parametri del pianeta, come ad esempio la distribuzione dei continenti, la distribuzione delle montagne (orografia) e la composizione dell'atmosfera. Gli strumenti offerti dalla modellistica numerica risultano particolarmente utili, quindi, per esplorare le possibili conseguenze fisiche e dinamiche sul sistema climatico determinate dal cambiamento delle concentrazioni atmosferiche dei gas serra e degli aerosol indotto dalle attività umane.

I modelli numerici del clima sono basati su consolidati principi fisici e sulla rappresentazione matematica dei processi e delle interazioni attive nel sistema climatico e negli ultimi anni hanno compiuto notevoli progressi, migliorando considerevolmente la loro capacità di riprodurre le principali caratteristiche osservate del clima, capacità attentamente verificata confrontando i loro risultati con le osservazioni disponibili per oceano e atmosfera (ad es. Reichler, Kim, 2008).

Tali modelli esprimono e contengono lo stato dell'arte nella conoscenza del clima e dei processi che lo caratterizzano attualmente a disposizione della comunità scientifica (e non). Essi quindi rappresentano lo strumento più avanzato col quale cercare di esplorare ed investigare i

meccanismi che regolano il clima, la sua variabilità ed, eventualmente, cercare di prevederne l'evoluzione (Randall et al., 2007; Taylor et al., 2012).

Negli ultimi venti anni, numerose simulazioni numeriche sono state eseguite con **modelli globali accoppiati atmosfera-oceano (AOGCM)** per individuare la risposta del sistema terrestre all'aumento di concentrazione dei cosiddetti "gas serra", quali, per esempio la CO<sub>2</sub> atmosferica (ad es. Cubasch et al., 1992; Manabe et al., 2001; Hu et al., 2004; Merryfield 2006; Breugem 2007; von Storch 2008, vedi anche IPCC-AR4 2007). Questi studi hanno mostrato che è possibile riprodurre il clima globale del pianeta e la sua risposta a diversi scenari di aumento dei gas serra e oggi giorno la comunità scientifica è ragionevolmente concorde nel ritenere che gli AOGCM siano in grado di fornire stime quantitative affidabili della risposta climatica ai cambiamenti di forzante radiativo, in particolare su scale globali e continentali. Tale affidabilità, tuttavia, è generalmente più alta per alcuni parametri fisici (ad es. la temperatura) che per altri (ad es. la precipitazione). L'incertezza sui risultati delle simulazioni è quindi ancora alta, ma si va progressivamente riducendo e soprattutto quantificando, grazie al miglioramento della comprensione dei processi fisici e della loro rappresentazione numerica nei modelli e all'uso di tecniche statistiche per la quantificazione degli errori.

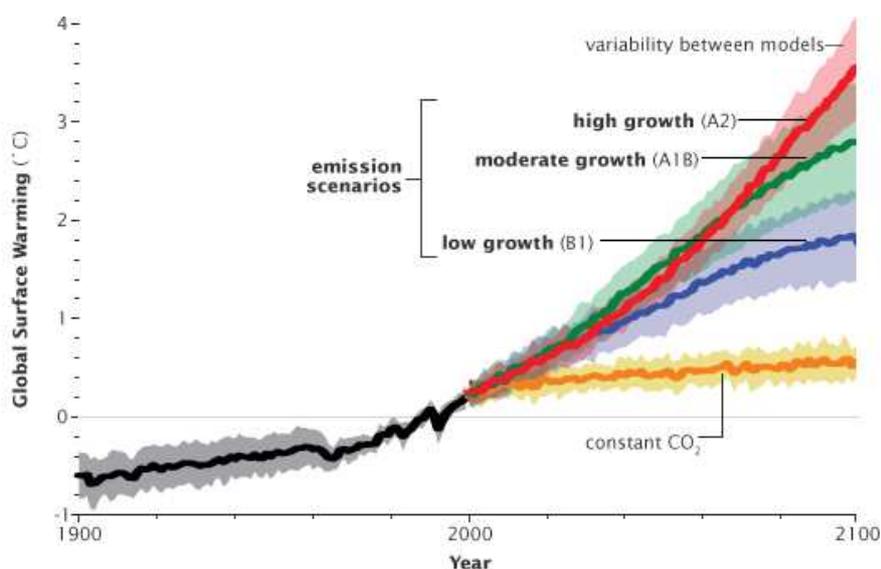


**Figura 1.3:** Media globale annuale e media corrente della temperatura superficiale per il periodo 1850-2009 rispetto al periodo di riferimento 1880-1920 stimata da data set osservativi della NASA/GISS (USA) e dello Hadley Centre (UK). Dati ottenuti dalla NOAA che ricostruiscono la temperatura superficiale marina (non mostrati) rivelano un simile andamento (Fonte: The Copenhagen Diagnosis 2009).

I modelli numerici del clima, quindi, offrono uno strumento formidabile per cercare di capire quale può essere la risposta del sistema climatico a cambiamenti del forzante radiativo

(concentrazione atmosferica dei gas serra e degli aerosol), fornendo proiezioni di possibili condizioni climatiche future basate su scenari di emissioni plausibili. In Figura 2.3 è illustrata l'evoluzione della temperatura media alla superficie del pianeta simulata per il periodo 1900-2000 (linea nera) dai modelli CMIP3 (Meehl et al., 2007a, utilizzati per il Fourth Assessment Report IPCC) e le proiezioni per il XXI secolo ottenute con gli stessi modelli utilizzando tre possibili scenari di emissioni dell'IPCC (SRES-IPCC, Nakićenović & R. Swart, 2000).

Le simulazioni CMIP3 indicano, per tutti gli scenari, un riscaldamento globale rispetto al periodo di riferimento (1980-1999). Il riscaldamento proiettato per la fine del secolo è compreso approssimativamente tra 1.8°C nel caso dello scenario più moderato (B1), fino agli oltre 4°C trovati per lo scenario con le emissioni più intense (A2). Inoltre, la distribuzione spaziale dell'aumento della temperatura proiettata indica che il riscaldamento interessa tutte le aree del pianeta, sebbene in misura diversa (vedi, IPCC-AR4, WG-1, Figure 10.8, Meehl et al., 2007b). Le aree continentali e quelle della regione Artica, per esempio, mostrano un riscaldamento molto più pronunciato (fino a oltre 4°C nello scenario B1 e 5-6°C negli scenari A1B e A2) rispetto al resto del globo.



**Figura 2.3:** Cambiamenti simulati (linea nera) e proiettati (linee colorate) della temperatura media globale ottenuti usando tre scenari di emissione (A2, A1B e B1) che non comprendono nessuna politica di mitigazione (SRES-IPCC). Le aree ombreggiate mostrano gli intervalli di incertezza associati ai diversi (una ventina circa) modelli utilizzati per le proiezioni (IPCC, 2007), mentre le linee colorate rappresentano le medie multi-modello. Le deviazioni sono relative alla media 1980-1999. La linea arancione fornisce una stima dell'aumento della temperatura globale che si avrebbe se la concentrazione dei gas serra fosse mantenuta costante al livello del 2000 (Fonte: Modificato da IPCC WG1 AR-4; NASA Earth-Observatory).

Sostanziali cambiamenti si trovano anche in altri importantissimi parametri fisici del clima, come, ad esempio, la precipitazione (vedi, IPCC-AR4, WG-1, Figure 10.9; Meehl et al., 2007b). E' importante notare, però, che a differenza dei cambiamenti proiettati per la temperatura, le proiezioni del cambiamento nella precipitazione non sono omogeneamente distribuite, mostrando

aree del pianeta dove le piogge potrebbero significativamente aumentare rispetto ad altre dove si potrebbe verificare una sostanziale diminuzione.

La grande variabilità spaziale del clima, comunque, rende difficilmente trasportabili i risultati globali a scale spaziali più ridotte. Quella che nella modellistica climatica viene definita come scala regionale, ma che in realtà è continentale o sub-continentale, è forse la minima scala ove sia possibile definire un clima statisticamente stabile. D'altra parte, la scala regionale è quella che ha una maggiore interconnessione con gli interessi socio-economici, in quanto, se le strategie di mitigazione sono per loro natura globali, le strategie e le politiche di adattamento devono essere necessariamente applicate localmente, creando quindi una forte domanda di informazioni più localizzate rispetto agli indici globali del cambiamento climatico.

### ***Regionalizzazione del segnale climatico***

Gli scenari climatici ottenuti con i modelli AOGCM sono disponibili a risoluzioni (dell'ordine del centinaio di km) inadeguate per valutare gli impatti dei cambiamenti climatici su scala locale che richiedono informazioni climatiche con un alto grado di dettaglio sia spaziale che temporale. La semplice interpolazione lineare dei risultati degli AOGCM non è una possibile soluzione al problema, perché è noto che le variazioni climatiche di larga scala si declinano in variazioni climatiche locali in modo complesso e fortemente dipendente dalle caratteristiche geografiche locali. Tali caratteristiche comprendono non solo la quota e la distanza dal mare o dai laghi, ma anche la geometria delle stesse rispetto alla circolazione di larga scala, che può favorire o no il verificarsi di amplificazioni degli effetti locali, specialmente in una regione come l'Italia caratterizzata da una forte complessità geografica. Per citare alcuni esempi, basta pensare all'amplificazione orografica delle precipitazioni, alle interazioni della circolazione atmosferica locale con l'orografia e con i flussi superficiali di calore e vapore acqueo, o al ruolo cruciale dell'orografia nel favorire il verificarsi di inversioni termiche nelle regioni vallive più o meno estese.

**Per tutti questi motivi, una valutazione corretta degli scenari di cambiamento climatico in Italia non si può esimere dall'utilizzare tutti gli strumenti disponibili per regionalizzare correttamente i segnali climatici di larga scala degli AOGCM.** Tale regionalizzazione si può realizzare con due diversi metodi: dinamico e statistico.

La **regionalizzazione dinamica** prevede l'uso di **modelli climatici regionali ad area limitata (RCM)**, alimentati al contorno dai campi istantanei degli AOGCM. Attualmente questi modelli raggiungono risoluzioni orizzontali da 50 fino a 10 km. Ci si aspetta che gli RCM siano in grado di risolvere una frazione sostanziale degli effetti climatici locali, migliorando così la qualità e l'utilizzabilità degli scenari all'interno di studi di impatto climatico. D'altra parte, dal momento che gli RCM utilizzano al contorno i campi ottenuti dagli AOGCM, ne ereditano in buona parte gli eventuali errori sistematici. In generale, si ritiene che per variazioni relativamente piccole del clima che non alterano gli equilibri dinamici di base, quali quelle previste, gli effetti degli errori sistematici siano lineari, e possano quindi essere rimossi con semplici metodi di confronto fra il clima di scenario e quello attuale, rappresentati da ciascun modello, o comunque compensati

valutando le variazioni climatiche più probabili grazie all'uso di più modelli RCM (**metodi di multi-model ensemble**).

La **regionalizzazione statistica** prevede invece l'uso di schemi empirici, basati sull'esistenza di relazioni statistiche robuste fra la circolazione di larga scala e il clima locale, ampiamente documentate in letteratura (Toreti et al., 2010; Pavan et al., 2008; Quadrelli et al., 2001; Cacciamani et al., 1994). Questi schemi statistici stimano direttamente le anomalie climatiche a livello locale, fino al dettaglio della singola località, a partire da opportuni indici di circolazione di larga scala e spesso vengono utilizzati in associazione a generatori statistici di tempo meteorologico, così da raggiungere il necessario dettaglio temporale richiesto dai modelli di impatto. Un approccio leggermente diverso, utile per il ciclo idrologico, è basato sulla **regionalizzazione stocastica dei campi di precipitazione**, che porta a generare un ensemble di possibili realizzazioni delle variabili di interesse climatico (Rebora et al., 2006).

Per valutare i cambiamenti climatici, gli schemi statistici sono applicati ai risultati ottenuti dai AOGCM sia per il clima attuale, che per quello di scenario e per questo motivo anch'essi ereditano dai AOGCM i problemi nella rappresentazione della variabilità climatica. Come nel caso degli RCM, si assume che l'uso di metodi di multi-model ensemble possa ridurre l'impatto sui risultati finali degli errori dei singoli AOGCM o della scelta dei parametri usati all'interno degli schemi statistici.

Entrambi i metodi sopra citati hanno vantaggi e svantaggi: i metodi dinamici sono basati sull'applicazione di robuste leggi fisiche, ma richiedono imponenti costi in termini di tempo di calcolo; i metodi statistici, d'altra parte, sono molto economici in termini di tempi di calcolo, ma richiedono la disponibilità di lunghe serie storiche osservate di buona qualità su stazioni rappresentative del clima locale e una buona conoscenza delle dinamiche del clima locale da parte degli sviluppatori. Inoltre, essendo i modelli statistici basati su relazioni derivate dalle serie storiche, potrebbero non essere capaci di riprodurre relazioni inedite nello storico osservato, ma che potrebbero determinarsi in una condizione di cambiamento climatico.

Proiezioni climatiche future ottenute utilizzando sia modelli dinamici che statistici sono state prodotte e analizzate in diversi progetti europei e nazionali, quali STARDEX<sup>12</sup>, PRUDENCE<sup>13</sup>, ENSEMBLES<sup>14</sup>, ADAPTALP<sup>15</sup> e AGROSCENARI<sup>16</sup>. Le simulazioni prodotte coprono vari orizzonti temporali estendendosi fino alla fine del XXI secolo. Scenari climatici sono disponibili, ad esempio, per i periodi **2021-2050**, **2071-2099**, **2080-2099**. Queste simulazioni sono state prodotte sia a scala europea, come nel caso dei progetti ENSEMBLES (Van der Linden, 2009) e PRUDENCE (Giorgi et al., 2005), che a scala nazionale o regionale, come nei progetti ADAPTALP e AGROSCENARI, in cui sono stati valutati possibili cambiamenti locali del clima per varie zone di studio della penisola Italiana. Ad esempio, proiezioni di cambiamento climatico di temperatura e di precipitazione sono

---

<sup>12</sup> <http://www.cru.uea.ac.uk/stardex>

<sup>13</sup> <http://prudence.dmi.dk>

<sup>14</sup> <http://www.ensembles-eu.org>

<sup>15</sup> <http://www.adaptalp.org>

<sup>16</sup> <http://www.agroscenari.it/>

state realizzate sull'Italia settentrionale (Tomozeiu et al., 2013), su un dominio centrato sullo spazio Alpino e su 5 aree distribuite sul territorio nazionale: Val Padana, Faentino, Marche, Beneventano, Destra Sele e Oristano (Tomozeiu et al., 2011). Le proiezioni climatiche sono state costruite utilizzando vari scenari di emissione di gas serra, quali gli **SRES-IPCC A1B, A2, B1**.

### ***Le Proiezioni di cambiamento climatico nel bacino del Mediterraneo***

La **regione mediterranea**, qui intesa come il bacino del Mar Mediterraneo e le aree circostanti, è caratterizzata da condizioni climatiche determinate dall'interazione tra la sua complessa morfologia (catene montuose e contrasti terra-mare) e i regimi delle medie latitudini e della circolazione tropicale. La regione, popolata da oltre 500 milioni di persone, distribuite in circa 30 paesi in Africa, Asia ed Europa, è stata identificata come uno dei cosiddetti **"hot-spot"**, vale a dire **una delle aree più sensibili ai cambiamenti climatici** (Giorgi 2006). Pertanto, l'analisi e la comprensione dei meccanismi che regolano la variabilità e i possibili cambiamenti delle sue condizioni climatiche hanno importantissime ricadute sociali ed economiche, oltre che scientifiche.

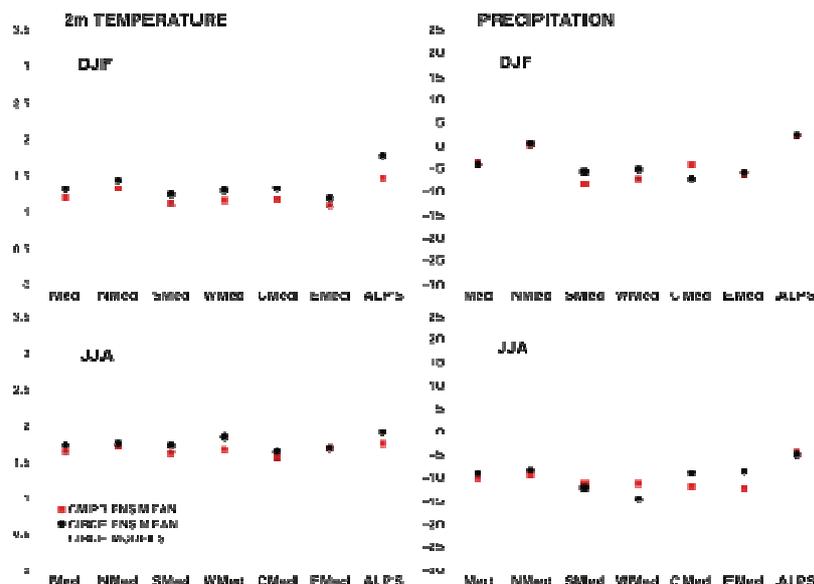
Numerose iniziative e progetti di ricerca sono stati condotti, nel recente passato o sono tuttora in fase di svolgimento, per valutare i possibili cambiamenti che il riscaldamento globale antropogenico potrebbe indurre nel clima del continente europeo e del bacino del Mediterraneo. In particolare, simulazioni di scenario sono state condotte nel contesto di vari progetti europei, come, per esempio, PRUDENCE (Christensen, Christensen, 2007) ed ENSEMBLES (Christensen et al. 2009). Allo stesso tempo, numerosi lavori scientifici e studi coordinati sono stati effettuati per indagare e valutare il segnale del cambiamento climatico nella regione mediterranea utilizzando sia modelli regionali che globali (Giorgi, Lionello, 2008). Marcos e Tsimplis (2008), ad esempio, hanno utilizzato i dati CMIP3 (Meehl et al. 2007) per valutare l'intervallo d'incertezza della risposta del bacino del Mediterraneo in termini di temperatura, salinità e cambiamento del livello del mare nel corso del XXI secolo. Secondo i risultati ottenuti, i modelli CMIP3 evidenziano forti limiti nel simulare realisticamente le principali caratteristiche del clima del bacino, principalmente a causa della loro bassa risoluzione spaziale. Pertanto, anche il segnale di cambiamento climatico prodotto da questi modelli nella regione del Mediterraneo deve essere considerato con una certa cautela. Utilizzando lo stesso set di simulazioni, Mariotti et al. (2008) hanno quantificato le variazioni delle componenti del ciclo idrologico di bacino. Un'analisi simile è stata condotta da Sanchez-Gomez et al. (2009), utilizzando, però, i dati prodotti dal progetto ENSEMBLES, cioè risultati ottenuti con modelli atmosferici ad area limitata (RCM), con risoluzione pari a circa 25 km, sull'area dell'Europa e del Mediterraneo. I risultati di questi studi indicano che, per diversi scenari SRES-IPCC, i modelli, sia globali che regionali, producono una significativa riduzione delle risorse idriche per la regione mediterranea, soprattutto nella seconda metà del periodo degli scenari di emissione, cioè dal 2050 in poi.

E' importante notare che gli studi sopra menzionati e i relativi risultati si basano su dati e simulazioni prodotti con modelli AOGCM a bassa risoluzione, oppure con modelli regionali ad alta risoluzione nei quali, però, oceano ed atmosfera sono disaccoppiati. Tali modelli, quindi, hanno limitate capacità di rappresentare realisticamente i processi di piccola scala o di interazione aria-mare nelle loro proiezioni di cambiamento climatico per il bacino Mediterraneo. Infatti, i

modelli accoppiati globali CMIP3, con risoluzioni dell'ordine di 200 km circa, non possono risolvere e rappresentare propriamente la complessità della geomorfologia della regione ed i processi a piccola scala ad essa legati. I modelli atmosferici regionali, d'altra parte, hanno una risoluzione sufficientemente alta per risolvere le piccole scale, ma sono forzati con condizioni al contorno (temperature marine superficiali – sea surface temperature -SST) prescritte e non interattive, essi, quindi, trascurano completamente i feedback aria-mare e i loro effetti sui meccanismi che controllano variabilità e cambiamenti climatici. La mancanza di questi feedback, in particolare, riduce la coerenza tra SST, flussi aria-mare e struttura verticale dell'atmosfera, diminuendo la consistenza fisica del sistema modellato e aumentando quindi l'incertezza sui risultati ottenuti dalle simulazioni (Somot et al., 2008; Marcos e Tsimplis 2008). Argomentazioni analoghe valgono per i modelli regionali oceanici del Mar Mediterraneo forzati con flussi atmosferici prescritti e non interattivi.

Un fondamentale passo in avanti nella modellistica del clima regionale del bacino del Mediterraneo è stato compiuto nell'ambito del **progetto europeo CIRCE** (Navarra e Tubiana, 2013), con lo sviluppo di un set di modelli accoppiati specificamente disegnati per la produzione di nuove e scientificamente più avanzate proiezioni di cambiamento climatico per questa area (Gualdi et al., 2013; Gualdi et al., 2013b). Tutti i modelli CIRCE includono un modello numerico ad alta risoluzione del Mar Mediterraneo accoppiato con l'atmosfera sovrastante e, per alcuni di essi, con il sistema climatico globale (oceano e atmosfera globali). Tali modelli, quindi, possono simulare le principali caratteristiche di piccola scala del bacino, includendo l'interazione e lo scambio dei flussi tra superficie del mare e atmosfera. Inoltre, l'approccio multi-modello adottato per le proiezioni di cambiamento climatico condotte in CIRCE, ha consentito di provvedere anche una prima stima delle incertezze dovute ai diversi modelli utilizzati ed ai loro errori sistematici (Deque et al. 2007).

Le proiezioni prodotte dalle simulazioni CIRCE indicano che cambiamenti nel clima del Mediterraneo potrebbero verificarsi già nei primi decenni dello scenario A1B per il XXI secolo (Gualdi et al., 2013a). In particolare, un sostanziale aumento della temperatura superficiale e una significativa riduzione delle precipitazioni, sull'intera area del bacino, si potrebbero verificare già nelle medie stagionali del periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1961-1990. L'incremento della temperatura media proiettata è particolarmente pronunciato nell'Europa Meridionale e nel Nord Africa durante la stagione estiva (JJA) e sulle Alpi, dove, sia in inverno che in estate, il riscaldamento potrebbe raggiungere i 2° C.



**Figura 3.3:** Differenze delle medie stagionali della temperatura dell'aria a 2 metri (°C, pannelli a sinistra) e precipitazione (% del valore di riferimento, pannelli a destra) ottenute dalle simulazioni CIRCE e CMIP3 tra il periodo 2021-2050 e il periodo di riferimento 1961-1990. I modelli CIRCE sono indicati con il simbolo +, mentre i dischi neri rappresentano i valori ottenuti dalla loro media d'insieme multi-modello. I quadrati rossi, invece, rappresentano la media multi-modello dell'insieme CMIP3. I pannelli superiori mostrano i risultati ottenuti per la stagione invernale (DJF), mentre quelli inferiori i risultati relativi alla stagione estiva (JJA). Le differenze sono state calcolate per le sette aree della regione mediterranea definite da Giorgi e Lionello (2008) (Fonte: Gualdi et al., 2013a).

Le caratteristiche regionali dei cambiamenti climatici prodotti dalle proiezioni CIRCE sono riassunte in Figura 3.3, dove sono mostrate le variazioni della temperatura dell'aria a 2 metri dalla superficie (T2m, pannelli a sinistra) e della precipitazione (pannelli a destra) per diverse zone del bacino, durante il periodo invernale (pannelli in alto) ed estivo (pannelli in basso). In particolare, la figura mostra le variazioni in sei aree del Mediterraneo, oltre a quelle per l'intero bacino, ottenute come le differenze tra le medie per il periodo 2021-2050 e quelle per il periodo di riferimento 1961-1990. Le sei aree considerate sono definite come in Giorgi e Lionello (2008): bacino intero (Med), 28°-48°N, 9.5°W-38.5°E; Mediterraneo Settentrionale (NMED), 41°-48°N, 9.5°W-38.5°E; Mediterraneo Meridionale (SMed), 28°-41°N, 9.5°W-38.5°E; Mediterraneo Occidentale (WMed), 28°-44°N, 9.5°W-10.5°E; Mediterraneo Centrale (CMed), 28°-46°N, 10.5°E-20.5°E; Mediterraneo Orientale (EMed), 28°-44°N, 20.5°E-38.5°E; Regione Alpina (ALPS), 44°-48°N, 5.5°E-15.5°E). Inoltre, in Figura 3.3 sono riportati anche i risultati ottenuti dai modelli CMIP3, allo scopo di confrontare le variazioni prodotte dai modelli CIRCE con il segnale ottenuto dai modelli utilizzati per l'IPCC-AR4. Infine, la figura mostra anche le differenze (spread) tra i risultati prodotti dai diversi modelli CIRCE (indicati in figura con i simboli +), fornendo in questo modo una prima valutazione dell'incertezza in queste proiezioni dovuta all'utilizzo di diversi modelli numerici.

I risultati mostrati in Figura 3.3 indicano che, durante la stagione estiva (JJA), il riscaldamento proiettato appare relativamente uniforme in tutto il bacino. In questa stagione, infatti, tutte le aree considerate sono soggette a un aumento medio della T2m proiettata che oscilla tra circa 1.75 e 2°C

nei modelli CIRCE tra 1.5 e 1.75°C nei CMIP3. Durante l'inverno (DJF), vi sono differenze più marcate tra le risposte delle diverse sotto-regioni al forcing radiativo. La Regione Alpina, ad esempio, appare più sensibile, mostrando un riscaldamento maggiore, particolarmente intenso nelle proiezioni CIRCE. Anche la dispersione dei risultati ottenuti dai diversi modelli CIRCE mostra una dipendenza dalle aree considerate e dalle stagioni. Le differenze maggiori tra i modelli si riscontrano nel Mediterraneo settentrionale (NMED) e nell'area Alpina, dove lo spread tra i risultati è significativamente più grande di quello trovato per il Mediterraneo meridionale e orientale (SMed o EMed).

I cambiamenti nelle precipitazioni (Figura 3.3, pannelli a destra) mostrano un'evidente tendenza verso condizioni più siccitose per l'intera regione, visibile in entrambe le stagioni, ma più pronunciata in estate. Nel complesso, la diminuzione tra le medie stagionali di precipitazione per il periodo proiettato (2021-2050) e quello di riferimento è di circa il 5%. Tale riduzione interessa gran parte delle aree considerate, anche se, in questo caso, l'incertezza dovuta allo spread dei modelli sembra essere superiore a quella trovata per la temperatura. Durante la stagione estiva (pannello in basso a destra), la riduzione di precipitazione riguarda tutte le sotto-aree del bacino, mentre in inverno (pannello in alto a destra), il segnale di cambiamento della precipitazione sembra essere sostanzialmente diverso nella parte settentrionale del Mediterraneo rispetto al resto del dominio. Nel nord del bacino, infatti, non si ha nessuna modifica significativa nelle piogge proiettate e, anzi, per l'area Alpina (ALPS) si riscontra un certo aumento della piovosità, in accordo con i risultati trovati da Giorgi e Lionello (2008).

Dal punto di vista dinamico, la generale riduzione delle precipitazioni nelle proiezioni per il XXI secolo è probabilmente dovuta all'aumento delle condizioni anticicloniche e di stabilità atmosferica proiettate su gran parte dell'area del bacino (Giorgi e Lionello, 2008; Gualdi et al., 2013b). L'aumento della stabilità atmosferica, a sua volta, è riconducibile all'aumento della divergenza di umidità e all'espansione della cella di Hadley nell'Atlantico sub-tropicale (Held e Soden, 2006; Lu et al., 2007; Seager et al., 2007), nonché al trend positivo del *Northern Annular Mode* (Previdi e Liepert, 2007) proiettati come conseguenza del *global warming*.

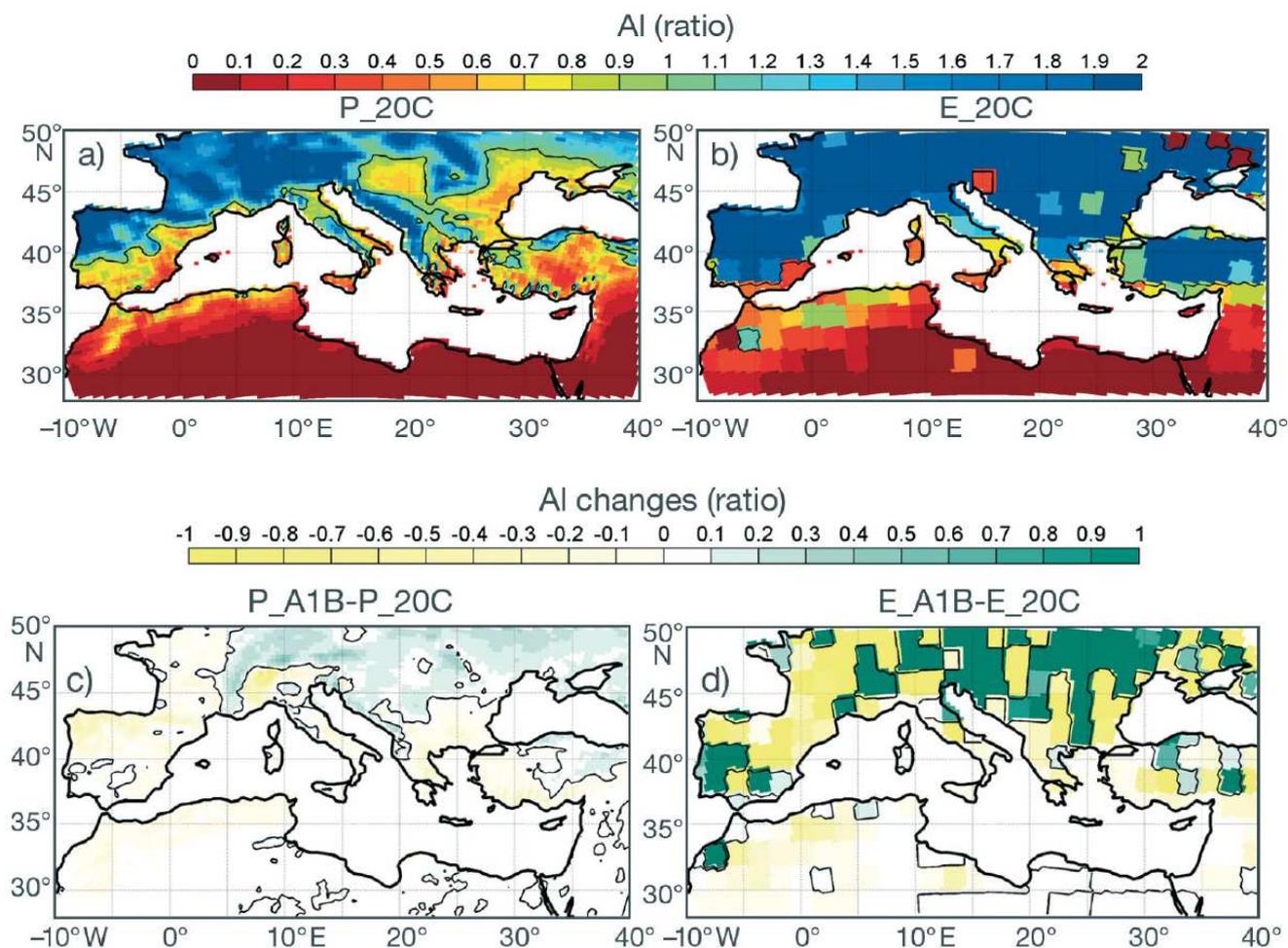
In generale, i risultati ottenuti dalle proiezioni CIRCE sono in accordo con quelli prodotti dai modelli CMIP3 e dalle proiezioni prodotte nei progetti ENSEMBLES e PRUDENCE (Mariotti et al., 2008; Giorgi e Lionello, 2008) e, stando alle pubblicazioni che cominciano ad essere disponibili nella letteratura scientifica, anche con i risultati basati sulle simulazioni CMIP5 (ad es. IPCC, 2013). La sostanziale consistenza tra i risultati di cambiamento della precipitazione e della temperatura nell'area del Mediterraneo, ottenuti da proiezioni prodotte con modelli molto diversi tra loro (alcuni accoppiati globali a bassa risoluzione, alcuni ad alta risoluzione ma solo atmosferici, alcuni accoppiati e ad alta risoluzione), suggerisce che questi risultati siano robusti, anche rispetto a significative differenze nella configurazione dei modelli climatici utilizzati per produrli.

Tra le simulazioni CIRCE, quella eseguita col modello accoppiato PROTUEUS (Artale et al., 2009) è stata utilizzata per condurre studi sul ciclo idrologico e il rischio di siccità cui sono soggette le aree meridionali del Mediterraneo (Dell'Aquila et al., 2012). Considerando l'intero bacino Mediterraneo e restringendosi ai risultati su terra, il ciclo stagionale della precipitazione proiettata da

PROTHEUS per il periodo 2040-50 dello scenario A1B mostra una chiara riduzione rispetto al periodo di riferimento 1961-90, in accordo con gli altri modelli CIRCE. La diminuzione della precipitazione negli scenari A1B, particolarmente pronunciata in primavera e autunno, appare però accompagnata da un aumento degli eventi di precipitazione intensa. Un aumento della frequenza degli eventi precipitanti intensi in condizioni di *global warming* è consistente con la maggiore quantità di umidità specifica che un'atmosfera più calda può accumulare. L'analisi della distribuzione spaziale degli eventi intensi di anomalie di precipitazione simulati da PROTHEUS indica che le anomalie più forti nel XX secolo avvengono in autunno sulla penisola Iberica, le catene montuose dei Balcani, e la costa Tirrenica meridionale. Nello scenario A1B, invece, la stagione con le più marcate deviazioni dal ciclo stagionale è l'inverno, e le aree principalmente coinvolte sono la penisola Iberica e la catena montuosa dei Balcani, fino a lambire le Alpi orientali.

Il rischio di siccità cui potrebbero essere soggette le regioni meridionali d'Europa a causa dei cambiamenti del ciclo idrologico discussi precedentemente, è stato investigato per mezzo di un **indice di aridità (AI)**. L'indice di aridità è definito come il rapporto tra precipitazione accumulata annua ed evapotraspirazione potenziale su base annua (UNEP, 1992). Una soglia critica è rappresentata dal valore 1, al di sotto della quale l'evapotraspirazione annua supera la precipitazione cumulata e la vegetazione è sottoposta ad uno stress idrico.

La Figura 4.3 mostra i valori dell'indice di aridità calcolati dalle uscite del modello accoppiato regionale PROTHEUS (P) e dalle uscite del modello globale ECHAM5 (E), che fornisce le condizioni al contorno per il modello regionale stesso.



**Figura 4.3:** Indice di aridità (AI) calcolato dai dati del modello regionale PROTHEUS e del modello globale ECHAM5/MPI-OM. (a,b) Valori medi per il XX secolo, P\_20C e E\_20C. Il contouring nero indica AI = 1. Il periodo di riferimento è 1961-1970. (c, d) Trends: differenza tra le decadi 2041-2050 (A1B) e 1961-1970 (20C). Il contouring indica "nessun trend" (Fonte: Dell'Aquila et al., 2012).

In particolare, nella Figura 4.3 (pannelli a e b) vengono presentati il valore medi di AI per la decade 1961-70, ottenuti dal modello regionale PROTHEUS e dal modello globale ECHAM5/MPI-OM. Molte aree lungo le coste del Mediterraneo (Spagna meridionale, Nord Africa, Sicilia, Sardegna e versante Italiano della costa Adriatica e parte della Grecia) sono caratterizzate da valori di AI minori di 1, come molte aree del sud-est Europa. In aree caratterizzate da una topografia molto variabile, come i Balcani e l'Italia, il downscaling con il modello regionale riesce a catturare aree umide o secche con maggiore dettaglio rispetto al modello globale. Se consideriamo il trend del valore di AI (Figura 4.3c e 4.3d), notiamo una tendenza all'intensificazione degli episodi di aridità nella prima metà del XXI secolo (decennio 2041-2050) sul nord della penisola Iberica, sui Pirenei, a sud delle Alpi e intorno al Mar Egeo. Il corrispondente pattern per il modello globale (Figura 4.3d) è molto più rumoroso e non permette una caratterizzazione così dettagliata.

## I possibili cambiamenti del clima in Italia

### Il cambiamento delle medie stagionali, della variabilità e degli estremi

Le prime valutazioni dell'intensità dei possibili futuri cambiamenti climatici in Italia sono state ottenute dai risultati dei progetti europei PRUDENCE e STARDEX, regionalizzando le proiezioni di cambiamento climatico dei modelli globali (AOGCM).

Zone	Differenza medie (2071-2100) – (1961-1990)	
	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITAZIONE (%)
Italia Settentrionale	DJF +3.5 (±0.7)	DJF +17 (±14)
	JJA +5.1 (±1.4)	JJA -30 (±18)
Italia Centrale	DJF +3.1 (±0.6)	DJF 0 (n.d.)
	JJA +4.8 (±1.2)	JJA -40 (±29)
Italia Meridionale	DJF +2.9 (±0.6)	DJF -20 (±14)
	JJA +4.4 (±0.9)	JJA -35 (±35)

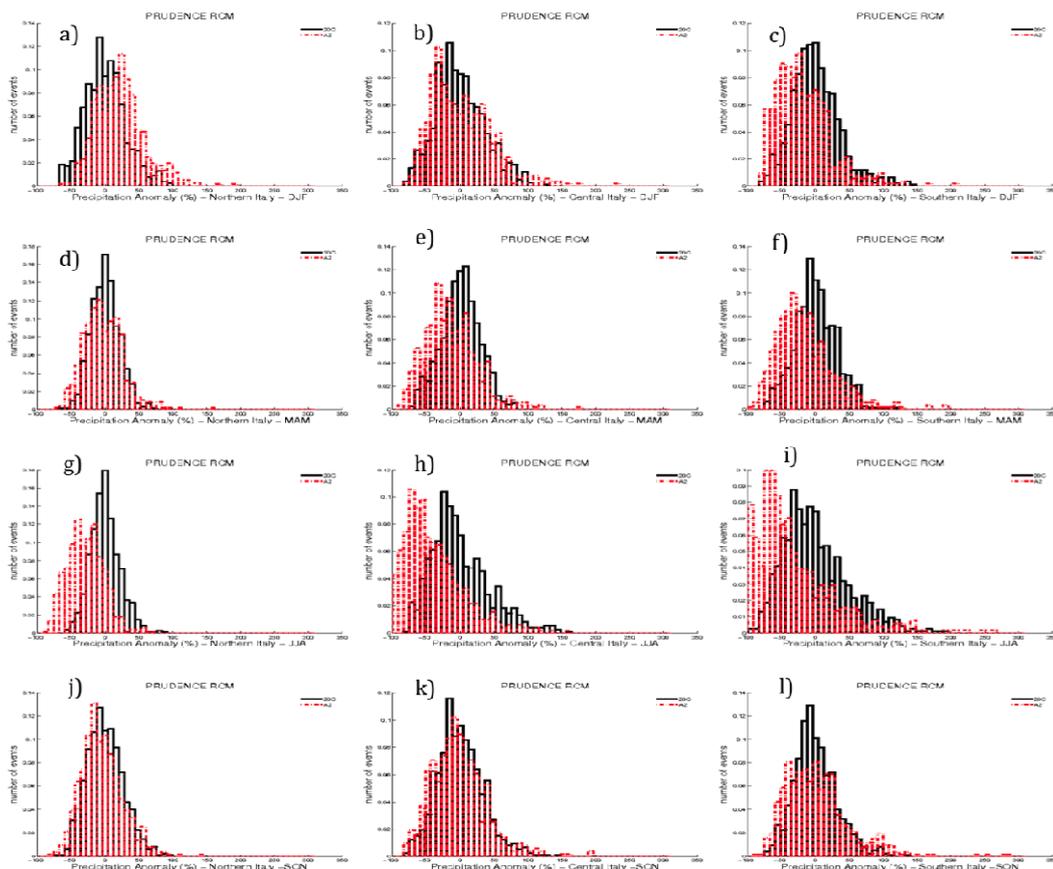
**Tabella 1.3:** Cambiamento della temperatura (°C) e della precipitazione (%) sulla penisola Italiana tra le medie stagionali per il periodo (2071-2100) e il periodo di riferimento (1961-1990), ottenute con i modelli PRUDENCE seguendo lo scenario SRES-IPCC A2. I valori indicano il risultato della media multi-modello e i valori tra parentesi indicano lo "spread" inter-modello in termini di deviazione standard dei cambiamenti. Maggiori dettagli su queste simulazioni e sui risultati ottenuti possono essere trovati in Coppola e Giorgi (2009).

Tali proiezioni di cambiamento climatico si riferiscono al periodo 2071-2100 rispetto al 1961-1990, e sono associate agli scenari A2 e B2, in cui si assume che in futuro si dia priorità più allo sviluppo economico (A2) piuttosto che non a scelte orientate al rispetto ambientale (B2), utilizzando strategie che favoriscano soluzioni regionali (sia A2 che B2) (Gualdi et al., 2009).

Per questo periodo di fine secolo, le proiezioni (Tabella 1.3) indicano come molto probabile un aumento dei valori medi delle temperature con ampiezze minori in inverno (tra 2.9 e 3.5°C per lo scenario A2, ma più contenuti per il B2) e maggiori in estate (tra i 4.0 e 5.0°C per lo scenario A2, più contenuti per il B2). Valori intermedi di cambiamento sembrano invece probabili nelle stagioni di transizione (primavera e autunno). Ci si aspetta inoltre che i cambiamenti siano più intensi nelle aree continentali e meno marcati lungo le coste e che siano associati ad un calo nel valore medio del numero di giorni con gelo nel corso della stagione invernale e ad un aumento della durata delle ondate di calore primaverili ed estive, come indicano, per esempio, i risultati ottenuti per la regione Emilia-Romagna da Cacciamani et al. (2005) e Tomozeiu et al. (2007).

La Figura 5.3, presenta le frequenze nei valori di anomalia stagionale di precipitazione, espresse in termini di percentuale rispetto al valore climatico di riferimento stagionale per Nord, Centro e Sud Italia (per l'esatta definizione di queste regioni il lettore è rimandato a Coppola e Giorgi, 2009) ottenute utilizzando un multi-model ensemble, formato da modelli climatici regionali (RCM), all'interno del Progetto Europeo PROVOST (Coppola e Giorgi, 2008). Nella figura sono presentate

con gli istogrammi neri le frequenze relative al clima di riferimento 1961-'90 e con gli istogrammi rossi quelle ottenute per lo scenario A2, alla fine del XXI secolo. Come si può vedere, le precipitazioni estive mostrano un generale calo dei valori totali annuali, con intensità che variano da -10% a -40% dei valori climatologici. Ciò renderà più probabile che a fine secolo aumenti la frequenza di estati calde e secche. Nelle altre stagioni, i cambiamenti nei totali di precipitazione sono più incerti. In media, ci si aspetta che in inverno il segnale di cambiamento climatico presenti una struttura geografica più complessa, con un aumento delle precipitazioni nelle regioni settentrionali (+17% circa), massimo sulle Alpi, e un calo nelle regioni meridionali e nelle isole maggiori, a seguito dello spostamento medio a nord delle traiettorie seguite dalle perturbazioni atlantiche e ad un aumento della circolazione anticiclonica sul basso Mediterraneo (Giorgi e Coppola, 2007; Coppola e Giorgi, 2009). Al centro, queste prime valutazioni di cambiamento climatico sembrano indicare un aumento delle precipitazioni sul versante Tirrenico ed un calo in quello Adriatico, probabilmente dovuti ad un aumento della frequenza di regimi associati a venti prevalenti da ovest ed alla loro interazione con l'orografia appenninica.



**Figura 5.3:** Distribuzione delle anomalie stagionali di precipitazione (rispetto alla media 1961-1990) calcolate dalle simulazioni di PRUDENCE RCM per il 1961-1990 (istogrammi neri) e il 2071-2100, scenario A2 (istogrammi rossi) per il nord (colonna di sinistra), centro (colonna di centro) e sud (colonna di destra) Italia e per l'inverno (DJF, pannelli a,b,c), primavera (MAM, pannelli d,e,f), estate (JJA, pannelli g,h,i) e autunno (SON, pannelli j,k,l). Sull'asse x le anomalie sono riportate in % dei valori medi, l'asse y riporta le frequenze (Fonte: Coppola e Giorgi, 2009).

Per quanto riguarda i valori estremi massimi di precipitazione stagionale, i risultati presentati in Figura 5.3 suggeriscono un aumento della loro frequenza, per gran parte delle regioni e delle stagioni. La maggiore frequenza di stagioni estremamente piovose rispetto al clima di riferimento, indipendentemente dai cambiamenti attesi per i valori medi, potrebbe essere legata all'accelerazione del ciclo dell'acqua, in conseguenza al probabile aumento della temperatura dell'atmosfera in condizioni di scenario climatico.

Fatta eccezione per la stagione estiva, l'incertezza associata alle proiezioni future per la precipitazione è comunque molto alta. Per capire il carattere stagionale di questa incertezza è utile ricordare che la regione Mediterranea, trovandosi al limite meridionale del percorso seguito dalle perturbazioni Atlantiche (North Atlantic Storm Track), risulta particolarmente sensibile agli eventuali spostamenti in latitudine delle loro traiettorie. Tali spostamenti, possono determinare significativi cambiamenti nelle precipitazioni e, in misura minore, nelle temperature della regione. Considerando il carattere marcatamente stagionale dell'attività ciclonica Atlantica, le anomalie indotte dagli spostamenti latitudinali delle Storm Track risultano particolarmente rilevanti durante la stagione invernale, quando l'influenza delle perturbazioni sulla regione è maggiore. Pertanto, le differenze nei possibili cambiamenti delle caratteristiche delle Storm Track proiettate dai diversi modelli sono responsabili di una consistente parte dell'incertezza associata alle proiezioni di precipitazione nell'area del Mediterraneo, specialmente nella stagione invernale.

Su tutto il territorio nazionale, ci si aspetta un aumento della variabilità interannuale della temperatura media estiva, anche in conseguenza agli effetti di amplificazione delle anomalie termiche per effetto della riduzione dell'umidità del suolo e per le ridotte precipitazioni (Rainsanen, 2002; Giorgi et al., 2005). D'altra parte, si stima anche una diminuzione della variabilità interannuale della temperatura invernale, in parte legata ad una netta riduzione delle nevicate e quindi ad una riduzione dell'albedo del suolo e dei processi di feedback ad esso associati (Rainsanen, 2002; Giorgi et al., 2005). In tutte le stagioni, ma soprattutto in estate, i risultati sembrano indicare un aumento più marcato nell'intensità degli estremi rispetto a quello nei valori medi.

Appare inoltre probabile un notevole aumento della variabilità interannuale estiva delle precipitazioni, a fronte di una diminuzione nel periodo invernale. Tale incremento della variabilità comporta, soprattutto nelle regioni centro-meridionali, una probabile intensificazione dei valori estremi dei totali stagionali, nonostante il calo generalizzato delle precipitazioni ed un forte aumento nella frequenza delle stagioni secche. Tali condizioni, in concomitanza del probabile aumento delle temperature, possono preludere a gravi problemi di gestione delle risorse idriche, soprattutto nelle regioni meridionali.

Sulla base degli stessi esperimenti di scenario climatico, Lionello et al. (2007) hanno inoltre valutato la probabile entità del cambiamento delle mareggiate lungo le coste italiane analizzando modelli che valutano i campi di onda marina a partire dai campi di vento e pressione al suolo prodotti dai AOGCM. I risultati indicano che i cambiamenti a scala continentale probabilmente concorreranno a ridurre l'intensità delle mareggiate, anche se l'aumento medio del livello del mare

(dovuto anche a fenomeni di subsidenza costiera) potrebbe rendere più vulnerabili le coste italiane.

I risultati mostrati in Figura 5.3 sono confermati, nella loro essenza, anche quando le analisi si concentrano su aree più piccole del nostro Paese cercando di caratterizzare il segnale di cambiamento climatico localmente. Nell'ambito di alcuni progetti nazionali (AGROSCENARI) ed internazionali (ENSEMBLES, WEATHER, CIRCE), per esempio, è stato possibile effettuare una valutazione dei cambiamenti climatici a scala locale e per diversi orizzonti temporali mediante l'applicazione di tecniche di regionalizzazione statistica alle proiezioni dei modelli climatici globali (AOGCM). In particolare, nel progetto AGROSCENARI sono state selezionate 5 aree di studio in Italia: Val Padana, Faentino, Marche, Beneventano, Destra Sele e Oristano, per le quali si sono costruite le proiezioni nell'ambito dello scenario di emissione A1B relative al periodo 2021-2050.

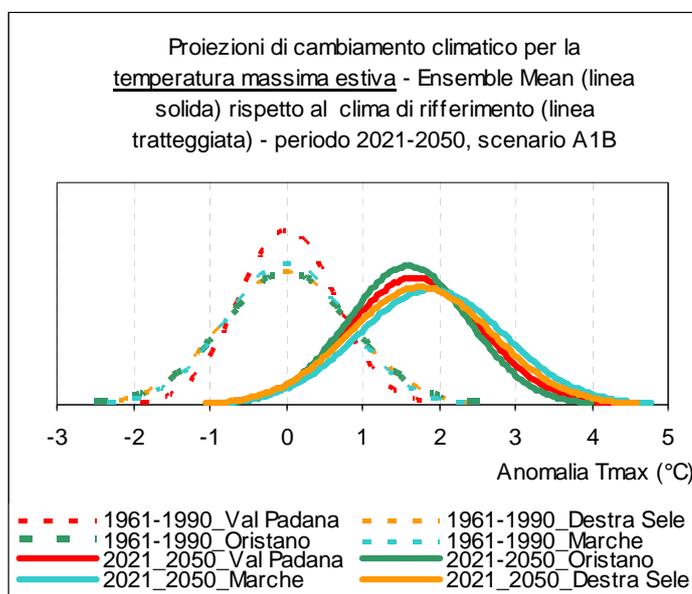


Figura 6.3: Proiezioni di cambiamento climatico della temperatura massima durante la stagione estiva, periodo 2021-2050, scenario A1B (Fonte: risultati del progetto Italiano AGROSCENARI).

I risultati ottenuti mostrano un possibile incremento della temperatura in tutte le stagioni rispetto al periodo 1961-1990, sia per la temperatura minima che per la temperatura massima e in tutte le aree di studio. L'aumento è più intenso durante la stagione estiva, attorno a 2°C, mentre per le altre stagioni l'incremento è all'incirca pari a 1°C - 1.5°C. In Figura 6.3 è stato riportato un esempio di cambiamento climatico sul periodo 2021-2050, della temperatura massima estiva (linea continua) rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 (linea tratteggiata) per vari punti di griglia ognuno rappresentativo di un'area di studio (Pasqui et al., 2012). Come si può notare, in accordo con quanto mostrato anche in Figura 5.3, per tutte le zone di studio è atteso uno spostamento delle curve di probabilità verso valori più "caldi", con incrementi sia nei valori medi (il valore centrale della distribuzione), che nei valori estremi.

Andando verso fine secolo, nel periodo 2070-2099, gli scenari costruiti all'interno del progetto ENSEMBLES per varie stazioni distribuite nel Nord Italia mostrano dei cambiamenti maggiori rispetto al periodo 2021-2050 (Tomozeiu et al., 2013). Per quanto riguarda le temperature, il picco del cambiamento è proiettato durante la stagione estiva, sia per la minima sia per la massima, con un aumento medio di circa 3.5-4.0° C (media sulle stazioni del Nord Italia) rispetto al clima di riferimento (1961-1990). Anche per questo periodo, è previsto in tutte le stagioni uno spostamento delle curve di distribuzione della temperatura verso valori più caldi, con incrementi che durante l'estate possono raggiungere valori di 6.0 °C. Questi aumenti si ripercuotono sulla frequenza degli eventi estremi, ad esempio ondate di calore oppure giorni di gelo. Infatti, i risultati ottenuti evidenziano (ad es. per la regione Emilia-Romagna) un aumento delle ondate di calore soprattutto durante la primavera e l'estate e una diminuzione del numero di giorni di gelo, più significativa durante l'inverno.

La Figura 7.3 presenta a titolo di esempio il cambiamento climatico atteso nel numero di giorni di gelo sulla regione Emilia-Romagna, per i periodi 2021-2050 e 2070-2099. Come si può notare, la diminuzione è più pronunciata verso fine del secolo (Tomozeiu et al., 2013).



Figura 7.3: Scenari di cambiamento climatico del numero di giorni con il gelo sulla regione Emilia- Romagna, periodi 2021-2050 e 2070-2099, scenario di emissione A1B.

Per quanto riguarda le precipitazioni, le proiezioni climatiche per il trentennio 2021-2050, costruite sempre attraverso la tecnica di regionalizzazione statistica e per lo scenario A1B, mostrano un segnale variabile a seconda della stagione e dell'area di studio. La stagione estiva è quella che presenta il segnale più uniforme a scala nazionale, cioè una diminuzione delle precipitazioni nel periodo 2021-2050 rispetto al clima di riferimento 1961-1990, con un segnale di cambiamento più intenso andando verso meridione.

## Il cambiamento nei mari italiani

## Il Mar Mediterraneo e la variabilità multi-decennale della temperatura superficiale (SST)

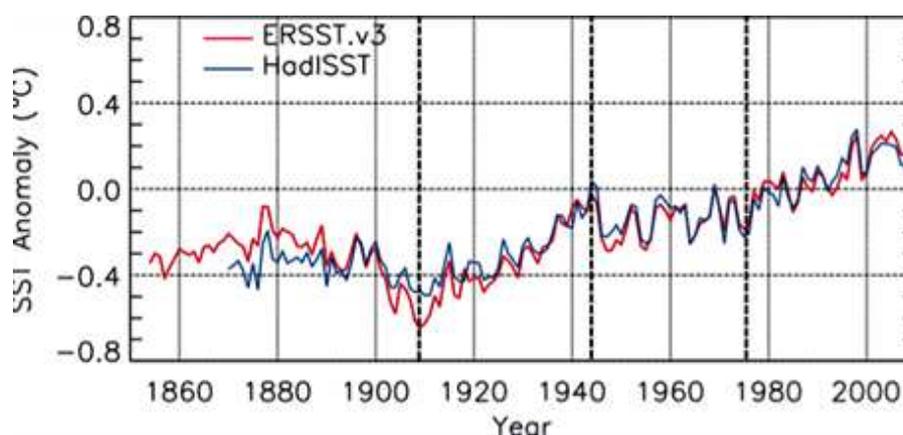
Nonostante abbia dimensioni relativamente ridotte se confrontato alle grandi masse d'acque del Pianeta, il Mar Mediterraneo è un bacino in cui avvengono, a scala più piccola, una varietà di processi ed interazioni atmosfera-oceano tipiche dei grandi oceani.

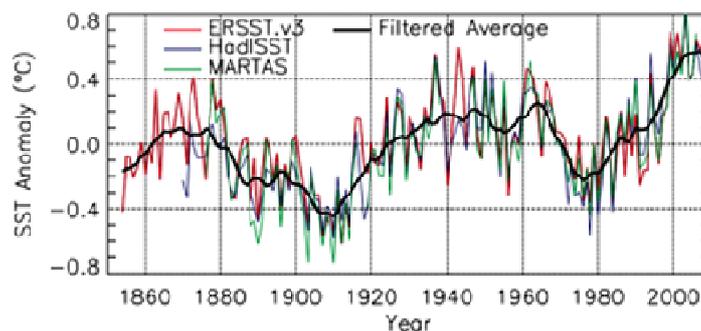
Analizzando nel dettaglio la temperatura superficiale dell'oceano globale dal 1854 ad oggi ottenuta dall'analisi di dati in situ, si evince un aumento costante della temperatura media, cui si sovrappongono oscillazioni poco marcate. In particolare, una prima fase di aumento della temperatura (1910-1935) sarebbe dovuta ad un effetto combinato dovuto all'incremento della costante solare ed alla diminuzione dell'attività vulcanica; una seconda fase, iniziata a partire dal 1970-1975, non sarebbe invece giustificata se non inserendo nel bilancio termico il riscaldamento dovuto all'accumulo di gas serra, come evidenziato dai risultati di recenti simulazioni numeriche.

Nel caso del Mar Mediterraneo, invece, le oscillazioni multi-decadali sono molto vistose: l'andamento della temperatura media superficiale sembra derivare dalla sovrapposizione di un'oscillazione le cui anomalie hanno ampiezza pari a 0.3 - 0.6°C e periodo di circa 60-70 anni, analogo a quello dell'AMO, Atlantic Multidecadal Oscillation (Marullo et al., 2011).

A partire dai primi anni del XX secolo (in corrispondenza del minimo termico del 1910), appare evidente una tendenza al riscaldamento con un aumento della temperatura media superficiale di quasi 1.0°C, caratterizzata da una accelerazione al riscaldamento negli ultimi vent'anni, in buon accordo con quanto osservato a livello globale (vedi Figura 8.3). In particolare, dopo l'ultimo minimo relativo di temperatura superficiale verificatosi nella metà degli anni '70, la temperatura del bacino Mediterraneo è aumentata con un tasso pari a  $0.026 \pm 0.005^\circ\text{C}/\text{anno}$ . Il raffreddamento della SST del Mediterraneo osservato tra il 1965 ed il 1975 appare associato ad una fase di aumento dell'indice NAO (*North Atlantic Oscillation*).

Comunque, parlando di variabilità climatica a bassa frequenza, è importante ricordare che solo in tempi relativamente recenti, e segnatamente a partire dal 1985, è stato possibile effettuare stime delle temperature della superficie marina utilizzando dati satellitari ad alta risoluzione spaziale e temporale del campo di temperatura della superficie marina, permettendo quindi una vera stima "sinottica".





**Figura 8.3:** Confronto tra la serie storica (1854-2010) della temperatura superficiale marina (SST) globale (pannello superiore) e quella mediterranea (pannello inferiore). In quella globale SST si nota un aumento della SST di 0.4-0.5 °C in 35 anni (1910-1942), un andamento costante (1942-1979) e un aumento di 0.4-0.5 °C in 35 anni (1980-2008); nel Mediterraneo è invece molto evidente l'oscillazione multi decennale (AMO), che maschera parzialmente il trend positivo.

Sulla base di tali dati, le temperature medie annuali dal 1985 ad oggi mostrano un tasso di crescita di  $0.037 \pm 0.007^\circ\text{C}/\text{anno}$ , quindi con valori maggiori di quelli osservati in situ, sovrapposto ad intense oscillazioni interannuali. Tra queste si distinguono in particolare quelle associate agli anni freddi 1992-1993, ed il massimo assoluto di temperatura registrato nel 2003, considerato un anno anomalo con ondate di calore nel periodo estivo mai osservate in precedenza (eventi climatici estremi).

Se dall'analisi regionale del Mar Mediterraneo passiamo ad una analisi ancora più di dettaglio, ossia a scala sub-regionale o locale, notiamo che la distribuzione spaziale degli andamenti della temperatura media, a fronte di un tasso di crescita positivo in tutto il bacino, presenta caratteristiche locali piuttosto pronunciate. I valori più elevati sono associati al mar Adriatico ed al bacino Levantino, dove a sud e ovest di Creta si avvicina al valore di  $0.1^\circ\text{C}/\text{anno}$ . La tendenza al riscaldamento è disomogenea non solo spazialmente, ma anche temporalmente, risultando molto più pronunciata nei mesi estivi, che contribuiscono in larga misura all'andamento positivo che si osserva in tutto il bacino su base annuale. In particolare si nota che, nei mesi da maggio a luglio (con massimo in giugno) il tasso di crescita positivo è assai marcato anche nel Mediterraneo centrale, al contrario di quanto si osserva su base annuale (grazie al fatto che in questa zona i tassi positivi estivi che sono bilanciati da tassi di crescita negativi durante i mesi invernali).

In sostanza, si sta osservando **una tendenza all'aumento dell'ampiezza del ciclo stagionale**, ovvero ad avere inverni con picchi anomali di freddo ed estati con maggiori possibilità di avere ondate eccezionali di calore (come appunto quella già citata del 2003).

Una possibile inversione di questa tendenza è stata comunque osservata durante l'inverno (2006-2007) nel corso del quale le temperature superficiali del Mediterraneo sono state costantemente superiori alla media degli ultimi 22 anni, particolarmente nel Mediterraneo centrale come risulta dai dati di SST ricavati dalle misure satellitari disponibili (Marullo et al., 2007).

Non vi è quindi alcun dubbio che questi pochi decenni di misure dallo spazio abbiano permesso di ottenere una visione realmente sinottica della SST, consentendo di valutare pienamente la variabilità temporale e la disomogeneità spaziale del campo di temperatura.

D'altra parte, quando si affronta la discussione di queste misure, occorre tener presente che la brevità delle serie temporali relative all' "era satellitare", in presenza di oscillazioni tipiche dal periodo di 60-70 anni, non permette di estrapolare nel futuro i tassi di crescita della temperatura precedentemente calcolati. Conseguentemente, bisogna porre la massima cautela nel trarre conclusioni dall'analisi di queste misure.

### *Proiezioni di cambiamento climatico del Mar Mediterraneo*

Per quanto riguarda i possibili cambiamenti cui il sistema climatico potrebbe essere soggetto nel corso del XXI secolo, in letteratura esistono ancora pochi studi ed esempi di stime degli eventuali effetti sul mare Mediterraneo e sui vari sottobacini che circondano la penisola Italiana. Questa tipologia di studio ha subito a lungo una serie di difficoltà di ordine scientifico e tecnologico, affrontate a partire dai progetti PRUDENCE ed ENSEMBLES (2007), dove furono impiegati modelli AOGCM e modelli RCM limitati alla sola atmosfera. L'utilizzo di RCM atmosferici, però, non consentiva la rappresentazione dei processi di interazione ad alta frequenza atmosfera-oceano nel bacino, depotenziando le conclusioni raggiunte. Studi recenti dimostrano come sia invece estremamente importante includere il "mare" e le sue interazioni con l'atmosfera quando si vuole modellare il sistema climatico Mediterraneo (Gualdi et al., 2013).

Le difficoltà incontrate nell'operare con strumenti numerici in questo contesto risentono di una serie di problematiche ancora difficili da risolvere. Per esempio, l'importanza di una modellazione corretta dei processi allo stretto di Gibilterra emerge già da lavori di Sannino et al. (2004, 2009a) e deve essere ben tenuta a mente quando si valutano prodotti numerici integrati, al fine di produrre informazioni sul cambiamento climatico nel bacino. Parimenti, altre fonti d'incertezza sono costituite dalle stime delle portate derivanti dai principali bacini di captazione (Po, Nilo, mar Nero, ecc.). Artale et al. (2009) hanno posto l'attenzione sul periodo 1960-2000, riuscendo con il modello PROTHEUS a riprodurre venti e flussi superficiali in accordo con le osservazioni sperimentali.

Di seguito, riassumiamo rapidamente alcune recenti stime sulle modifiche di temperatura e salinità superficiale nel mar Mediterraneo proiettate in una serie di simulazioni di scenario per la fine del XXI secolo.

Somot et al. (2006), utilizzando un modello ad alta risoluzione per l'oceano (NEMO, implementato a  $1/8^\circ$ ) forzato con flussi superficiali ottenuti da un modello atmosferico con risoluzione di circa 50 km, secondo uno scenario SRES-IPCC A2, trovano un incremento di  $+2.5^\circ\text{C}$  nella SST e  $+0.33$  psu nella **salinità superficiale (SSS)**. Utilizzando strumenti analoghi (NEMO  $1/8^\circ$  forzato col modello atmosferico ARPEGE) e sempre considerando uno scenario A2, Sevault et al. (2009) si sono focalizzati sulle differenze che si riscontrano nel mescolamento della colonna d'acqua alla fine del XXI secolo, rispetto a quelle ottenute in condizioni climatiche corrispondenti al periodo di riferimento 1960-1990. I loro risultati indicano un possibile incremento della temperatura marina media pari a  $+0.11^\circ\text{C}$  ca. per decade nel corso del XXI secolo, accompagnato da un incremento

della salinità superficiale di +0.06 psu per decade e di +0.035 psu per decade negli stati profondi, oltre che di una variazione +0.05/0.07 Sv nella stima del trasporto a Gibilterra.

Successivamente, Somot et al. (2008) hanno implementato, per la prima volta, un modello accoppiato regionale oceano-atmosfera per il Mediterraneo, riportando valori di variazione a fine secolo, sempre secondo uno scenario A2, pari a +2.6 °C per la SST e +0.43 psu per la SSS, ed evidenziando solo piccole modifiche al trasporto di masse d'acqua allo stretto di Gibilterra (differenze dell'ordine di pochi punti percentuali rispetto alla condizione attuale). Nel lavoro di Somot et al. (2008) i pattern di riscaldamento e aumento di salinità appaiono essere alquanto disomogenei, e sembrano essere dipendenti da specifiche che possono essere rappresentate solo da modelli oceanici ad alta risoluzione. In particolare, il mare Ionio mostra un significativo cambio nella sua circolazione, e l'effetto di una diminuzione della portata del fiume Po influenza in modo significativo il mare Adriatico. I risultati mostrano quindi un aumento sia della temperatura che della salinità superficiali nei bacini Adriatici e Tirrenici. Questi segnali appaiono evidenti anche alle medie e alte profondità (100 m e 1000m).

Più di recente, all'interno nell'ambito del progetto CIRCE alcuni dei principali centri Europei della modellistica del clima hanno sviluppato una serie di modelli accoppiati oceano-atmosfera, con un'alta risoluzione nel bacino del Mediterraneo e mirati al miglioramento della rappresentazione del bacino stesso nelle simulazioni e nelle proiezioni di cambiamento climatico (Gualdi et al., 2013b). Analizzando le proiezioni di cambiamento climatico eseguite con questi modelli seguendo lo scenario SRES-IPCC A1B, Gualdi et al (2013a) e Dubois et al. (2012) hanno trovato che nel periodo 2021-2050 sostanziali cambiamenti rispetto al periodo di riferimento 1961-90 potrebbero verificarsi nei flussi di calore e di acqua scambiati tra il bacino e l'atmosfera sovrastante.

Le proiezioni rivelano una possibile variazione positiva del bilancio di calore alla superficie del bacino, con una riduzione della perdita di calore dal mare all'aria di circa  $2.9(\pm 1.3)$  W/m<sup>2</sup>. Il mare, quindi, riducendo la quantità di calore che cede all'aria, si riscalda, consistentemente a quanto visto con l'aumento della sua temperatura e in particolare della SST. I risultati trovati da Dubois et al. (2012), indicano che il proiettato aumento del bilancio di calore alla superficie del mare potrebbe essere dovuto a un possibile aumento della radiazione solare, a sua volta conseguenza di una diminuzione della copertura nuvolosa e a un aumento della radiazione "long-wave" assorbita alla superficie.

Per quanto riguarda i flussi d'acqua, un calo della precipitazione e un aumento dell'evaporazione viene simulato da tutti i modelli CIRCE, fornendo uno scenario di incremento del "water loss" attraverso la superficie del bacino, che nel periodo 2021-2050 potrebbe essere mediamente superiore di circa 100 mm/anno rispetto al periodo di riferimento. Questa stima è superiore, anche se ancora in linea con i valori ottenuti da Mariotti et al. (2008).

Queste modifiche difficilmente lasceranno inalterata la circolazione del Mediterraneo e dei suoi sottobacini, avendo soprattutto effetti sull'aumento della salinità media, sulla dinamica delle acque di origine profonda, della circolazione termoalina e delle masse di acqua densa che si muovono entro il Mediterraneo e che fuoriescono verso l'Atlantico. L'obiettivo dei prossimi anni è proprio

quello di caratterizzare con opportune simulazioni regionali i segnali di cambiamento climatico evidenziati a livello Mediterraneo.

Le variazioni di temperatura e del bilancio idrologico del Mar Mediterraneo si riflettono sulla sua densità, ripercuotendosi, a parità di massa, sul livello del mare (effetto sterico). Gli scenari A1B condotti in CIRCE suggeriscono che nei primi decenni del XXI secolo il livello del Mar Mediterraneo potrebbe aumentare per effetto sterico di circa  $0.29(\pm 0.13)$  cm/anno. Questo trend di aumento potrebbe portare il livello del bacino ad essere nel periodo 2021-50 mediamente dai 7 ai 12 cm più alto rispetto al periodo di riferimento 1961-1990. Uno studio focalizzato sul Mar Adriatico (Scarascia e Lionello, 2013) ha prodotto valori simili con un aumento di 9 cm (e un'incertezza fra 2 e i 14 cm) alla fine del XXI secolo dovuto all'effetto sterico. All'aumento del livello del Mar Mediterraneo dovuto all'effetto sterico deve essere poi aggiunto quello dovuto all'eventuale subsidenza costiera e all'aumento del livello dell'oceano globale indotto dalla fusione dei grandi ghiacciai continentali, quali quelli presenti in Groenlandia e nella penisola Antartica occidentale (West Antartica). Scarascia e Lionello (2013) mostrano come l'inclusione di quest'ultimo fattore sia la principale fonte di incertezza per il futuro livello del mare Adriatico, amplificandone il valore a un intervallo fra i 14 e i 49 cm.

### *Possibili cambiamenti nei fenomeni marini intensi*

Infine, per quanto riguarda i possibili riflessi del cambiamento climatico sugli eventi estremi marini, Lionello et al. (2008) hanno mostrato una tendenza ad una diminuzione degli eventi estremi generati da venti intensi nel bacino del Mediterraneo. In uno studio simile, poi, Lionello et al. (2012) hanno evidenziato come sia possibile ricavare scenari di severità meteo marini da simulazioni di RCM senza adottare tecniche di regionalizzazione statistica (come precedentemente fatto, ad es. in Lionello et al., 2003) e senza modificare o correggere l'intensità dei campi di vento per compensare eventuali sottostime. Un recente studio (Conte and Lionello, 2013) basato su un insieme multi-modello di simulazioni climatiche ha confermato una futura riduzione delle mareggiate intense estesa a tutte le coste del Mediterraneo.

A scala di sotto-bacino, il mare Adriatico ha ricevuto una crescente attenzione per le sue coste basse e l'esposizione a venti dominanti soprattutto di Bora (da NE) e di Scirocco (da SE). Usando il modello WAM (WAve prediction Model, 25 km di risoluzione) forzato da campi di vento calcolati dal modello RegCM a ca. 60 km di risoluzione, Lionello et al. (2012) hanno investigato onde da vento e mareggiate nel Nord Adriatico, secondo i due scenari di emissione SRES-IPCC A2 e B2. Le simulazioni suggeriscono una frequenza più elevate per le mareggiate intense nello scenario B2, ma non in quello A2. Gli autori sottolineano come queste differenze possano riflettere una variabilità multidecadale di origine naturale che si sovrappone al segnale di cambiamento climatico, e concludono che manchi una chiara evidenza di un segnale di incremento delle "condizioni di mareggiata" nelle simulazioni di scenari climatici futuri.

In un altro recente studio, Benetazzo et al. (2012) hanno valutato i cambiamenti nelle onde ed i loro estremi nel mare Adriatico attesi nel periodo 2070-2099 secondo uno scenario A1B, utilizzando il modello SWAN (Simulating WAVes Nearshore) a 7 km di risoluzione forzato dai venti a 14 km

derivanti dal modello COSMO-CLM (CONsortium for Small-scale Modeling), forzato dal modello globale CMCC-MED. In accordo con altri studi (Lionello et al., 2003; Lionello et al., 2008) i risultati ottenuti da Benetazzo et al., (2012) mostrano una riduzione delle altezze d'onda. Rispetto al livello attuale, in media l'altezza d'onda media "futura" sul mare Adriatico è stimata decrescere di ca. 5% (Figura 9.3) alla fine del XXI secolo. L'onda significativa media nel bacino Adriatico con 30 anni di ritorno a fine XXI secolo, nello stesso scenario, decresce di ca. 0.3m rispetto ai valori del periodo di riferimento. Ciononostante, le simulazioni mostrano anche incrementi locali di altezza dell'onda fino al 15% in alcune zone del centro e sud Adriatico, a testimonianza di come sia importante modellare realisticamente i venti dominanti in tale bacino, con adeguata risoluzione, al fine di migliorare l'informazione ottenuta sulle onde e le loro caratteristiche.

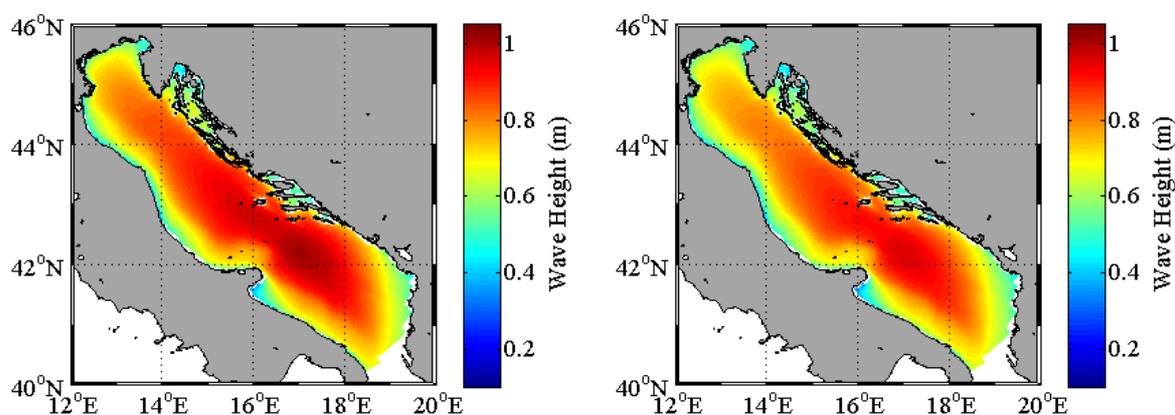


Figura 9.3: Altezza d'onda media (in metri). Clima presente (1965-99, sinistra) e scenario futuro (2070-99, destra).

### Il cambiamento nelle aree alpine <sup>17</sup>

Le regioni d'alta quota sono soggette a riscaldamento intenso, a rapida fusione dei ghiacciai, a significativi cambiamenti del ciclo idrologico e a crescenti minacce per gli ecosistemi montani (Beniston, 2003). La risoluzione dell'Assemblea Generale dell'ONU nella 78ª sessione plenaria riguardante lo Sviluppo Sostenibile in Montagna (UN, A/Res/62/196, 2008) indica che: "Lo sviluppo sostenibile delle montagne è una componente chiave per il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo del Millennio in molte regioni del mondo" e il Rapporto della Conferenza ONU sullo sviluppo sostenibile (Rio+20, 2012, item 210-212) ha ribadito questi concetti e la necessità di sviluppare adeguate misure di adattamento per le regioni montane. Le montagne, in particolare, agiscono da veri e propri serbatoi d'acqua per le regioni di pianura e cambiamenti nel ciclo idrologico montano possono avere conseguenze significative sulla disponibilità di acqua, il cosiddetto "oro blu" del XXI secolo.

<sup>17</sup> Le considerazioni che seguono sono in parte basate su Bonasoni et al. (2013).

Sul versante italiano delle Alpi, in molti casi la temperatura è aumentata più rapidamente rispetto a quella delle aree circostanti, mentre non si osservano forti variazioni nel regime delle precipitazioni (Auer et al., 2008). L'aumento delle temperature ha indotto una chiara diminuzione della durata e spessore della copertura nevosa (Terzago, 2012) e una anticipata fusione primaverile della neve.

Parallelamente, i ghiacciai alpini si sono significativamente ritirati, con bilanci di massa generalmente negativi e l'estinzione dei ghiacciai più piccoli<sup>18</sup>. L'aumento delle temperature ha anche indotto diverse specie montane a spostarsi verso quote più elevate (Parmesan, 2006) e ha portato a cambiamenti nella dinamica di popolazione di alcune specie-simbolo come gli stambecchi (Jacobson et al., 2004; Mignatti et al., 2012). Importanti cambiamenti possono essere osservati nella fenologia di molte specie: il tempo della fioritura delle piante alpine, ad esempio, o il tempo di arrivo dei migratori in primavera.

Da questi risultati risulta pertanto evidente quanto quelle alpine siano aree particolarmente vulnerabili e, quindi, quanto sia importante riuscire a produrre scenari di cambiamento climatico che permettano di ottenere informazioni utili allo sviluppo di pratiche di adattamento specifiche per queste regioni.

Ottenere proiezioni affidabili del cambiamento climatico nelle regioni montane è assai complesso, a causa della complicata orografia delle regioni d'alta quota e della carenza di dati sullo stato e sui cambiamenti dell'ambiente montano. Ciò è particolarmente sentito per alcune variabili, come la precipitazione, caratterizzate da forte variabilità spazio-temporale e da intrinseche difficoltà di misura alle alte quote.

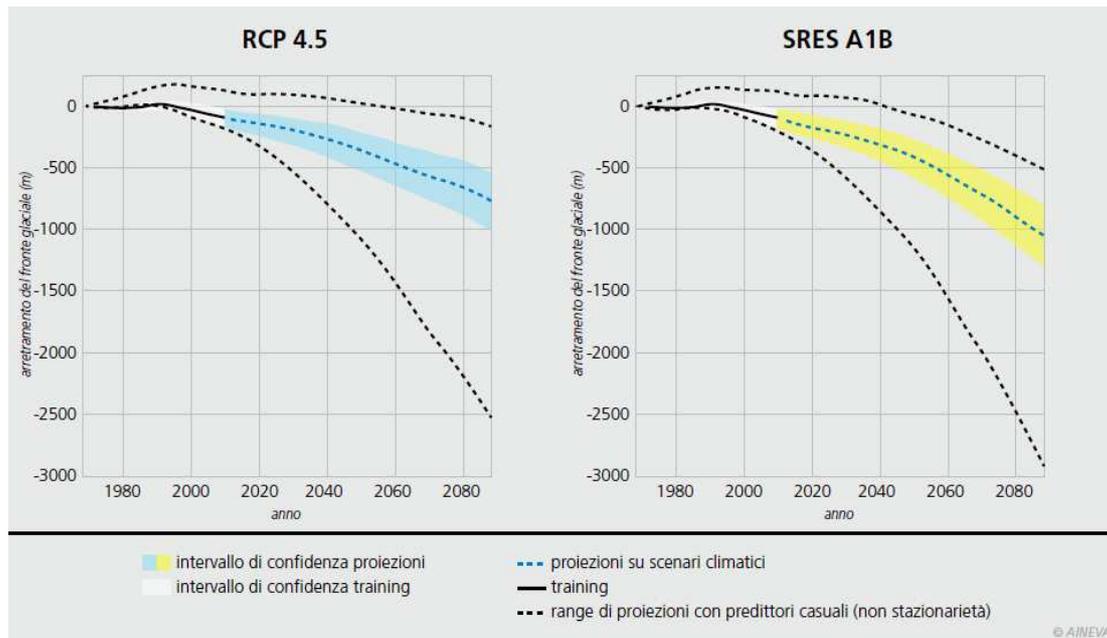
Dal punto di vista modellistico, le peculiarità dell'ambiente montano richiedono necessariamente l'uso di tecniche di regionalizzazione per localizzare l'informazione climatica prodotta dai modelli globali e regionali, utilizzando sia modelli climatici non idrostatici ad altissima risoluzione, sia metodologie di regionalizzazione di tipo statistico e stocastico sviluppate appositamente per aree a orografia complessa.

In generale, dai risultati disponibili finora ci si aspetta un ulteriore aumento della temperatura, con la conseguente diminuzione della copertura nevosa e della massa dei ghiacciai. La Figura 10.3 mostra alcune proiezioni dell'arretramento frontale medio atteso per i ghiacciai delle Alpi occidentali, in diversi scenari di cambiamento climatico (Bonanno et al. 2012).

Sebbene in questo momento l'aumentata fusione porti ad un maggiore deflusso idrico (con effetti sulla produzione di energia idroelettrica), occorre anche sviluppare strategie di adattamento per fronteggiare situazioni dove le riserve d'acqua (ghiacciai, neve) saranno ridotte, con possibili modifiche nella stagionalità dei deflussi idrici. L'analisi degli impatti dei cambiamenti climatici sulla risposta dei bacini idrografici montani è dunque cruciale.

---

<sup>18</sup> Si veda <http://www.glaciologia.it/> e, per esempio, Calmanti et al. (2007).



**Figura 10.3:** Arretramento medio (in metri) dei fronti glaciali nelle Alpi Occidentali italiane nel periodo 1970-2090. Le proiezioni sono ottenute con un modello empirico che lega variabili climatiche a risposta glaciale, derivato dall'analisi dei dati messi a disposizione dal Comitato Glaciologico Italiano. Le proiezioni future sono ottenute forzando il modello empirico con le variabili climatiche fornite da un modello globale per lo scenario RCP 4.5 (a sinistra) e da un ensemble multi-model regionale per lo scenario SRES A1B (a destra). Le proiezioni sono ottenute assumendo la stazionarietà dei predittori (linee tratteggiate con barre di confidenza a colori), o la loro non stazionarietà (intervallo delimitato dalla linea puntinata nera).

Analogamente, l'anticipo nella fusione nivale e le aumentate temperature possono amplificare i cambiamenti già in corso negli ecosistemi e modificare le caratteristiche della biodiversità montana, con una tendenza alla riduzione della ricchezza di specie endemiche o a rischio di estinzione e una loro possibile sostituzione con specie più "generaliste" o in grado di muoversi in ambienti diversi (Dirnböck, 2011). E' pertanto necessario effettuare un monitoraggio continuo ed affidabile dei cambiamenti negli ecosistemi montani per sviluppare strategie di conservazione che tengano conto dei cambiamenti attesi.

Molto più complesse sono le proiezioni sull'intensità del ciclo idrologico e sugli eventi estremi nelle aree montane, che necessitano di simulazioni ad hoc per aree con orografia molto complessa e che sono attualmente in fase di realizzazione, al fine di stimare i rischi alluvionali in scenari di cambiamento climatico.

La conoscenza dei cambiamenti dell'ambiente montano è ancora frammentaria ed è necessario sviluppare e potenziare le reti di misura dei parametri climatici, ambientali ed ecologici nelle regioni remote montane per ottenere un quadro esaustivo dei cambiamenti in corso e validare i modelli utilizzati per gli scenari. Progetti quali "SHARE - Stations at High Altitude for Research on the Environment" del CNR e di Ev-K2-CNR e il Progetto di Interesse strategico del MIUR

"NextData" sono nati per questo scopo e stanno fornendo importanti informazioni, disponibili pubblicamente, sugli ambienti montani e sulle loro modifiche presenti e attese per il futuro.

### ***Il cambiamento nelle regioni meridionali***

Le regioni meridionali italiane sono esposte a diversi tipi di cambiamenti potenziali, con un rischio di aumento dell'aridità e le conseguenze che ne derivano. L'aumento di temperatura è generalmente in linea con quanto osservato come media nazionale, con un aumento di poco più di 1°C nell'ultimo secolo. Per le precipitazioni, nelle ultime decadi si è osservato un trend di diminuzione, soprattutto in inverno e primavera, tuttavia seguito, nell'ultimo periodo, da una inversione di tendenza con un aumento delle precipitazioni, che differenzia le regioni italiane meridionali da quelle settentrionali, dove perdura invece la tendenza alla diminuzione (Brunetti et al., 2004). E' ora in corso l'implementazione di nuove reti di misura meteo-climatiche ad alta tecnologia per monitorare i cambiamenti climatici ed atmosferici in diverse Regioni dell'Italia meridionale, ad esempio nell'ambito del Programma PON I-AMICA.

Le proiezioni ottenute con i modelli globali indicano il continuo aumento delle temperature nei prossimi decenni, con una intensità che dipende dallo scenario di emissione. Per le precipitazioni la situazione è più complessa, ma le proiezioni generalmente suggeriscono una diminuzione delle precipitazioni medie nelle regioni dell'Italia meridionale, in linea con il trend osservato fino a tempi recenti ma in contrasto con l'inversione di tendenza rilevata ultimamente dai dati al suolo. Tuttavia, il recente aumento indicato dalle misure al suolo potrebbe risultare una fluttuazione temporanea ed è necessario monitorare attentamente l'evoluzione nei prossimi anni.

I modelli globali, in genere, hanno per ora una risoluzione troppo grossolana per descrivere in dettaglio la dinamica su una scala regionale come quella dell'Italia meridionale. Le simulazioni del modello regionale accoppiato Protheus (Artale et al., 2009) per lo scenario A1B (Dell'Aquila et al., 2012) permettono di ottenere proiezioni per la precipitazione nelle regioni meridionali del Mediterraneo. Considerando l'intero bacino Mediterraneo e restringendosi ai risultati su terra, il ciclo stagionale della precipitazione mostra una tendenza per il 2040-50 ad una riduzione in particolare in primavera e autunno rispetto al ciclo stagionale del XX secolo. Se la tendenza verso una diminuzione delle precipitazioni medie fosse confermata, questa, unitamente all'aumento delle temperature, implicherebbe una tendenza ad un netto aumento dell'aridità, indicando la necessità di sviluppare strategie di adattamento (per quanto riguarda ad esempio gli agroecosistemi e la gestione idrica) che tengano conto delle mutate condizioni del ciclo idrologico e, presumibilmente, dell'umidità del suolo.

Parallelamente alla diminuzione delle precipitazioni medie, le proiezioni climatiche indicano anche una possibile intensificazione degli eventi di precipitazione intensa. Il downscaling con modelli regionali delle simulazioni climatiche globali suggerisce che gli eventi di precipitazione intensa possano aumentare negli scenari A1B rispetto al XX secolo, in linea con l'osservazione di una intensificazione del ciclo idrologico in molte regioni (Giorgi et al., 2011). Un aumento della frequenza degli eventi precipitanti su terra per una atmosfera più calda è consistente con il possibile aumento di umidità specifica. Se si considera la distribuzione spaziale delle anomalie di

precipitazione rispetto al ciclo stagionale per le stagioni rispetto alle quali si osservano il maggior numero di eventi estremi, si scopre che: 1) le anomalie più forti nel XX secolo avvengono in autunno sulla penisola Iberica, le catene montuose dei Balcani, e la costa Tirrenica del sud Italia; 2) mentre negli scenari A1B la stagione con maggiori deviazioni dal ciclo stagionale è l'inverno, su penisola Iberica e catene montuose dei Balcani fino a lambire le Alpi orientali.

Particolare interesse rivestono i possibili aumenti nella frequenza di eventi intensi associati con strutture convettive mediterranee, che riproducono alcune caratteristiche tipiche dei cicloni tropicali (quali, per esempio, la presenza di un "occhio" centrale relativamente calmo) e per questo chiamate **Medicanes**. Tali strutture appaiono a volte generate dall'amplificazione di precedenti perturbazioni barocline, ma i meccanismi che caratterizzano la loro genesi e il loro sviluppo, sono ancora oggetto di studio e discussione. Sebbene ad oggi i Medicanes siano responsabili di una frazione minoritaria degli eventi di precipitazione intensa, è necessario valutare la probabilità di aumento di questo tipo di perturbazioni per i danni potenziali che possono apportare alle regioni meridionali italiane. In questo caso, sarà necessario sviluppare modelli non idrostatici ad alta risoluzione capaci di simulare la possibile insorgenza di tali eventi nei diversi scenari di cambiamento climatico.

## Conclusioni

Negli ultimi anni è stato compiuto un notevole sforzo per migliorare le simulazioni e le proiezioni di cambiamento climatico nella regione del Mediterraneo e per la penisola Italiana. Progetti come PRUDENCE, ENSEMBLES, CIRCE e più recentemente IMPACT2C, CLIMRUN e NextData o programmi come Med-CORDEX, hanno determinato **un progressivo miglioramento della rappresentazione delle caratteristiche specifiche di questa area nei modelli climatici**, contribuendo a migliorare la nostra conoscenza del sistema e la nostra capacità di simularlo. Contestualmente, **per questa regione, sono state prodotte anche una vasta serie proiezioni di cambiamento climatico.**

I risultati delle proiezioni di cambiamento climatico riassunti in questo capitolo sono stati ottenuti nell'ambito di vari e differenti progetti e programmi di ricerca, utilizzando numerosi e diversi modelli (globali e regionali, solo atmosferici o accoppiati oceano-atmosfera), diversi set-up sperimentali e scenari di emissione (A1B e A2 principalmente). Per questi motivi, a volte, questi risultati presentano alcuni aspetti non sempre consistenti tra loro, soprattutto nel dettaglio della piccola scala o nella riproduzione di specifici processi fisici. Allo stesso tempo, però, essi presentano anche importanti fattori comuni e fortemente consistenti a dispetto di tutte le differenze nei sistemi che li hanno generati. Questo ci porta a considerare questi risultati particolarmente robusti e quindi li riassumiamo nella sintesi di seguito.

**Notevoli cambiamenti del clima Mediterraneo potrebbero verificarsi già nei primi decenni degli scenari climatici del XXI secolo.** Lo scenario A1B, per il periodo 2021-50, mostra un riscaldamento sostanziale (circa 1.5° C in inverno e quasi 2° C in estate) e una significativa diminuzione di precipitazioni (circa -5% in inverno e -10% in estate) su gran parte della regione

Mediterranea, rispetto al periodo di riferimento. Valori più alti di riscaldamento e riduzioni più drastiche di precipitazioni si ottengono per scenari corrispondenti a più alte emissioni (ad es. A2).

**I cambiamenti della temperatura media sono sostanzialmente omogenei su tutto il bacino e per le diverse stagioni, mentre la precipitazione mostra andamenti diversi per l'estate e l'inverno e per la parte settentrionale e per quella meridionale dell'area Mediterranea.** Specificamente, durante la stagione invernale, le proiezioni indicano un calo molto meno marcato nelle zone settentrionali della regione mediterranea e in alcune zone, ad esempio l'area Alpina, le precipitazioni invernali sembrano aumentare nel periodo 2021-50 dello scenario A1B, rispetto al periodo di riferimento. È bene notare, però, che su questo risultato l'incertezza (*spread*) tra i modelli è molto superiore rispetto ai risultati ottenuti per le proiezioni di precipitazione nella stagione estiva o per le proiezioni di temperatura.

**Le proiezioni di cambiamento climatico per la penisola Italiana sono sostanzialmente consistenti con quelle ottenute per la regione Mediterranea.** La temperatura media stagionale aumenta, rispetto al periodo di riferimento (1961-90), sia nella parte settentrionale che centrale e meridionale della Penisola, con valori che alla fine del XXI secolo, per lo scenario A2, vanno da oltre 5°C per l'Italia del nord in estate (JJA) ai circa 3°C per il meridione in inverno (DJF). Nello stesso scenario, le precipitazioni medie diminuiscono del 30% e oltre su gran parte della Penisola in estate (JJA); in inverno (DJF) la riduzione è molto meno consistente nel sud, praticamente nulla al centro, mentre nel settentrione si assiste ad un aumento significativo (+17%). Tale aumento appare interessare maggiormente le regioni nord-occidentali e la fascia tirrenica.

**Oltre ai valori medi, le proiezioni indicano anche un sostanziale cambiamento nella variabilità interannuale delle temperature e delle precipitazioni sull'Italia.** In particolare, l'aumento della variabilità estiva della temperatura, accompagnato dall'aumento delle massime (che nello scenario A1B è di circa 2°C nel periodo 2021-50 per arrivare a 6°C nel periodo 2071-00) indica un aumento considerevole della probabilità di occorrenza di ondate di calore. Anche la precipitazione mostra un cambio nei regimi, con un aumento degli eventi intensi, a dispetto della generale diminuzione dei valori medi stagionali.

**Inoltre, i cambiamenti di precipitazione associati a quelli di temperatura ed evaporazione portano a un significativo aumento degli eventi siccitosi, su gran parte della Penisola.**

**Il generale riscaldamento della penisola Italiana e dell'area Alpina in particolare, portano a un significativa riduzione dell'estensione dei ghiacciai Alpini.** In particolare i ghiacciai delle Alpi Occidentali mostrano, in diversi scenari, un arretramento che alla fine del XXI secolo appare essere di molte centinaia di metri.

**Le proiezioni di cambiamento climatico indicano che anche le condizioni del Mar Mediterraneo potrebbero essere sostanzialmente alterate dal riscaldamento globale.** In particolare, la sua temperatura superficiale è proiettata aumentare di circa 1.3°C ± 0.5° nel periodo 2021-50 dello scenario A1B rispetto al periodo di riferimento.

**L'aumento dell'evaporazione e la diminuzione delle precipitazioni potrebbero aumentare il carattere evaporativo del bacino alterando significativamente il suo bilancio idrico.** Le

proiezioni CIRCE indicano che in media la quantità d'acqua che il Mar Mediterraneo potrebbe "perdere" per evaporazione alla superficie rispetto a quella immessa dai fiumi (incluso l'apporto del Mar Nero) e dalle precipitazioni nel periodo 2021-50 dello scenario A1B è di circa 0.24 ( $\pm 0.06$ ) mm/giorno. Questa significativa alterazione del ciclo idrologico del bacino avrebbe sicuramente riflessi sulla sua circolazione e sullo scambio di acque con l'Oceano Atlantico.

**Anche il bilancio energetico alla superficie del Mar Mediterraneo è sostanzialmente modificato nelle proiezioni di cambiamento climatico.** In particolare nello scenario A1B, per il periodo 2021-50, si trova una variazione positiva del bilancio di calore alla superficie del bacino, con una riduzione della perdita di calore dal mare all'aria di circa 2.9( $\pm 1.3$ ) W/m<sup>2</sup>. Il mare, quindi, riducendo la quantità di calore che cede all'aria, si riscalda, consistentemente a quanto visto con l'aumento della sua temperatura.

**Le variazioni di temperatura e del bilancio idrologico del Mar Mediterraneo si riflettono sulla sua densità, ripercuotendosi, a parità di massa, sul livello del mare.** Gli scenari A1B condotti in CIRCE indicano **un possibile trend aumento del livello del mare per effetto sterico** dell'ordine di 0.29 ( $\pm 0.13$ ) cm/anno, che porterebbero il livello del bacino nel periodo 2021-50 ad essere mediamente dai 7 ai 12 cm più alto del periodo di riferimento. A questo aumento del livello del Mar Mediterraneo dovuto all'effetto sterico andrebbero poi aggiunti quello dovuto all'aumento del livello dell'oceano globale indotto dallo scioglimento dei ghiacci continentali (Groenlandia e West Antartica soprattutto) e gli effetti della subsidenza costiera.

**I cambiamenti climatici che risultano dalle proiezioni sono tali da richiedere attività di adattamento sia di lungo che di breve periodo.** Fra queste, in linea con quanto suggerito dall'IPCC, in Italia il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale dal 2007 coordina un tavolo tecnico cui collaborano vari enti (ARPA-SIMC E.R., CNR-ISAC, CNR-IBIMET, Aeronautica Militare, CRA-CMA), che ha il compito di monitorare le risorse idriche italiane e pianificare le azioni di mitigazione degli impatti sul territorio italiano di intense anomalie climatiche (incendi boschivi, impatti sulla salute, impatti sulla disponibilità di acqua potabile e di acqua per l'irrigazione e le attività produttive). Gli strumenti usati da questo tavolo includono, oltre al monitoraggio delle anomalie climatiche e delle risorse idriche (livelli idrologici e dei principali bacini di raccolta) anche l'uso di previsioni probabilistiche mensili e stagionali, i cui risultati vengono presi in considerazione, compatibilmente con le loro abilità predittive, in supporto alle decisioni relative alle azioni di mitigazione poi attuate dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

**Infine, è bene ricordare che le incertezze associate con le proiezioni di cambiamento climatico fornite dai modelli numerici sono ancora grandi, soprattutto quando si voglia caratterizzare il segnale a scala regionale o locale.** L'approccio multi-modello intrapreso in molti progetti ha permesso, se non altro, di avere una stima delle incertezze dovute alle diverse risposte che i modelli hanno alle variazioni del forzante radiativo (Gualdi et al. 2013a, Gualdi et al. 2013b). Tale stima deve essere attentamente considerata nell'interpretazione e nell'utilizzo delle informazioni ottenute dalle proiezioni di cambiamento climatico.

Nonostante il considerevole miglioramento che si è avuto nella modellistica del clima del Mediterraneo in questi ultimi anni, ci sono ancora numerosi problemi che devono e possono essere risolti al fine di aumentare la nostra capacità di simulare il clima di questa regione e quindi cercare di prevederne l'evoluzione. In particolare, la parametrizzazione di processi fisici quali, per esempio, la formazione delle nubi o l'albedo superficiale richiedono ancora un sostanziale lavoro di miglioramento; parimenti, la comprensione e la rappresentazione di Gibilterra e il suo ruolo nel regolare lo scambio di massa, quantità di moto ed energia con l'Oceano Atlantico e dei processi di interazione con il Mar Nero, devono essere ulteriormente approfonditi e migliorati.

**A dispetto di questi problemi, i modelli numerici costituiscono lo strumento scientificamente più robusto per cercare di affrontare ed esplorare le dinamiche climatiche in modo "integrato", unica possibilità di avere indicazioni su come potrà evolvere il clima della nostra regione nei prossimi decenni.**

## Bibliografia

- Artale, V, Calmanti, S., Carillo, A., Dell'Aquila, A., Hermann, M., Pisacane, G., Ruti, P.M., Sannino, G., Striglia, M.V., Giorgi, F., Bi, X., Pal, J.S., Rauscher, S. (2009). An atmosphere-ocean regional climate model for the mediterranean area: assessment of a present climate simulation. *Clim Dyn* 35:721–740.
- Auer, I. et al., (2008). HISTALP – Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region, *Int. J. Climatol.* 27, 17–46 (2007). N. Ciccarelli et al. Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century. *Global Planetary Change* 63, 185-195.
- Beniston, M. (2003). Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts, *Clim. Change*, 59, 5-31.
- Bonanno, R., Ronchi, C., Cagnazzi, B., Provenzale, A. (2012). Glacier response to current climate change and future scenarios in the northwestern Italian Alps. *Regional Environmental Change*, DOI 10.1007/s10113-013-0523-6.
- Bonasoni, P., Marinoni, A., Palazzi, E., Provenzale, A. e Vuillermoz, E. (2013). Cambiamenti climatici e ambiente montano. In: *Il mutamento climatico: processi naturali e intervento umano*, Accademia delle Scienze di Torino (ed.), Il Mulino.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T., (2004). Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years. *Journal of Geophysical Research – Atmosphere*, 109, D05102.
- Cacciamani, C., Nanni, S., Tibaldi, S., (1994). Mesoclimatology of winter temperature and precipitation in the Po Valley of Northern Italy. *Int. J. of Climatol.*, 14, 777-814.
- Cacciamani, C., Tomozeiu, R., Pavan, V., Tibaldi, S. (2005). Eventi estremi in Emilia-Romagna, il progetto europeo STARDEX. *ARPA Rivista*, 6, Novembre-Dicembre 2005.
- Calmanti, S., Motta, L., Turco, M., Provenzale, A. (2007). Impact of climate variability on Alpine glaciers in northwestern Italy. *Int. J. Climatology*, 27: 2041–2053 (2007).
- Conte, D., Lionello, P. (2013). Characteristics of large positive and negative surges in the Mediterranean Sea and their attenuation in future climate scenarios, *Global and Planetary Change* 111, 159-173.
- Coppola, E., Giorgi, F., (2009). An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations. *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.1867.
- Dell'Aquila, A., Calmanti, S., Ruti, P., Striglia, M.V., Pisacane, G., Carillo, A., Sannino, G. (2012). Effects of seasonal cycle fluctuations in an A1B scenario over the Euro-Mediterranean region. *Clim. Res.*, 52, 135-157.
- Demirov, E., Pinaridi, N., (2002). Simulation of the Mediterranean Sea circulation from 1979 to 1993: Part I. The interannual variability, *J. Mar. Syst.*, 33-34, 23-50.
- Dirnböck, T., Essi, F., Rabitsch, W. (2011). Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Glob Change Biol* 17, 990-996.
- Giorgi, F., Coppola E. (2007). European Climate-change Oscillation (ECO). *Geophysical Research Letters*, 34, L21703.
- Giorgi, F., Bi X., Pal J.S. (2005). Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. Part II: future climate scenarios (2071-2100). *Climate Dynamics*, 23, 839-858.

- Giorgi, F., Bi, X. (2005). Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations. *Geophys Res Lett*, L21715, 32: doi:10.1029/2005GL024288.
- Giorgi, F., Im, E-S., Coppola, E., Diffenbaugh, N.S., Gao, X.J., Mariotti, L., Shi, Y. (2011). Higher Hydroclimatic Intensity with Global Warming. *J. Climate*, 24, 5309-5324.
- Giorgi, F., Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet. Change*, 63, 90–104.
- Gualdi, S. F., Giorgi, F., Navarra, A. (2009). Proiezioni di cambiamento climatico nella regione euro-Mediterraneo ottenute da simulazioni globali e regionali. In S. Castellari e V. Artale, (a cura di), *I cambiamenti climatici in Italia*, in Bononia University Press, pp 590.
- Gualdi, S., Somot, S., Li, L., Artale, V., Adani, M., Bellucci, A., Braun, A., Calmanti, S., Carillo, A., Dell'Aquila, A., Déqué, M., Dubois, C., Elizalde, A., Harzallah, A., Jacob, D., L'Hévéder, B., May, W., Oddo, P., Ruti, P., Sanna, A., Sannino, G., Scoccimarro, E., Sevault, F., Navarra, A. (2013a). The CIRCE simulations: a new set of regional climate change projections performed with a realistic representation of the Mediterranean Sea. *Bull. Amer. Meteo. Soc.*, DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00136.1.
- Gualdi, S. et al. (2013b). Future Climate Projections in Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean. A. Navarra, L.Tubiana (eds.), *Advances in Global Change Research*, Vol. 50, Springer Verlag, Dordrecht, The Netherlands, pp. 125.
- Held, I.M., Soden, B.J., (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *J. Clim.* 19 (21), 5686–5699.
- Imperio, S., Focardi S., Santini G., Provenzale A., (2012). Population dynamics in a guild of four Mediterranean ungulates: density-dependence, environmental effects and inter-specific interactions. *OIKOS*, 121, 1613-1626.
- IPCC (2007). *Climate Change (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC (2013). *Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections* [van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jacobson, A.R., Provenzale, A., von Hardenberg, A., Bassano, B., Festa-Bianchet, M. (2004). Climate forcing and density dependence in a mountain ungulate population. *Ecology* 85, 1598-1610 (2004).
- Josey, S. A., Somot, S., Tsimplis, M. (2010). Impacts of atmospheric modes of variability on Mediterranean Sea surface heat exchange. *J. Geophys. Res.*, 116, doi:10.1029/2010JC006685.
- Koerner, C. (1999). *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer, Berlin
- Lascaratos, A., Nittis K. (1998). A high-resolution three-dimensional numerical study of intermediate water formation in the Levantine Sea. *J. Geophys. Res.*, 103, 18497-18511. Doi:10.1029/98JC01196.
- Lascaratos, A., Roether, W., Nittis, K., Klein, B. (1999). Recent changes in deep water formation and spreading in the eastern Mediterranean Sea: a review. *Progress in Oceanography*, 44, 5-36.

- Lauzier, M.S., Sindlinger, L. (2009). On the source of Mediterranean overflow water property changes. *J. Phys. Oceanogr.*, 39, 1800-1817.
- Lionello, P., Elvini, E., Nizzero, A. (2003). A procedure for estimating wind waves and storm-surge climate scenarios in a regional basin: the Adriatic Sea case *Clim. Research.*, 23: 217-231.
- Lionello, P., Boldrin, U., Giorgi, F. (2007). Future changes in cyclone climatology over Europe as inferred from regional climate simulation. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-007-0315-0.
- Lionello, P., Cogo, S., Galati, M.B., Sanna, A. (2008). The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations. *Global and Planetary Change* doi:10.1016/j.gloplacha.2008.03.004.
- Lionello, P., Galati, M.B., Elvini, E. (2012). Extreme storm surge and wind wave climate scenario simulations at the Venetian littoral *Phys. Chem. Earth* 40-41, 86-92, DOI: 10.1016/j.pce.2010.04.001.
- Lu, J., Vecchi, G.A., Reichler, T. (2007). Expansion of the Hadley cell under global warming. *Geophys. Res. Lett.* 34 (6), 5.
- Marcos, M. e Tsimplis, M. N. (2008). Comparison of results of AOGCMs in the Mediterranean Sea during the 21st century. *J. Geophys. Res.*, 113, C12028, doi:10.1029/2008JC004820.
- Mariotti, A., Zeng, N., Yoon, J., Artale, V., Navarra, A., Alpert, P., Li, L.Z.X. (2008). Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations. *Environmental Res. Lett.* 3, 044001, doi:10.1088/1748-9326/3/4/044001.
- Marullo, S., Artale, V., Santoleri, R. (2011). The SST Multidecadal Variability in the Atlantic-Mediterranean Region and Its Relation to AMO, *J. Climate*, 24, 4385-4401. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2011JCLI3884.1>
- Marullo, S., Buongiorno Nardelli, B., Guarracino, M., Santoleri, R. (2007). Observing the Mediterranean Sea from space: 21 years of Pathfinder-AVHRR sea surface temperatures (1985 to 2005): re-analysis and validation, *Ocean Sci.*, 3, 299-310.
- MEDAR/MEDATLAS group (2002). Mediterranean and Black Sea database of temperature, salinity and biogeochemical parameters climatological atlas. In: IFREMER, Brest, 4 CDROM.
- Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R.J., Taylor, K.A. (2007a). The WCRP CMIP3 multimodel dataset - A new era in climate change research. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 1383-1394.
- Meehl, G.A., Stocker, T.S., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J., Zhao, Z.C. (2007b). Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Meier M., Dyurgerov M.B., Rick U.K., O'Neel S., Tad Pfeffer W., Anderson R.S., Glazovsky A., (2007). Glaciers Dominate Eustatic Sea-Level Rise in the 21st Century *Science*, Vol. 317 no. 5841 pp. 1064-1067 DOI: 10.1126/science.1143906.
- Mignatti, A., Casagrandi, R., Provenzale, A., von Hardenberg, A., Gatto, M. (2012). Sex- and age-structured models for Alpine ibex *Capra ibex* population dynamics. *Wildlife Biology*, 18, 318-332.
- Millot, C. (1999). Circulation in the Western Mediterranean Sea, *J. Mar. Sys.*, 20, 423-442.
- Millot, C., Taupier-Letage, I. (2005). Circulation in the Mediterranean Sea. *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol.5, Part K, A.Saliot ed., Springer-Verlag, 29-66. DOI :10.1007/b107143.

- Nakićenović, N., Swart, R. (Eds.) (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, 599 pp.
- Navarra, A. e Tubiana, L., (2013). Future climate projections. *Regional Assessment of the Climate Change in the Mediterranean: Air, Sea and Precipitation and Water*, *Advances in Global Change Research*, Vol. 50, Springer Verlag.
- Onken, R., Yüce H. (2000). Winter circulation and convection in the Antalya basin (Eastern Mediterranean), *J. Phys. Oceanogr.*, 30, 1099-1110.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37, 637-669 (2006).
- Pasqui, M., Tomozeiu, R., Bucchignani, E., Gualdi, S., Mercogliano, P., Schiano, P., Scoccimarro, E., Di Giuseppe, E., Libertà, A., Esposito, S., Dal Monte, G., Alilla, R., Epifani, C., Botarelli, L., Roggero, P.P., Acutis, M., Seddaiu, G., De Sanctis, G., Marletto, V., Perini, L., Pellegrini, S., Servadio, P., Mereu, V., Santini, M., Spano, D., Valentini, R., Pirlo, G., Della Casa, G., Marocco, A., Tabaglio, V., Rizza, F., Masoero, F., Prandini, A., Lacetera, N., Segnalini, M., Vitali, A., Nardone, A., Manici, L., Bregaglio, S., Menenti, M., De Lorenzi, F., Bonfante, A., Dono, G., Severini, S., Zucaro, R., Rossi, G., Gozini, B., Lupia, F. (2012). Scenari di cambiamento climatico, impatti sull'agricoltura e adattamento, in *Libro Bianco - Sfide ed opportunità dello sviluppo rurale per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici*, pubblicazione realizzata con il contributo FEASR, ISBN 9788896095119.
- Pavan, V., Tomozeiu, R., Cacciamani, C., Di Lorenzo, M. (2008). Daily precipitation observations over Emilia-Romagna: mean values and extremes. *Int. J. Climatol.*, 28, 2065-2079.
- Pinardi, N., Masetti, E. (2000). Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling : a review, *Palaeoecology*, 158, 153-173.
- Pisacane, G., Artale, V., Calmanti, S., Rupolo, V. (2006). Decadal Oscillations in the Mediterranean Sea: A Result of the Overturning Circulation Variability in the Eastern Basin? *Climate Research*, Vol. 31.
- POEM group (1992), General circulation of the Eastern Mediterranean, *Earth Sci.Rev.*, 32, 285-309, doi:10.1016/0012-8252(92)90002-B.
- Previdi, M., Liepert, B.G. (2007). Annular modes and Hadley cell expansion under global warming. *Geophys. Res. Lett.* 34 (22), 5, L22701.
- Quadrelli, R., Pavan, V., Molteni, F. (2001). Wintertime Mediterranean precipitation variability and its links with upper-air large-scale circulation anomalies. *Clim Dyn*, 17, 457-466.
- Raisanen, J. (2002). CO<sub>2</sub> induced changes in interannual temperature and precipitation variability in 19 CMIP2 experiments: Quantification of agreement and role of internal variability. *Journal of Climate*, 14, 2088-2104.
- Rebora, N., Ferraris, I., von Hardenberg, J., Provenzale, A., (2006). RainFARM: Rainfall Downscaling by a Filtered Autoregressive Model. *J. Hydrometeorology*, 7, 724-738.
- Rugiero, L., Milana, G., Capula, M., Amori, G. (2012). Long term variations in small mammal composition of a snake diet do not mirror climate change trends. *ACTA OECOLOGICA*, 43, 158-164.
- Sannino, G., M. Herrmann, Carillo, A., Rupolo, V., Ruggiero, V., Artale, V., Heimbach, P. (2009). An eddy-permitting model of the Mediterranean Sea with a two-way grid refinement at the Strait of Gibraltar. *Ocean Modelling*, 30, 56-73, doi:10.1016/j.ocemod.2009.06.002.

- Seager, R., Ting, M.F., Held, I.M., Kushnir, Y., Lu, J., Vecchi, G., Huang, H-P., Harnik, N., Leetmaa, A., Lau, N-C., Li, C., Velez, J., Naik, N. (2007). Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science* 316 (5828), 1181–1184.
- Signell, R. P., Carniel, S., Cavaleri, L., Chiggiato, J., Doyle, J., Pullen, J., Sclavo, M. (2005). Assessment of wind quality for oceanographic modeling in semi-enclosed basins, *Journal of Marine System*, 53(1-4): 217-233. DOI: 10.1016/j.marsys.2004.03.006.
- Somot, S., Sevault, F., Deque, M. e Crepon, M. (2008). 21st century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled atmosphere-ocean regional climate model. *Global Planet. Change*, 63, 112–126.
- Sur, H., Özsoy, E., Ünlüata, Ü. (1993). Simultaneous deep and intermediate depth convection in the Northern levantine Sea, Winter 1992, *Oceanol. Acta*, 16, 1,33-43.
- Taylor, K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A.. (2012). An Overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
- Terzago, S. (2012). Climatic change in Western Italian Alps: analysis of snow precipitation variability during the period 1925-2010 using historical and satellite series. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienza ed Alta Tecnologia, Università di Torino.
- Tintoré, J., Vizoso, G., Casas, B., Renault, L., Ruiz, S., Garau, B., Pascual, A., Martínez-Ledesma, M., Gomez-Pujol, L.L., Orfila, A. (2012). Designing Med-SHIP: a Program for repeated oceanographic surveys. *CIESM Workshop Monographs*, 43 (F. Briand Ed.), 164 pages, Monaco.
- Tomozeiu, R., Cacciamani, C., Pavan, V., Morgillo, A., Busuioc, A. (2007). Climate change scenarios for surface temperature in Emilia-Romagna (Italy) obtained using statistical downscaling models. *Theor. Appl. Climatolog.*, 90, 25-47.
- Tomozeiu, R., Agrillo, G., Villani, G., Tomei, F., Marletto, V., Botarelli, L. (2011). Scenari di cambiamento climatico di temperatura e precipitazioni in Italia per il periodo 2021-2050, ottenuti attraverso tecniche di regionalizzazione statistica e loro impatto sull'irrigazione. *Atti del XIV Convegno Nazionale di Agrometeorologia - Rivista Italiana di Agrometeorologia*, pag. 29-30, PATRON EDITORE, 2011.
- Tomozeiu, R., Agrillo, G., Cacciamani, C., Pavan, V. (2013). Statistically downscaled climate change projections of surface temperature over Northern Italy for the periods 2021-2050 and 2071-2099. *Natural Hazard*, DOI 10.1007/s 11069-013-0552-y.
- Toreti, A., Xoplaki, E., Maraun, D., Kuglitsch, F.,G., Wanner, H., Luterbacher, J. (2010). Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1037–1050.
- Turco, M., Llasat, M.C., von Hardenber, J., Provenzale, A. (2012). Impact of climate variability on summer fires in a Mediterranean environment (northeastern Iberian Peninsula). *Climatic Change* DOI 10.1007/s10584-012-0505-6.
- Van der Linden, P., Mitchell, J.F.B. (2009). ENSEMBLES: Climate Change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Met Office Hadley Centre, UK, 160 pp.

# Risorse idriche

## Sintesi

Il presente capitolo descrive sinteticamente lo stato della situazione, della quantità e della qualità, delle risorse idriche in Italia e fornisce una valutazione dei maggiori impatti cui saranno soggette tali risorse. Si sofferma sulle principali fonti d'incertezza legate alle valutazioni di scenario, descrive i sistemi di approvvigionamento e gli indicatori utili a valutarli e fornisce un quadro delle principali criticità dei settori idroesigenti. Dopo aver descritto il sistema legislativo, istituzionale e di governance, pone attenzione su un elemento chiave delle politiche di adattamento: la strategia cosiddetta del mainstreaming, ossia del veicolare le misure di adattamento in modo integrato nelle politiche settoriali più pertinenti e già esistenti; questo vale, ovviamente per quelle sulle risorse idriche, ma anche per quelle relative al rischio idrogeologico, e per quelle energetiche e agricole. D'altro canto, le misure di adattamento riguardanti le risorse idriche sono, in effetti, di volta in volta mirate a ridurre la vulnerabilità e/o la sensibilità dell'apparato socio-economico, l'esposizione del sistema idrologico e/o incrementarne la capacità adattativa.

Nel capitolo sono poi illustrati alcuni esempi di gestione delle risorse idriche considerando possibili cambiamenti climatici e tipologie di misure di adattamento, ed è descritta a scopo esemplificativo una proposta operativa di sistema di supporto alle decisioni per l'adattamento ai cambiamenti climatici, utilizzabile via Web e basata su un'analisi multi-criteri.

Il capitolo si focalizza inoltre sulle complesse interazioni esistenti tra i cambiamenti climatici e i fattori non direttamente dipendenti dal clima, in particolare quelli socio-economici, che fanno sì che la valutazione degli impatti sia affetta da un'incertezza la cui entità può essere in alcuni casi molto elevata. Si evidenzia quindi il fatto che le strategie e le misure di adattamento non potranno che ispirarsi al principio precauzionale, nei limiti delle conoscenze disponibili, in un'ottica di minimizzazione dei rischi di un "cattivo adattamento" (maladaptation) e dei possibili effetti collaterali negativi, anche grazie all'adozione di accurate procedure di previsione del clima futuro. Allo stesso modo, è necessario che anche le politiche legate direttamente o indirettamente a quelle idriche siano valutate per la loro validità (o per lo meno neutralità) rispetto alle necessità di adattamento (climate proofing).

Infine, si rileva, che anche se fino a oggi l'adattamento ai cambiamenti climatici ha avuto una scarsa rilevanza e di conseguenza la ricerca specifica è ancora poco sviluppata, esistono tuttavia una vastissima letteratura e un'adeguata dotazione di mezzi applicativi che possono essere utilizzati quale riferimento per l'identificazione di misure di adattamento, rifacendosi ai principi della gestione integrata delle risorse idriche, che richiedono solamente di essere rivisti in un'ottica dinamica, basata su analisi di scenario e con una particolare attenzione alla gestione dell'incertezza.

## **Introduzione**

### *Considerazioni sulla situazione attuale*

La situazione delle risorse idriche in Italia è caratterizzata dalla disomogeneità delle disponibilità naturali e delle pressioni antropiche sul territorio nazionale, cui fa riscontro un'altrettanto eterogenea qualità delle infrastrutture e modalità di gestione, a fronte di un quadro normativo generalmente adeguato e avanzato, ma solo parzialmente applicato. Tale complessità e disomogeneità si intreccia con seri problemi di gestione e qualità delle informazioni e della loro disponibilità sul territorio nazionale.

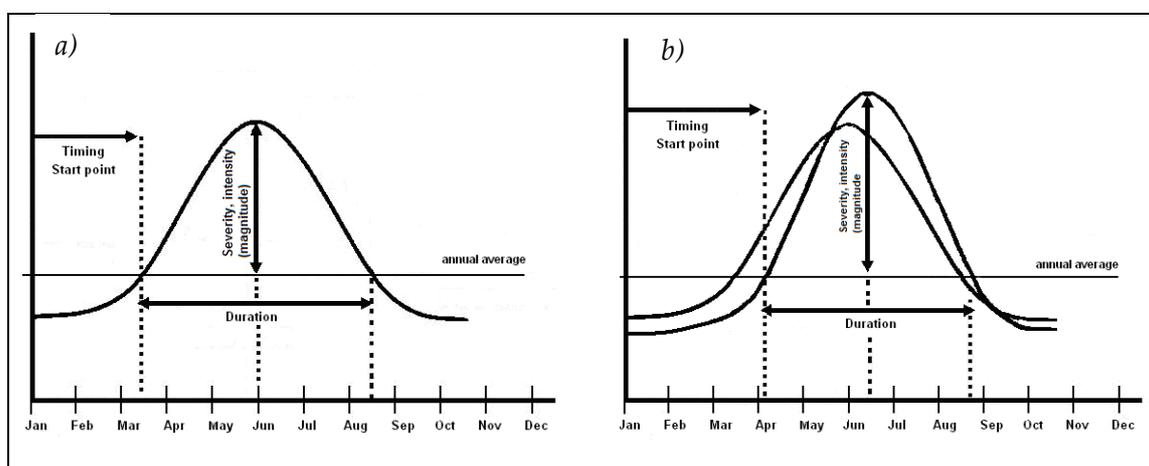
La stessa quantificazione delle risorse idriche complessivamente disponibili in Italia non è di facile determinazione. Eurostat (European Commission, 2011a) stima in 175 miliardi di m<sup>3</sup> la quantità massima potenzialmente disponibile annualmente, supponendo di utilizzare tutto il deflusso nei fiumi; tuttavia la natura irregolare dei deflussi e le difficoltà pratiche di utilizzo di molte risorse abbassano drasticamente tale disponibilità a circa 110 miliardi di m<sup>3</sup>/anno. Uno studio svolto dall'IRSA-CNR (1999) valuta in 52 miliardi di m<sup>3</sup>/anno la somma delle risorse superficiali e sotterranee effettivamente disponibili (866 m<sup>3</sup> pro capite). Tuttavia, tale stima della disponibilità idrica come valore medio distribuito nell'arco dell'anno, ha un valore informativo molto limitato, perché non tiene conto delle diversità stagionali di fabbisogno idrico, dei diversi regimi pluviometrici e della variabilità climatica anche in relazione alla diversità territoriale (Rusconi, 2011).

In media il prelievo idrico complessivo per abitante è stimato in circa 700 m<sup>3</sup>/anno, mentre per l'uso potabile, utilizzando dati del 2008, tale volume è pari a 150 m<sup>3</sup>/anno (ISTAT, 2012). I valori si collocano nella parte alta della classifica a livello europeo, ma la ripartizione in ambito nazionale è tutt'altro che omogenea: le regioni del Nord-Ovest mostrano l'uso maggiore, pari a circa il 39% del totale, il 27% a Nord-Est, il 19% al Centro e il 15% al Sud. Rispetto ai diversi usi, secondo lo studio IRSA-CNR precedentemente citato, l'uso irriguo è al primo posto con il 49% del totale, seguito dal settore industriale (21%), da quello civile (19%) e da quello energetico (11%). Infine, con riferimento all'uso potabile, il volume fatturato pro capite nel 2008 corrisponde a 72,9 m<sup>3</sup>/anno (circa 200 l/g) per abitante: un dato che segnala da un lato l'alta incidenza complessiva delle perdite nei sistemi idrici e dall'altro il ricorso a forme di auto-provvigionamento nei territori rurali e a bassa urbanizzazione (pozzi per uso domestico). Tale valore è inferiore del 9,2% rispetto al 1999, sia per effetto della variazione del sistema di contabilizzazione, oggi più legato ai consumi reali direttamente misurati dai contatori, sia per una leggera riduzione dei consumi.

## Valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche

### Clima attuale, futuro e risorse idriche

I cambiamenti climatici stanno producendo una serie di effetti sul ciclo idrologico. Variazioni di temperatura, evaporazione e precipitazione hanno evidenti ricadute sui deflussi, l'umidità dei suoli e la ricarica degli acquiferi. La modifica dei valori medi, ma anche e soprattutto la variabilità e gli eventi estremi producono effetti notevoli sul ciclo idrologico (Bates et al. 2008). Infatti, le alterazioni attese della distribuzione dei parametri climatici, sia a scala di evento sia di andamento stagionale, possono determinare importanti mutamenti del processo idrologico, anche senza mostrare cambiamenti dei valori medi, come riportato in Figura 1.4.



**Figura 1.4:** Caratteristiche tipiche degli eventi idrologici (sinistra) e loro possibili alterazioni dovute a cambiamenti climatici (destra). Fonte: ClimWatAdapt (Fonte: Flörke et al., 2011).

La modellazione del clima nella regione Mediterranea, nella quale si trova la penisola italiana, è particolarmente difficoltosa, pertanto anche gli scenari dei cambiamenti climatici risentono di una marcata incertezza. Le caratteristiche dell'eterogenea morfologia locale determinano una grande complessità della circolazione atmosferica che aumenta significativamente l'incertezza dei modelli climatici del Mediterraneo (Fiorentino et al., 2005).

In termini storici, l'Italia ha una considerevole rete di stazioni meteorologiche ultracentenarie per la raccolta di dati di temperatura e precipitazione, che permettono di analizzare trend climatici di medio e lungo periodo. Brunetti et al. (2006), utilizzando tecniche di omogeneizzazione dei dati e di regionalizzazione statistica, hanno dimostrato andamenti sempre significativi di incremento delle temperature (specie di quelle minime giornaliere), mentre le tendenze delle precipitazioni sono disomogenee e solo in pochi casi, generalmente relativi all'Italia centro-meridionale, si sono

evidenziati trend negativi statisticamente rilevanti. Questa disomogeneità, riscontrata anche a livello globale (Sun et al., 2012), può dipendere verosimilmente dalla diversità geografica del territorio italiano (Romano & Preziosi, 2012).

In termini di proiezioni future, invece, l'IPCC (2007; 2013)<sup>19</sup> prevede per la regione Mediterranea un innalzamento delle temperature e una contemporanea contrazione delle precipitazioni (specie nel periodo estivo), inducendo un effetto di estremizzazione dei caratteri tipici del clima. Ciò potrà dar luogo al contemporaneo acuirsi, nelle diverse stagioni, dei fenomeni estremi di siccità e di piogge intense in grado di incrementare il rischio idrogeologico. Queste valutazioni sono confermate dai risultati ottenuti dal progetto CIRCE (Navarra & Tubiana, 2013a) finanziato dall'UE che ha prodotto un'analisi dei cambiamenti climatici nel Mediterraneo e dei relativi impatti.

In termini di impatti, ci si dovrà quindi aspettare una diminuzione dei deflussi superficiali nei corsi d'acqua e di quelli profondi che ricaricano gli acquiferi (Menzel & Bürger, 2002; Iglesias et al., 2005; Alcamo et al., 2007). A ciò sarà anche legata una contrazione del contenuto idrico medio dei suoli nel periodo estivo, dovuto soprattutto alla scarsità di piogge e a un possibile aumento dell'evaporazione (Douville et al., 2002); tuttavia a un tale iniziale aumento, fa seguito un incremento della copertura nuvolosa con una probabile diminuzione della circolazione dei venti (Blöschl & Montanari, 2010). Allo stato attuale delle conoscenze non è sempre prudente fornire stime quantitative dei fenomeni attesi in termini di variazioni percentuali delle diverse variabili climatiche e idrologiche, ma ciò che è evidente sono i fenomeni di retroazione (feedback) che questi comportano sul ciclo idrologico, tali da determinare effetti sinergici potenzialmente negativi. Ad esempio si può citare che un suolo più secco si riscalda più facilmente, aumentando quindi lo stress per la vegetazione e si lascia penetrare più lentamente da piogge intense; questo limita la capacità di accumulo, riducendo ulteriormente il contenuto idrico che a sua volta limita lo sviluppo della vegetazione, determinando condizioni favorevoli alla desertificazione con riduzione della biodiversità del sistema. Pressioni aggiuntive, considerando la costa, si potranno verificare a causa dell'aumento del livello del mare e conseguente incremento del fenomeno dell'intrusione nelle falde acquifere costiere con grandi impatti sulla società (Vurro et al., 2013).

Effetti marcati dell'aumento della temperatura sono attesi per i fiumi alpini, a causa del ridursi della copertura nevosa e dei ghiacciai, con immediate conseguenze sulla stabilità delle portate stagionali (Barnett et al., 2005; Eckhardt & Ulbrich, 2003; Jasper et al., 2004; Zierl & Bugmann, 2005). Nei fiumi dell'Italia peninsulare e insulare, invece, saranno le variazioni dell'andamento delle piogge a determinare, come sopra accennato, una proiezione di maggiori siccità estive (Santos et al., 2002) accompagnate da incrementi del rischio di eventi piovosi estremi nei periodi invernali e primaverili (IPCC, 2007; IPCC, 2013; Lehner et al., 2006), a causa di una diminuzione

---

<sup>19</sup> La pubblicazione in corso dall'autunno 2013 dei materiali del quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (5th Assessment Report - AR5), non presenta al momento sostanziali novità per l'area di interesse, salvo soprattutto riaffermare quanto già proposto nell'AR4, con minori ambiti di incertezza.

dei giorni piovosi e una conseguente concentrazione delle precipitazioni (Giorgi et al., 2004; Kundzewicz et al., 2006; Navarra & Tubiana, 2013a).

Un ultimo ma fondamentale aspetto che deve essere tenuto al centro delle considerazioni sull'adattamento ai cambiamenti climatici in particolare in un'area come l'Italia, è la variabilità dei fenomeni considerati. In questo campo le capacità predittive dei modelli climatici esistenti sono ancora limitate rispetto a quelle riguardanti gli andamenti medi. Ciononostante, va segnalato che anche in questo campo non mancano le indicazioni scientifiche di un incremento dell'instabilità e della variabilità del clima. In ogni caso, sebbene affette da incertezza più o meno elevate, le proiezioni di scenario e le previsioni disponibili sono indispensabili per aiutare il decisore a stabilire strategie di adattamento nella gestione delle risorse idriche (Portoghese et al., 2011; Portoghese et al., 2013).

### *Acque superficiali e profonde*

I corpi idrici superficiali e sotterranei sono largamente distribuiti sul territorio nazionale. Le grandezze monitorate ai fini della valutazione delle quantità sono le portate fluviali o sorgentizie e i livelli di falda negli acquiferi. A differenza delle precipitazioni e delle temperature, queste grandezze sono influenzate dai cambiamenti climatici (effetti primari) e dai prelievi antropici (effetti secondari). La rete di monitoraggio delle acque è meno capillare rispetto a quella dei dati climatici; in particolare è piuttosto carente il monitoraggio delle acque sotterranee (livelli piezometrici e portata delle sorgenti) sia in termini di numero delle stazioni sia di lunghezza delle serie storiche necessarie a determinare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle acque sotterranee. I prelievi, allo stato attuale, sono ritenuti responsabili dei maggiori impatti, com'è stato rilevato nel recente workshop "Climate Change Impacts on Groundwater" (European Commission Working Group C, 2012). Analogamente, l'analisi dei legami fra clima e idrologia è complessa a causa del numero dei processi coinvolti; ancor più difficile è la ricerca di possibili segnali di cambiamento nei legami fra andamenti climatici storici e deflussi (Barneschi & Preti, 2006). È importante quindi valutare unicamente gli effetti dei cambiamenti climatici per le acque superficiali e per quelle sotterranee appartenenti a bacini idrologici e/o idrogeologici poco o per nulla affetti da attività antropiche e con serie storiche sufficientemente lunghe. Ancora più articolato è analizzare i possibili impatti sugli acquiferi confinati, nei quali le distanze tra la zona di ricarica e quelle di sfruttamento variano da pochi a centinaia di chilometri, con regimi di risposta in funzione dell'assetto idrogeologico e del moto idrico sotterraneo. In questa direzione, vari autori (Cambi & Dragoni, 2000; Cambi et al., 2003; Di Matteo & Dragoni, 2006; Fiorillo & Guadagno, 2010) hanno analizzato alcuni sistemi sorgivi, lacustri e fluviali dell'Italia centrale, arrivando a stimare possibili riduzioni dell'afflusso del 20% nei prossimi decenni, con conseguenze sull'intero sistema idrologico: deflussi superficiali, serbatoi, ecc. Va richiamata, inoltre, la questione della relazione fra quantità e qualità. Ad esempio, gli acquiferi sono esposti sia alla riduzione della ricarica naturale, sia a un contemporaneo aumento dei prelievi, ma anche all'apporto di inquinanti derivanti da fonti civili, industriali e/o agricole. Tali fenomeni determinano un peggioramento della qualità, particolarmente rilevante negli acquiferi costieri, nei quali, a quelli sopra menzionati si aggiunge il fenomeno dell'intrusione salina. Allo stesso tempo, è sempre più evidente l'importanza di

considerare acque sotterranee e superficiali come un'unica risorsa. L'interazione di acque sotterranee e superficiali è un aspetto importante in molti problemi concernenti la disponibilità della risorsa, la qualità dell'acqua e il degrado degli ecosistemi acquatici. Basti pensare alle falde acquifere contaminate che alimentano i corsi d'acqua che possono comportare una contaminazione a lungo termine delle acque di superficie; viceversa, i fiumi possono essere una fonte importante di contaminazione delle falde acquifere. Le interazioni sono difficili da osservare e misurare e comunemente sono ignorate nella gestione delle acque e nelle politiche dell'acqua, tuttavia la gestione integrata delle risorse idriche non può prescindere (Winter et al., 1998).

Una delle conseguenze dei cambiamenti del clima sul ciclo idrologico è la riduzione della disponibilità delle risorse idriche utili (Portoghesi et al., 2013). Gli effetti incidono, in base ai volumi necessari, sui settori di utilizzo delle risorse: in primo luogo sull'agricoltura, a seguire sull'idro-potabile e sull'industria. In generale ci si può attendere un acuirsi dei conflitti per l'uso di una risorsa via via più scarsa. Ad aggravare il quadro dei mutamenti delle risorse idriche, si consideri che il consumo d'acqua da parte delle attività umane è in costante aumento a causa delle forze determinanti (driving forces) legate allo sviluppo economico (flussi demografici, consumi energetici, turismo, agricoltura irrigua).

Gli studi degli impatti dei cambiamenti climatici sul comportamento idrologico e sui deflussi a scala di bacino (e quindi in ultima analisi sulle risorse idriche superficiali) si basano solitamente sullo sviluppo di simulazioni idrologiche in cui l'input climatico è ottenuto tramite scenari climatici locali derivati da modelli di circolazione globale (downscaling). Nella letteratura nazionale in proposito esistono lavori basati su un approccio di downscaling stocastico<sup>20</sup> di scenari climatici pluviometrici derivanti da modelli di circolazione globale, per analizzare in dettaglio gli effetti dei potenziali cambiamenti climatici sui processi idrologici a scala di bacino (Burlando et al., 1997; Burlando & Rosso, 2002a). I risultati ottenuti sul piano tecnico (con riferimento al bacino del fiume Arno) si riflettono sul dimensionamento e sulla verifica delle opere idrauliche, osservando una riduzione della disponibilità idrica per tutti gli scenari considerati non sempre dovuta a un calo del deflusso totale, ma talvolta attribuibile a una sua differente distribuzione temporale. Tuttavia, le forti incertezze legate non solo ai modelli climatici, ma anche alla conoscenza ancora limitata sia della stessa distribuzione dei campi di pioggia, sia dei processi di base della formazione delle piene, non consentono di tradurre le sollecitazioni climatiche in deflussi in modo affidabile (Burlando & Rosso, 200b). Pertanto è utile evidenziare la necessità di un'analisi sistematica a scala nazionale indirizzata a investigare come variano gli impatti idrologici secondo le variabili climatiche, delle caratteristiche orografiche e geomorfologiche del territorio nazionale e basata su una procedura condivisa, per la stima degli impatti sul territorio italiano. Infine, si evidenzia l'importanza dell'aspetto più operativo relativo all'impiego degli scenari climatici sulle valutazioni d'impatto, spesso basati su approcci differenti di downscaling, i cui risultati non sono sempre concordanti (ad es. Camici et al., 2012; Guyennon et al. 2012; Portoghesi et al., 2013).

---

<sup>20</sup> Si definisce downscaling stocastico un approccio in grado di stimare serie di valori ad alta risoluzione sulla base di output, a risoluzione più grossolana, ottenuti da modelli numerici di previsione climatica utilizzando processi stocastici.

## *Aspetti relativi alla qualità delle acque*

La complessità delle componenti fisiche e chimiche del ciclo idrologico e delle loro interazioni con le attività antropiche rende particolarmente impegnativo lo studio dei possibili impatti delle forzanti climatiche sulla qualità delle acque. La difficoltà maggiore risiede nel comprendere se una data modifica osservata dipenda direttamente dai cambiamenti climatici o sia piuttosto dovuta ad altre perturbazioni antropiche, in genere a carattere più localizzato (Carvalho & Kirika, 2003; Greig et al., 2012). Ancora più difficoltosa è la stima degli effetti a cascata sul complesso di parametri che determinano la qualità ecologica dei corpi idrici, il cui stato è regolato dalle normative vigenti in materia (Direttiva 2000/60/UE o Direttiva Quadro sulle Acque – DQA<sup>21</sup>, Commissione Europea, 2000; D.lgs. 152/2006). Un esempio in tal senso è dato dalla possibile modifica delle condizioni di riferimento dei corpi idrici indotta dalle variazioni climatiche (Kernan et al., 2010).

Per l'Italia, indagini sull'influenza dell'incremento della frequenza di piogge intense sulla qualità delle acque sono state condotte (Lo Porto et al., 2007) in bacini a regime Mediterraneo (Rio Mulargia in Sardegna e Fiume Alento in Campania), nei quali gli effetti delle variazioni climatiche sono stati simulati mediante il modello idrologico SWAT (Soil and Water Assessment Tool; Arnold et al., 1993). I risultati ottenuti evidenziano nei vari scenari una riduzione dei volumi annui di deflusso e un aumento dell'erosione e del trasporto di nutrienti e sedimenti. Le condizioni per un maggiore trasporto dei nutrienti sono state verificate in occasione di eventi intensi susseguenti a periodi prolungati asciutti. Simili risultati sono stati ottenuti da Garnier et al. (2007) in un bacino dell'Appennino centrale.

A scala continentale si registrano evidenti incrementi di temperatura delle acque di diversi fiumi europei in relazione all'aumento della temperatura atmosferica (Solheim et al., 2010). Nei laghi tale incremento ha effetti molto articolati sulla termica lacustre (Ambrosetti & Barbanti, 2002) e dipende dalle caratteristiche morfometriche<sup>22</sup> e idrologiche. La capacità di "memoria climatica" (Ambrosetti & Barbanti, 1999) dei laghi italiani profondi determina, in una prospettiva di riscaldamento globale, un aumento delle temperature ipolimniche<sup>23</sup> in grado di modificare il ciclo annuale di stratificazione/destratificazione delle acque e la ciclicità pluriennale della completa circolazione invernale. Una riduzione della frequenza dei periodi di piena ha dirette implicazioni sulla dinamica di nutrienti e inquinanti che tenderebbero a risiedere per un periodo maggiore negli strati profondi dei laghi (Ambrosetti & Barbanti, 1999). Per quanto concerne l'idrodinamica lacustre, le conseguenze sono anche più ampie per il contemporaneo modificarsi delle temperature degli affluenti, del regime dei venti e delle precipitazioni che influenzano notevolmente gli scambi delle acque nel lago (Valerio et al, 2012; Laborde et al, 2010), con impatti diretti e indiretti sulla distribuzione dei nutrienti, sulle fioriture algali, sul consumo di ossigeno, ecc. (Carraro et al., 2012).

---

<sup>21</sup> Ulteriori informazioni: <http://www.direttivaacque.minambiente.it/>.

<sup>22</sup> Si definiscono caratteristiche morfometriche l'insieme delle caratteristiche che hanno influenza diretta sullo scorrimento superficiale, es. dimensione del bacino, forma, rilievo, pendenza, struttura della rete idrografica.

<sup>23</sup> Si definisce strato ipolimnico la zona del lago posta ad una profondità tale dove la temperatura si mantiene costante intorno al valore di 4 °C.

Quanto segnalato sui laghi profondi subalpini è emerso anche sui piccoli laghi. Ad esempio, un'analisi effettuata per i laghi lombardi nel periodo 1970-2000 ha evidenziato un incremento della temperatura ipolimnica di circa 1,5 °C (Tartari et al., 2002). Anche per i laghi meno profondi, quindi, l'incremento termico può ridurre la frequenza degli eventi di circolazione, con il confinamento delle sostanze inquinanti nello strato profondo e il conseguente esaurimento dell'ossigeno ipolimnico disciolto (Tartari et al., 2000; Tartari et al., 2002). In questo settore uno studio modellistico condotto sui Laghi di Como e Pusiano, svolto utilizzando scenari climatici regionali (A1B IPCC) prodotti nell'ambito del Progetto CIRCE, ha evidenziato un probabile aumento delle temperature medie di questi due ambienti dell'ordine di 0,03 °C all'anno prossime nei prossimi 4 decenni (Copetti et al., 2013). Tale proiezione è in linea con i dati sperimentali presentati in Salmaso & Mosello (2010) per i grandi laghi Italiani della regione subalpina. Nei fiumi a scala continentale europea si registrano aumenti della temperatura delle acque (Solheim et al., 2010).

Oltre agli effetti diretti vanno considerate anche numerose conseguenze indirette (Solheim et al., 2010). Nel caso dei laghi, ad esempio, è stata evidenziata l'influenza delle variazioni di temperatura sul prolungamento della stagione produttiva, con implicazioni sulle fioriture algali che tenderebbero a verificarsi in anticipo in primavera e a terminare più tardi in autunno (Thackeray et al., 2008). Tali spostamenti sono spesso mediati da processi climatici a macroscale, quali l'andamento della NAO (Gerter & Adrian, 2000; Straile, 2000). Diversi studi mettono in relazione l'insorgere dei cambiamenti climatici con l'aumento di specie potenzialmente tossiche nei laghi, con particolare riferimento ai cianobatteri (Paerl & Huisman, 2009; Posch et al., 2012). A livello italiano uno studio condotto da Visconti et al. (2008) rileva un marcato impatto dell'aumento della temperatura sulle dinamiche zooplanctoniche nel Lago Maggiore, un ambiente ormai oligotrofico (Salmaso & Mosello, 2010). Per contro, uno studio modellistico di carattere più generale condotto sul Lago di Pusiano (Carraro et al., 2012), un ambiente prealpino caratterizzato da una marcata evoluzione dello stato trofico (ipertrofico negli anni '80, moderatamente eutrofico alla fine degli anni 2000) ha mostrato un maggior impatto sullo stato trofico del lago per il periodo 1960-2010 da parte dei carichi di nutrienti generati nel bacino rispetto all'incremento di temperatura.

Nel caso dei fiumi, considerando che gli scenari climatici indicano una diminuzione generale delle precipitazioni nell'Europa mediterranea unitamente all'aumento delle temperature e un'estremizzazione degli eventi (EEA, 2012), sono prevedibili importanti conseguenze ecologiche a causa delle modificazioni idromorfologiche (Buffagni et al., 2009). Le variazioni dei deflussi, in casi estremi, possono giungere a rendere temporaneo il corso d'acqua, con drammatiche modifiche degli habitat. La riduzione dei deflussi determina, comunque, l'aumento delle concentrazioni di inquinanti, con conseguenze negative sulle pressioni di tipo chimico e sullo stato ecologico di questi ambienti.

In definitiva, la definizione degli impatti dei cambiamenti climatici sulla qualità e sullo stato trofico delle acque superficiali appare alquanto complessa, a causa delle numerose relazioni causa-effetto che possono essere individuate dal livello climatico a quello chimico e biologico. In questo

senso l'approccio tradizionale basato sull'analisi delle serie storiche è solo in parte funzionale, perché le relazioni statistiche potrebbero rivelarsi inadeguate in un sistema in continua evoluzione. Questi studi dovrebbero, quindi, essere sempre più affiancati da approcci modellistici basati sulla simulazione dei processi in grado di fornire indicazioni sull'evoluzione del sistema (Montanari et al., 2013).

L'uso combinato di modelli e strumenti di supporto rappresenta un promettente approccio operativo per studiare e gestire le complesse relazioni tra sistemi antropici e naturali in un quadro di incertezza dovuto alla considerazione di stati futuri incerti (Balbi et al., 2013; Bazzani, 2011).

### ***Il lato dell'offerta: sistemi di approvvigionamento***

I sistemi di approvvigionamento idrico presenti in Italia sono molto diversi sul territorio sia in termini di utilizzatore finale (per scopi idropotabile, agricolo, industriale o plurimo) sia in termini di risorsa utilizzata (invasi naturali e artificiali, acque superficiali, acquiferi dislocati in vari ambienti geologici, in particolare alluvionali e carsici). Al nord si osserva una netta distinzione fra il complesso acquedottistico civile e quello energetico-irriguo; il primo si alimenta per lo più da risorse disponibili su scala locale, in gran parte sotterranee o sorgentizie, con limitate interconnessioni; il secondo utilizza acque superficiali raccolte negli invasi utilizzati per scopi energetici e poi rilasciate (solo in particolari condizioni) alle reti gestite dai consorzi di bonifica e irrigazione. Al sud le risorse superficiali, avendo un andamento irregolare nel corso delle stagioni, sono invasate e sono utilizzate per scopi plurimi con trasporto a distanza tramite vettori importanti per portata e lunghezza. Il 40% del volume invasabile totale italiano è concentrato in quattro regioni meridionali: Sardegna, Sicilia, Calabria e Basilicata. Le risorse sotterranee utilizzate, per lo più afferenti alla categoria delle grandi sorgenti appenniniche, sono indirizzate allo scopo potabile. Di conseguenza, la valutazione della sensibilità di tali sistemi agli impatti attuali e futuri dei cambiamenti climatici risulta strettamente legata alle peculiarità di ciascun sistema idrico. Possono comunque essere fornite alcune indicazioni di carattere generale.

L'esposizione al rischio di inappagamento della domanda da parte di un sistema idrico (Merabtene et al., 2002; Preziosi et al. 2010) può essere valutata in termini di affidabilità, resilienza e vulnerabilità.

Per quanto riguarda l'affidabilità, il primo elemento da tenere in considerazione è la differenza tra la disponibilità media delle risorse e la domanda media: è evidente che nel caso in cui la domanda sia molto prossima alla disponibilità media, la probabilità di non soddisfacimento della domanda può essere piuttosto elevata. Situazioni di questo tipo si verificano in particolar modo nell'Italia meridionale, dove i sistemi idrici sfruttano, in genere, gli invasi artificiali per esaudire la domanda, a scopi sia idropotabili sia agricoli. Tali aspetti di criticità sono invece generalmente assenti nei sistemi idrici che utilizzano gli acquiferi alluvionali come risorsa primaria, poiché la disponibilità sul medio periodo è in generale sufficiente, dal punto vista quantitativo, a soddisfare la domanda. Diverso è il caso in cui la risorsa principale sia costituita da invasi di piccole-medie dimensioni a uso plurimo. Tali sistemi appaiono più sensibili a un eventuale aumento degli eventi estremi (sia positivi sia negativi) piuttosto che a una diminuzione media delle precipitazioni. Considerando la

prospettiva di un aumento degli eventi siccitosi in termini di frequenza, intensità e durata per l'area mediterranea, questo è un elemento di rischio particolarmente importante. Da notare che l'impossibilità di una gestione pluriennale impedisce, di fatto, una programmazione di lungo periodo, che sarebbe invece necessaria per fronteggiare tale tipo di eventi.

Per quanto concerne la resilienza, cioè la capacità di un sistema di ritornare in discrete condizioni operative dopo uno shock, un periodo d'impossibilità parziale o totale di soddisfacimento della domanda (da non confondersi con l'instaurarsi di un cambiamento nella struttura del clima, e cioè nel caso di non stazionarietà dei parametri che caratterizzano la grandezza idrologica), sono maggiormente esposti al rischio i sistemi che utilizzano le acque provenienti da acquiferi alluvionali, cioè quelle risorse caratterizzate da una grande capacità d'immagazzinamento unita a tempi caratteristici di ricarica lunghi. Tali risorse possono subire l'impatto congiunto di due fattori distinti, ma strettamente correlati tra loro: una diminuzione delle precipitazioni sul lungo periodo, che determina una riduzione della disponibilità idrica (depauperamento naturale), e un'ulteriore perdita di origine antropica, dovuta al sovrasfruttamento delle falde nei periodi siccitosi (Romano & Preziosi, 2010). La resilienza è maggiore nei sistemi con circuiti di ricarica rapidi: invasi superficiali, prese da acqua fluente e acquiferi carsici a circuito rapido. Le condizioni di bassa resilienza, invece, sono tipiche delle grandi sorgenti appenniniche del centro-sud (ad es. Peschiera, Caposele, ecc.), caratterizzate da alte portate (dell'ordine di alcuni m<sup>3</sup>/s), stabilità elevata, ma anche tempi di recupero molto lunghi (Fiorillo & Guadagno, 2010).

Riguardo alla vulnerabilità, che può fornire un'indicazione sulla gravità delle possibili conseguenze, in particolare socio-economiche, nei periodi d'inadempienza della domanda, il primo elemento da prendere in considerazione è la quantificazione del possibile deficit poiché le condizioni di maggior rischio si presentano quando le carenze sono più elevate. In altre parole, durante un periodo siccitoso è auspicabile che il deficit sia poco intenso, semmai per un periodo più prolungato piuttosto che molto intenso per un periodo limitato. I sistemi basati sulla captazione di acquiferi carsici di dimensioni medio-piccole, caratterizzati da minimi stagionali di qualche decina o poche centinaia di l/s che si verificano in genere durante la stagione autunnale (ad es. le sorgenti che alimentano parte del sistema idrico dell'alto Tevere) sono particolarmente vulnerabili a possibili deficit (Romano et al, 2012a; Romano et al, 2012b). Tali sorgenti tipicamente vanno in secca negli anni più siccitosi, rendendo inevitabile il ricorso a risorse alternative (solitamente acquiferi alluvionali), con i conseguenti rischi di sovrasfruttamento nel caso di siccità prolungate. Si ritiene che i sistemi meno esposti a un aumento del rischio di deficit dovuto a una variazione del regime climatico siano quelli interconnessi che utilizzano diverse tipologie di risorse aventi differenti tempi di ricarica e capacità d'immagazzinamento.

## ***Il lato della domanda: settori economici idroesigenti***

Nella pianificazione e nella gestione delle risorse idriche, l'obiettivo ultimo è l'ottimale esaudimento della domanda d'acqua in ogni settore nel rispetto del sistema ambientale, come richiesto dalla DQA. Per quanto riguarda gli usi antropici, devono essere messe in atto varie strategie d'uso che considerino adeguatamente la variabilità dei fenomeni determinanti la disponibilità idrica. Oltre agli impatti diretti sui vari elementi del ciclo idrologico, descritti nei precedenti paragrafi, si può affermare che i cambiamenti climatici saranno sicuramente responsabili di vari impatti indiretti non solo sugli usi antropici, ma anche sull'ambiente. La quantificazione degli impatti indiretti è affetta da un grado d'incertezza ancora maggiore rispetto a quello degli scenari climatici e idrologici, ancor più perché si aggiunge l'incertezza sull'evoluzione dei sistemi socio-economici (Garnier et al., 2011; Delpla et al., 2009; Semenza & Menne, 2009).

**Settore Civile (idropotabile)** – L'uso civile, connesso al soddisfacimento dei fabbisogni umani, sarà quello per il quale dovranno essere minimizzati gli impatti indotti dai cambiamenti climatici, essendo esso prioritario su tutti gli altri. L'aumento dei consumi domestici dovuto ai cambiamenti climatici è stimato come piuttosto modesto; alcune stime riportano incrementi intorno al 5%. Un effetto indiretto dovrebbe essere l'incremento della domanda energetica per il raffreddamento degli edifici che, a sua volta, produce un aumento dei consumi d'acqua per il raffreddamento delle centrali (Bates et al., 2008).

**Agricoltura** – In Italia, lo sviluppo agricolo delle diverse aree del Paese è stato fortemente influenzato dalla disponibilità della risorsa idrica e gli ordinamenti colturali irrigui hanno sempre rappresentato un punto di forza in termini di reddito e di occupazione, con un importante contributo al valore aggiunto del comparto e alle esportazioni. Negli ultimi anni le politiche europee e nazionali, agricole e ambientali sempre più integrate, hanno riconosciuto il ruolo centrale dell'acqua e la gestione irrigua ha assunto un ruolo strategico come strumento di adattamento al cambiamento. Va a questo riguardo evidenziato come i cambiamenti climatici in atto comportino problematiche nuove e complesse:

- la velocità dei cambiamenti, che può essere maggiore della capacità di adattamento degli agro-ecosistemi, e della risposta in termini di gestione da parte delle aziende agricole;
- la maggior occorrenza e portata di eventi straordinari, poco prevedibili, che aumenta l'incertezza relativamente "a quali condizioni" adattarsi;
- gli effetti dei cambiamenti climatici sulla produzione agricola mondiale, che se da un lato sembrano offrire nuove opportunità di produzione in aree finora marginali, uniti alle altre dinamiche della globalizzazione, potranno anche provocare impatti negativi su molti sistemi produttivi esistenti, con prevedibili notevoli impatti sulla sicurezza alimentare (livello produttivo), aumento dell'instabilità dei prezzi agricoli e, in definitiva, sulla possibilità di accesso al cibo per molte fasce di popolazione in particolare nei paesi più poveri (livello di mercato).

In risposta agli scenari di riduzione delle disponibilità idriche complessive e di maggiore alternanza tra periodi siccitosi e eventi precipitativi estremi ipotizzati (Alcamo et al., 2007) e considerate le problematiche del settore irriguo italiano, le azioni di adattamento da attuare possono essere identificate nella promozione del risparmio idrico, in una più efficiente allocazione delle risorse idriche, nell'adozione di strumenti economici più adeguati a favorire una gestione efficiente e sostenibile della risorsa idrica, compresi quelli per la gestione del rischio connesso agli eventi climatici estremi e avversi. Le politiche e la programmazione pubblica di settore dovranno analizzare le variazioni delle pratiche agricole e dell'uso del suolo avvenute negli ultimi 60 anni, e inglobare nei propri obiettivi e strumenti le problematiche legate all'adattamento dell'agricoltura ai cambiamenti climatici, con particolare attenzione al settore irriguo (Iglesias et al., 2009) in un quadro d'integrazione con le politiche ambientali ed energetiche.

**Idroelettrico** – In Italia l'energia idroelettrica riveste un ruolo di primo piano, con più di 2000 centrali idroelettriche e un contributo che corrisponde a circa 1/6 dell'intera produzione elettrica nazionale, con variazioni dovute all'ammontare delle precipitazioni (Caminiti, 2001). Valutazioni complessive riportano che, entro il 2070, la produzione potenziale di energia idroelettrica diminuirà all'incirca del 6% a scala europea, ma tra il 20% e il 50% nei Paesi del Mediterraneo. Si ritiene che gli impatti più importanti per il settore, tra quelli conseguenti ai cambiamenti del clima, siano legati alla riduzione delle precipitazioni e al verificarsi di periodi di siccità e all'eventuale diminuzione della sicurezza delle dighe, e a danni alle infrastrutture causati da inondazioni e smottamenti (Pirker, 2007).

**Industria** – Nei paesi come l'Italia, in cui si prevede, nel complesso, una diminuzione della disponibilità della risorsa idrica accompagnata dall'aumento della temperatura, un aumento della produzione industriale potrebbe mettere a rischio la fornitura d'acqua per gli impianti di raffreddamento che rappresentano i maggiori utilizzatori idrici in molti processi industriali. Questo rischio appare tuttavia limitato dal fatto che negli ultimi anni si stanno diffondendo tecnologie produttive che richiedono minori quantitativi d'acqua (Alcamo et al., 2000; Shiklomanov, I.A., 1997).

**Navigazione** – Il trasporto fluviale attraverso le acque interne risente pesantemente delle variazioni estreme, sia in eccesso sia in difetto, dei deflussi. In Paesi come l'Italia in cui, secondo previsioni di massima, l'effetto prevalente sembra quello di una riduzione delle portate, ci si attende una ridotta capacità di carico delle imbarcazioni con conseguente aumento di prezzo e diminuzione di quantità delle merci trasportate. Questo settore non ha, però, un grande rilievo per l'economia nazionale (European Commission, 2011b).

E' prevedibile che la navigazione marina risentirà dei cambiamenti del clima a causa del sollevamento del livello medio del mare, che potrà avere impatti negativi sulle strutture portuali, ad es. corrosione di moli, banchine, riduzione dello spazio tra la parte inferiore dei ponti e quella superiore delle imbarcazioni, con aumento della probabilità del verificarsi di incidenti non compensato dall'eventuale impatto positivo prodotto da fondali più profondi che riducono la necessità di dragaggio nelle aree portuali (PIANC, 2008).

**Ricreazione e turismo** – I cambiamenti climatici faranno sentire pesantemente i loro effetti sul turismo dei Paesi che si affacciano sul bacino del Mediterraneo (Navarra & Tubiana, 2013b). Si ritiene che tali paesi, e l'Italia in particolare, possano perdere attrattiva a causa delle temperature troppo alte, della carenza idrica e dell'intensificarsi di eventi estremi come piene e incendi, specialmente durante la stagione estiva. Tali effetti sarebbero ulteriormente aggravati dalla particolare importanza che il settore ricopre per molte economie locali.

Per quanto riguarda in particolare il turismo balneare, gli impatti più rilevanti previsti sono l'erosione delle coste, con il conseguente arretramento delle spiagge, e l'innalzamento del livello del mare, con il pericolo di allagamento di strutture turistiche e ricreative localizzate in aree depresse. I cambiamenti climatici impatteranno anche il settore turistico delle aree montane, dove si prevedono un innalzamento della quota neve e una riduzione della durata della copertura nevosa. Tra gli impatti positivi si segnala il possibile allungamento della durata della stagione turistica estiva (Isoard et al., 2008a).

**Natura (ecosistemi terrestri, acquatici ed ecotoni)** – Oltre a variazioni del regime delle portate, i cambiamenti climatici avranno effetti anche sulla parte biotica degli ecosistemi acquatici.

Per quanto concerne gli ambienti marini, si segnalano possibili variazioni di biodiversità, con migrazione verso nord di specie dal sud del Mediterraneo e ingresso di specie esotiche, e alterazione dei cicli vitali e riproduttivi delle specie di vertebrati e invertebrati marini, con aumento della loro vulnerabilità e dei tassi di estinzione (Navarra e Tubiana, 2013b).

Per quanto riguarda le acque dolci, ci si aspetta che si possano verificare effetti gravi a carico di specie che vivono nei fiumi a regime intermittente ed effimero, che vedranno probabilmente accresciuti i periodi di secca, con un peggioramento delle condizioni di vita delle comunità vegetali e animali (Jolankai e Biro, 2002).

### ***Il sistema socio-economico, istituzionale e questioni relative alla governance***

La DQA si propone di prevenire il deterioramento qualitativo e quantitativo delle risorse idriche, di migliorare lo stato delle acque e di assicurarne un utilizzo sostenibile. Essa costituisce uno dei provvedimenti più ambiziosi e innovativi approvati a livello europeo, in quanto adotta un approccio sistemico e integrato basato su ambiti territoriali individuati dai bacini fluviali e non ambiti dai confini amministrativi. Gli aspetti ecologici, qualitativi e quantitativi, le acque superficiali e quelle sotterranee sono considerati in un quadro unitario nell'ambito del distretto idrografico, il quale, in ragione della propria dimensione territoriale multi-bacino (insieme di più bacini idrografici e/o idrogeologici), consente di integrare gli aspetti ambientali con quelli socio-economici dei "bacini d'utenza". La Direttiva richiede il raggiungimento dello stato qualitativo "buono" per tutti i corpi idrici europei entro il 31 dicembre 2015. Lo strumento centrale per raggiungere tale obiettivo è il Piano di Gestione dei Bacini Idrografici (PGBI)<sup>24</sup>, che è stato recepito

---

<sup>24</sup> Nella locuzione inglese: River Basin Management Plan – RBMP.

nella normativa nazionale dal Decreto Legislativo 152/2006, ed è stato attribuito alle competenze e agli obblighi delle Autorità di Distretto di ciascuno degli 8 distretti idrografici italiani. La DQA non fa esplicito riferimento alla problematica dell'adattamento ai cambiamenti climatici, ma gli strumenti e le modalità di attuazione da essa previsti consentono di affrontare anche questo aspetto.

Gli aspetti economici della Direttiva si basano sui seguenti principi:

1. principio del "chi inquina paga", per disincentivare l'inquinamento e per farne cadere il costo economico sui diretti responsabili;
2. principio dell'efficienza, per cui la gestione idrica deve avvenire secondo un'allocazione ottimale al minimo costo possibile tra tutte quelle che garantiscono il massimo livello di utilità per tutte le forme d'utilizzazione.

Gli strumenti suggeriti sono molteplici; in particolare è raccomandato il recupero dei costi del servizio attraverso un'adeguata tariffazione dell'acqua e internalizzazione delle esternalità<sup>25</sup>. Quest'ultima disposizione richiede la considerazione dei costi esterni al mercato e al sistema dei prezzi indotti su terze parti. Attualmente, in caso di autoapprovvigionamento la tariffa è sostituita dal canone che monetizza il diritto di accesso all'acqua.

Un altro strumento raccomandato è l'analisi "costi-efficacia"; questa deve garantire che le misure in materia di gestione della risorsa idrica siano tali da ottenere il raggiungimento degli obiettivi al minimo costo, considerando gli effetti in termini di utilità sociale, includendo pertanto aspetti distributivi e eventuali azioni compensative per raggiungere un adeguato livello di equità sociale.

La DQA prevede un'integrazione degli aspetti ambientali, sociali e economici all'interno di ogni bacino idrografico, in un'ottica di sostenibilità, e la partecipazione di tutti i gruppi coinvolti ai processi decisionali sulla gestione della risorsa ai vari livelli: dal distretto, ai "bacini d'utenza", ai bacini idrografici. Essa prevede, inoltre, che gli Stati Membri compiano una valutazione della vulnerabilità dello stato dei corpi idrici superficiali alle pressioni cui sono sottoposti, per individuare le migliori metodologie d'intervento. Pertanto, occorre dapprima identificare gli aspetti idrologici relativi al rilascio del deflusso minimo vitale e in seguito considerare le infrastrutture, le opere idrauliche e gli interventi dell'uomo che abbiano modificato l'assetto idrogeologico del territorio.

Nonostante i cambiamenti climatici non siano esplicitamente considerati, è possibile e auspicabile che nei piani di gestione siano introdotti appropriati strumenti di adattamento. A questo riguardo, sono esempi di opzioni adottabili: la realizzazione di sistemi di irrigazione eco-compatibili e

---

<sup>25</sup> L'internalizzazione dei costi legati alle esternalità è uno degli obiettivi più comuni delle politiche ambientali. In pratica si tratta di fare in modo che le attività economiche non scarichino su altri dei costi legati alle loro attività (esternalità negative), ma piuttosto che attraverso dei meccanismi come tasse, disincentivi, tariffe, tali costi siano riportati a chi li genera (internalizzati). E' questo il caso di tariffe che includano ad esempio i costi relativi alla depurazione necessaria a valle dell'utilizzo della risorsa.

l'introduzione di normative per la riduzione dei consumi. La selezione della combinazione migliore delle misure da adottare dal punto di vista dell'efficacia e dei costi dipende anche dallo sviluppo e dagli orientamenti della politica ambientale e da quella sui cambiamenti climatici.

Il Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee (Blueprint to safeguard Europe's water resources; European Commission, 2012), presentato dalla Commissione Europea a fine 2012, propone una revisione della strategia per la carenza idrica, la siccità e la vulnerabilità delle risorse idriche ai cambiamenti climatici e alle pressioni antropiche.

Elemento chiave delle politiche di adattamento, riconosciuto a livello internazionale e anche europeo, è costituito dalla strategia cosiddetta del "mainstreaming", che consiste nell'introdurre le misure di adattamento ai cambiamenti climatici in modo coerente nelle politiche settoriali pertinenti già esistenti. Le misure sono poi validate e riviste con la procedura denominata "climate proofing", che consiste nel verificare che esse non causino effetti indotti e collaterali negativi in termini di adattamento. Un problema generale nell'analisi delle misure di adattamento nel settore idrico consiste nella loro effettiva identificazione e distinzione da quelle non specifiche. Si evidenzia che la logica stessa del mainstreaming possa facilmente provocare una confusione di fondo in quanto quasi ogni misura di gestione delle risorse idriche può avere un potenziale più o meno marcato di adattamento, ma solo alcune possono essere definite e adottate per affrontare proprio gli effetti specifici o incrementali dovuti ai cambiamenti climatici attesi. Un approccio che consideri il climate proofing delle politiche e delle misure dovrà comunque garantire di evitare tutti i possibili casi di interventi di gestione delle acque che possano generare effetti non desiderati ovvero di "cattivo adattamento" (maladaptation).

### ***Individuazione delle vulnerabilità settoriali e valutazione dei rischi***

Un modello concettuale per l'individuazione delle vulnerabilità dei socio-ecosistemi può essere ricavato dal Libro Verde della Commissione Europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa (Commissione Europea, 2007) ed è riportato in Figura 2.4. Esso mostra come la vulnerabilità sia la risultante dell'interazione di due componenti principali: gli impatti potenziali dei cambiamenti climatici e la capacità adattativa del sistema socio-economico interessato. Nonostante la letteratura sia ricca di definizioni talvolta contrastanti, si può affermare che le misure di adattamento riguardanti le risorse idriche sono mirate a ridurre la vulnerabilità e/o la sensibilità (del sistema socio-economico), o l'esposizione (di quello idrologico) e/o incrementarne la capacità d'adattamento, come evidenziato dalla Figura 2.4.

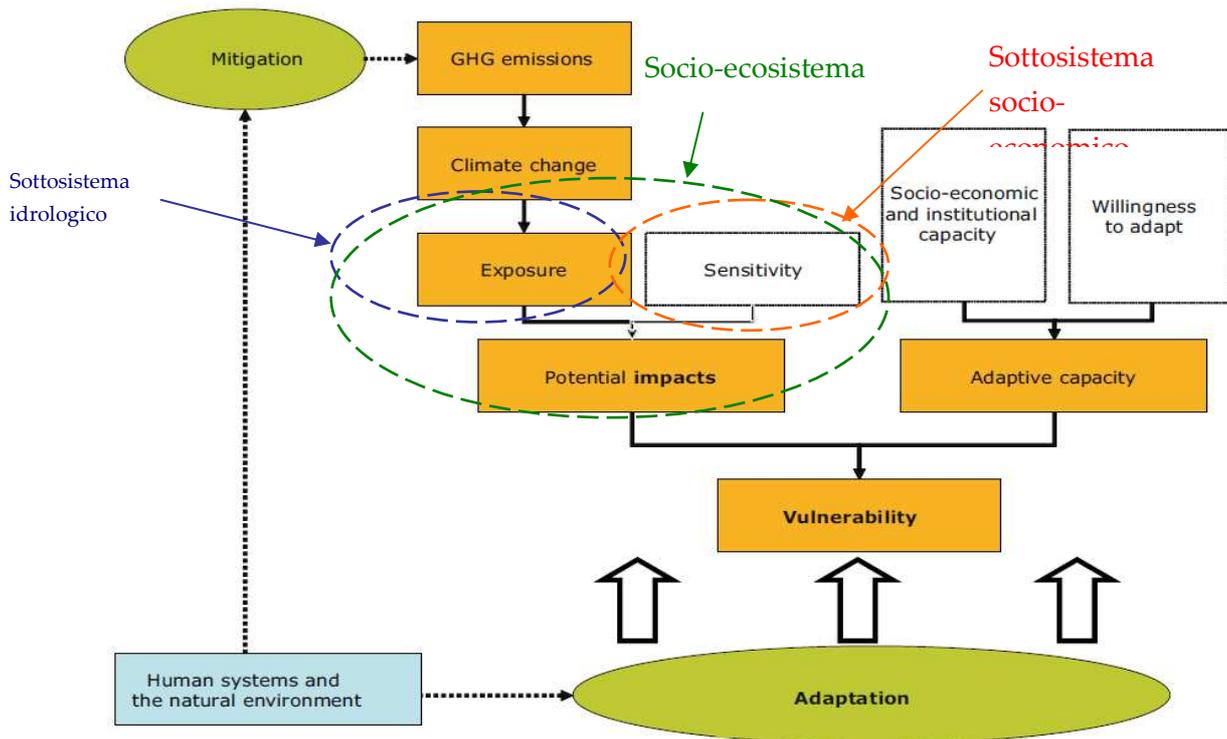


Figura 2.4: Modello concettuale per inserire l'adattamento ai cambiamenti climatici nell'ambito delle politiche climatiche e di riduzione della vulnerabilità dei sistemi sociali e ambientali (Fonte: Isoard et al., 2008b).

La relazione fra vulnerabilità e rischio è controversa nei diversi filoni della letteratura scientifica, ma è evidente che esiste una stretta relazione fra i due concetti. Nell'ambito degli studi climatici si adotta spesso lo schema riportato in Figura 2.4, nel quale il termine "rischio" non è menzionato, mentre in quelli riguardanti lo studio dei disastri naturali, il rischio è l'elemento centrale ed è determinato come il prodotto fra la specifica fonte di pericolo, caratterizzato per tipologia ed intensità degli eventi, l'esposizione, riferita in questo caso all'entità degli elementi esposti, e la vulnerabilità del sistema, intesa come caratteristica intrinseca dello stesso di subire gli effetti di tali eventi, sia in termini sociali, sia naturali.

In estrema sintesi, le questioni concernenti la vulnerabilità e alle conseguenti necessità di adattamento per il settore delle risorse idriche possono essere affrontate in tre diversi contesti, legati ai possibili effetti di tali cambiamenti in termini di estremizzazione di problematiche già considerate tradizionalmente dalle politiche idriche:

- problemi di limitatezza quantitativa o qualitativa delle risorse che si esprimono con modalità diverse in modo diretto, come risultante delle interazioni fra le attività antropiche e in particolare l'incremento della frequenza e/o della gravità degli eventi siccitosi, con conseguenti fenomeni di scarsità e l'insorgenza di condizioni di aridità;

- come sopra ma a seguito di effetti indiretti, come la contaminazione degli acquiferi costieri legata a innalzamenti del livello medio marino, o a usi antropici irresponsabili che superano il livello di massimo prelievo sostenibile;
- problemi opposti di eccessi (es. eventi piovosi estremi) che possono aumentare in futuro e determinare sostanziali variazioni del livello di rischio idrogeologico.

Questo capitolo si focalizza sulle esigenze di adattamento legate alla prima e in parte alla seconda delle tre tipologie di vulnerabilità e rischio elencate qui sopra, mentre la terza è trattata nel capitolo sul dissesto idrogeologico presente in questo stesso rapporto tecnico.

Innanzitutto va fatta una distinzione fra le condizioni che assumono caratteri di cronicità e la gestione delle situazioni temporanee di crisi, come i fenomeni siccitosi.

Condizioni di cronica limitatezza delle risorse idriche sono comunemente definite come “aridità” e determinano consistenti limitazioni allo sviluppo economico e al benessere sociale, nonché alla qualità ambientale di un territorio e, a sua volta, ai servizi che gli ecosistemi insediati possono offrire alla società.

Le attività antropiche che insistono in tali aree sono (o dovrebbero essere) adattate a un livello di domanda idrica basso, ad esempio praticando colture poco idroesigenti o concentrate nella sola stagione piovosa, impiegando tecniche per incrementare la raccolta d’acqua, accrescere l’infiltrazione e la ricarica delle falde, favorire il riuso, e ridurre in genere il consumo idrico. In tal senso un elemento di ottimismo per il caso italiano in termini di adattamento ai cambiamenti climatici viene dalla consolidata cultura della gestione delle risorse in condizioni di scarsità maturata in diverse regioni italiane sia settentrionali sia meridionali.

In passato le soluzioni erano prevalentemente rappresentate da interventi sulle infrastrutture, le cosiddette misure “grigie”, basate su soluzioni ingegneristiche, come la costruzione di grandi opere per lo stoccaggio o il trasferimento a grande distanza di ingenti volumi idrici, ed erano finalizzate all’ampliamento dell’offerta. Da alcuni anni l’attenzione si è spostata sul contenimento della domanda e a tal fine si suggerisce un approccio integrato che combini diverse tipologie: oltre a quello “grigio”, appena citato, quello “verde” basato sulla valorizzazione dei servizi ecosistemici e quello “soft” basato su investimenti sul comportamento degli attori (ad es. attività di informazione e soprattutto di gestione della risorsa finalizzata al risparmio idrico). Le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici presuppongono, inoltre, di considerare soluzioni alle diverse scale d’intervento, integrando misure specifiche, per sito e per situazione, nel contesto più ampio della gestione del sistema formato dall’ambiente naturale e dagli schemi di approvvigionamento e fornitura dell’acqua, nel rispetto delle consuetudini sociali e culturali e della sostenibilità dello sviluppo economico. In questa direzione gli interventi che favoriscono la massima connettività tra schemi isolati, rappresentano una sinergia delle tre tipologie di approccio sopra definite.

I fenomeni siccitosi sono, invece, eventi che hanno origine dalla variabilità climatica e che, come per i deflussi eccezionali, possono essere caratterizzati in termini di probabilità e tempi di ritorno.

In tal senso si definiscono diverse tipologie di siccità e in particolare quelle di origine meteorologica e idrologica (Yevjevich et al., 1983). Rispetto a questi fenomeni si possono definire misure d'intervento adottando un approccio proattivo, ossia che cerca di prevenire i fenomeni di degrado intervenendo attraverso misure specifiche, o uno reattivo, ossia che attua misure di contrasto quando i fenomeni di degrado sono già manifesti (Rossi, 2000; Rossi et al., 2007). Il primo dovrebbe essere preferito al secondo. In particolare, nelle regioni caratterizzate da elevati tassi di sfruttamento delle risorse (come le aree costiere del Mediterraneo), le misure basate sull'approccio proattivo si articolano nella predisposizione di sistemi di allerta in grado di anticipare quanto più possibile l'evoluzione dei fenomeni alla scala pertinente la gestione, nell'attuazione tempestiva di misure di limitazione della domanda (soprattutto nel comparto irriguo) e nella pianificazione e gestione integrata delle risorse superficiali (tipicamente a rapido rinnovamento) e sotterranee.

## **Verso l'individuazione e l'analisi delle misure di adattamento**

Il mainstreaming delle misure di adattamento in campo idrico trova evidentemente la sua cornice nella DQA che costituisce il quadro di riferimento europeo e conseguentemente nazionale in termini di politica idrica. Sebbene i cambiamenti climatici non fossero stati esplicitamente previsti al momento della stesura della DQA, nell'ambito delle azioni previste dal Libro Bianco sull'adattamento ai cambiamenti climatici (Commissione delle Comunità Europee, 2009), è stato adottato nel dicembre 2009 un documento di orientamento in materia di adattamento ai cambiamenti climatici nella gestione delle acque per garantire che i piani di gestione siano climate proof (European Commission, 2009). Agli Stati Membri è chiesto, in particolare, di monitorare i cambiamenti climatici e, soprattutto, di verificare se le misure contenute nei PGBI siano abbastanza robuste da far fronte agli impatti conseguenti (Figura 3.4).

In effetti, già molti dei PGBI comprendono considerazioni sull'adattamento e il climate proofing. Le caselle di approfondimento che seguono riportano alcuni casi di interesse generale nel campo dell'innovazione per la gestione della risorsa idrica, considerazione tenendo conto delle necessità di adattamento ai cambiamenti climatici nella realtà italiana.

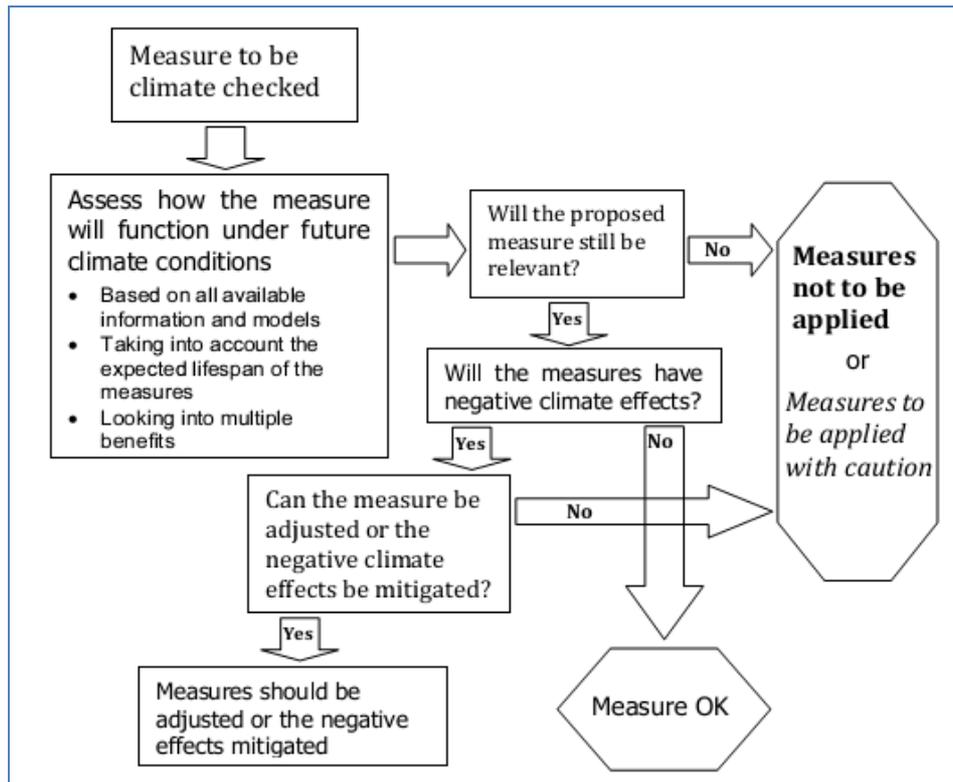


Figura 3.4: Verifica della robustezza delle misure dei piani di gestione nei confronti dei cambiamenti climatici: climate proofing (Fonte: European Commission, 2009).

### **I cambiamenti climatici nel Piano di Gestione del Distretto dell'Appennino Centrale**

Il Piano di Gestione del Distretto dell'Appennino Centrale (Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 2010) considera il rischio connesso ai cambiamenti climatici fra le macro-pressioni alla scala di distretto e individua i possibili macro-impatti su alcune parti del distretto stesso.

L'analisi del rischio climatico si basa su due studi: uno condotto per il bacino del Tevere dal CNR-IRSA (Preziosi et al. 2010, Romano & Preziosi 2012), l'altro condotto dal Servizio Idrografico e Mareografico di Pescara della Regione Abruzzo, per i bacini abruzzesi. Gli studi riguardano le serie storiche delle principali grandezze idrologiche, trattate in termini di indici standardizzati (CNR-IRSA) o in termini di valori assoluti (Servizio Idrografico della Regione Abruzzo). Tali analisi, anche se condotte indipendentemente e con metodi di studio differenti e su diverse serie storiche, convergono nel rilevare una marcata perdita della risorsa idrica potenziale nel bilancio globale del Distretto negli ultimi decenni.

Nel Piano di Gestione viene inoltre analizzata la vulnerabilità dei grandi sistemi di approvvigionamento idrico del bacino del Tevere alla scarsità della risorsa idrica, utilizzando un modello di bilancio idrico (DICA-UNIPG) conforme alle specifiche del DM del 28 luglio 2004 (GU n. 268 del 15-11-2004), con l'obiettivo di individuare le utenze maggiormente soggette a insufficienza e confrontare l'evoluzione del deficit nel bacino in differenti scenari climatici e per diverse ipotesi gestionali. Lo studio prende in considerazione dati disponibili nel cinquantennio 1952-2007, mentre gli scenari simulati hanno dimostrato la vulnerabilità dell'attuale sistema idrico in situazione di riduzione degli afflussi e quindi della disponibilità idrica per i diversi scenari climatici, nell'ipotesi di una distribuzione della domanda analoga a quella attuale (previsioni al 2015). Viene infine valutata l'efficacia di misure strutturali (aumento della capacità di regolazione del sistema idrico) per la riduzione della vulnerabilità in condizioni climatiche differenti.

Considerata la rilevanza dell'uso irriguo della risorsa idrica, il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MiPAAF), avvalendosi della collaborazione e della competenza di esperti, ha avviato un'analisi per l'individuazione degli elementi utili che, opportunamente scelti, gestiti e correlati in funzione delle diversità climatiche, possono essere integrati nella strategia più idonea alla realtà locale. Obiettivo del settore agricolo in tale ambito è incrementare la resilienza e investire maggiormente in un'economia a basse emissioni di carbonio tramite lo sviluppo delle energie rinnovabili e della diffusione di prodotti ecologici che, per gli attori del settore, rappresenta un'opportunità da cogliere nell'ambito dello sviluppo sostenibile. Per conseguire gli obiettivi prefissati, il lavoro (MiPAAF, 2011) descrive il quadro politico internazionale in cui l'Italia si trova ad agire e analizza la situazione nazionale dal punto di vista climatico, agricolo, zootecnico, forestale, energetico, del green marketing e degli strumenti economici e politici al fine di estrapolare gli elementi strategici per ogni singolo settore che siano coerenti e complementari tra loro. Unitamente alle strategie politiche, il documento focalizza l'attenzione anche sulle strategie economiche per gli interventi strutturali necessari soprattutto per le azioni di adattamento.

E' quindi importante che le proiezioni climatiche a lungo termine siano integrate nella pianificazione delle misure e delle azioni. L'uso di adeguati modelli e strumenti operativi in grado di sviluppare un'analisi integrata di azioni e misure è, a questo riguardo, particolarmente utile,

come dimostrano le esperienze realizzate con il “Sistema di Supporto per l’Agricoltura Irrigua (Decision Support for IRRigated Agriculture - DSIRR) sviluppato dal CNR-IBIMET (Bazzani, 2005).

Sono da individuare misure specifiche di adattamento ai cambiamenti climatici del territorio urbanizzato, a seguito del rischio di allagamento delle aree impermeabilizzate e a seguito del formarsi delle isole di calore; pertanto la creazione di zone non impermeabilizzate, quali parcheggi non asfaltati e aree di riforestazione urbana, rappresenta un rimedio adeguato (Emonfur, 2013).

L’approccio graduale e ciclico della pianificazione prevista dalla DQA permette la gestione adattativa agli impatti dei cambiamenti climatici. Questo processo permette, infatti, di rivedere i piani e verificare la bontà delle misure adottate, in modo da introdurre le correzioni richieste al conseguimento degli obiettivi in relazione all’evoluzione dei sistemi antropici e naturali.

**Un esperimento di ricarica artificiale degli acquiferi nel Veneto per contrastarne il depauperamento alla luce dei cambiamenti climatici in corso: il Progetto TRUST (Life+)**

Come conseguenza dell’abbassamento dei livelli delle falde, nella fascia delle risorgive, sono scomparse moltissime zone umide nell’alta pianura veneto-friulana. Altri fenomeni osservati, come la depressurizzazione degli acquiferi, contribuiscono alla subsidenza e all’intrusione salina nelle falde lungo i litorali. Fra gli scopi del progetto TRUST c’era lo sviluppo di strategie di gestione della risorsa idrica finalizzata alla tutela quali-quantitativa della falda acquifera in considerazione anche dei cambiamenti climatici attesi, favorendone l’incremento mediante tecniche di ricarica artificiale, chiamate anche “water banking”.

In questo contesto, il Consorzio di bonifica Pedemontano Brenta ha avviato una sperimentazione per la ricarica della falda applicando un metodo innovativo, denominato “area forestale d’infiltrazione” o “campo d’acqua”.

In diverse aree sperimentali è stata realizzata una sistemazione idraulico-agraria con una serie di affossature, alternate a vegetazione forestale, nelle quali sono immessi notevoli volumi di acqua nelle stagioni di abbondanza, favorendone così l’infiltrazione nel sottosuolo. Gli alberi (specie forestali a ciclo breve) sono invece destinati alla produzione di biomassa, utile per un impiego energetico da fonte rinnovabile, con un interessante recupero dei costi.

I risultati della sperimentazione hanno permesso la progettazione su ampia scala di sistemi d’irrigazione a pioggia in sostituzione di quelli a scorrimento per risparmiare acqua in estate, con linee distributrici che possono essere utilizzate per ricaricare artificialmente le falde, da settembre a maggio, abbinando in questo modo due funzioni fondamentali per una più efficiente fruizione delle risorse disponibili nel corso dell’anno.

## ***Una proposta operativa per il supporto alle decisioni***

L'individuazione delle misure per la gestione delle risorse idriche nell'ottica dell'adattamento ai cambiamenti climatici può essere attuata attraverso una procedura basata su una serie di passi successivi, come di seguito elencata:

1. identificare il contesto istituzionale e normativo e le competenze specifiche, per garantire un efficiente mainstreaming delle misure;
2. definire un elenco di strategie di riferimento costituite da misure indirizzate a specifici insiemi di obiettivi e fenomeni;
3. integrare gli studi sulla vulnerabilità del territorio in senso fisico con un concetto di vulnerabilità che comprenda anche la sfera sociale ed economica;
4. effettuare un downscaling a scala locale degli scenari e integrarne gli effetti in termini di variazione di pressione;
5. integrare gli studi sulla vulnerabilità con gli scenari esistenti sui possibili impatti dei cambiamenti climatici nelle diverse regioni del Paese;
6. caratterizzare le misure in termini di costi ed efficacia;
7. analizzare le possibili combinazioni di misure che garantiscano i maggiori effetti sinergici e il miglior rapporto complessivo costi-efficacia;
8. realizzare le misure proposte in modo progressivo per permettere un approccio adattativo considerando opzioni alternative, verificandone i risultati e migliorandone via via l'efficacia.

Coerentemente con quanto propone la DQA, è possibile prospettare una valutazione del rapporto costi-efficacia delle misure: questo richiede che tutti i costi siano quantificati in termini monetari, mentre l'efficacia sia valutata rispetto a un insieme di indicatori significativi nelle diverse situazioni d'intervento.

Operativamente si possono sfruttare i risultati del progetto ClimWatAdapt<sup>26</sup>, finanziato dalla Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea, che ha recentemente sviluppato sia un catalogo delle misure in campo idrico, sia uno schema valutativo e uno strumento operativo basato sull'analisi multi-criteri, utilizzabile via Web anche nel contesto italiano. Il progetto prevede di considerare oltre all'efficienza economica in termini di costi (investimento, gestione, transazione, ecc.) e l'efficacia (intesa come contributo alla riduzione della vulnerabilità), i potenziali effetti indiretti (positivi o negativi), l'ambito decisionale (requisiti istituzionali, fattibilità possibilità di sinergie) e le diverse fonti di incertezza.

---

<sup>26</sup> <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>.

### **Adattamento ai cambiamenti climatici nella gestione dell'acqua per l'irrigazione: un ruolo importante può essere giocato dal Web (il Progetto ICARUS)**

Varie ricerche mostrano che l'agricoltura mediterranea potrebbe in futuro trovarsi a dover fronteggiare minori precipitazioni e temperature più elevate, con conseguenti riduzioni della disponibilità idrica e prevedibili problemi di scarsità, che richiedono strategie di adattamento dei sistemi produttivi e una rivalutazione del ruolo dell'irrigazione che contempra le aumentate necessità di risparmio idrico (Navarra e Tubiana, 2003a e b).

Nell'ambito del progetto europeo ICARUS <http://www.cmcc.it/research/research-projects/icarus-1/icarus> (finanziato in Italia dall'ISPRA), il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), in collaborazione con il Dipartimento di Economia dell'Università Ca' Foscari di Venezia e l'ARPA Veneto, dopo una prima inchiesta nel 2011 sulle percezioni degli imprenditori agricoli Veneti sui cambiamenti sociali, climatici, economici e ambientali in corso, ha sviluppato una nuova piattaforma on-line per coinvolgere imprenditori agricoli e Consorzi di Bonifica e Irrigazione in un'analisi di cinque possibili strategie, che si potrebbero considerare per l'adattamento del sistema agricolo regionale, applicabile ad altrettanti scenari in cui il risparmio idrico diventi sempre più necessario. Gli scenari individuati sono i seguenti: A. utilizzo di invasi e cave dismesse per la laminazione delle piene e per la costituzione di riserve idriche; B. riorganizzazione degli ordinamenti colturali con la scelta di colture meno idroesigenti; C. riorganizzazione irrigua con adozione di metodi a elevata efficienza (pluvirrigazione, microirrigazione); D. potenziamento dei servizi informativi esistenti per gli imprenditori agricoli (bollettino AgroMeteo, Irriframe, ecc.); E. nuovi servizi informativi climatici e, in particolare, previsioni stagionali per supportare le scelte colturali su base annuale.

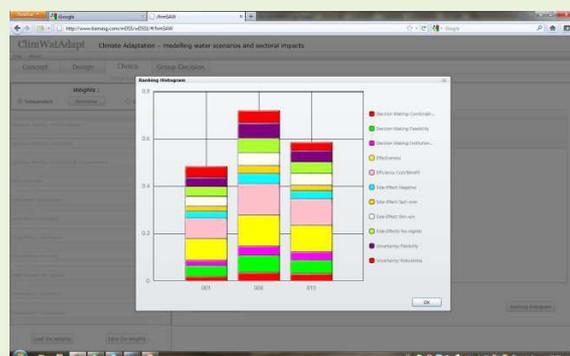
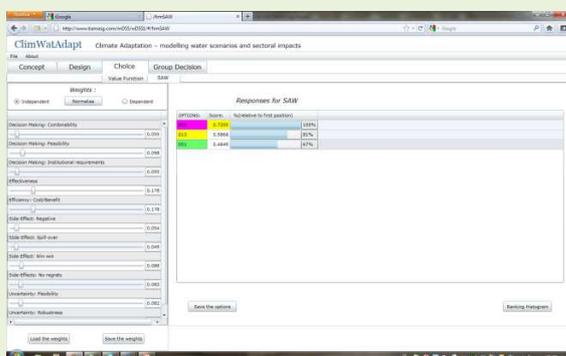
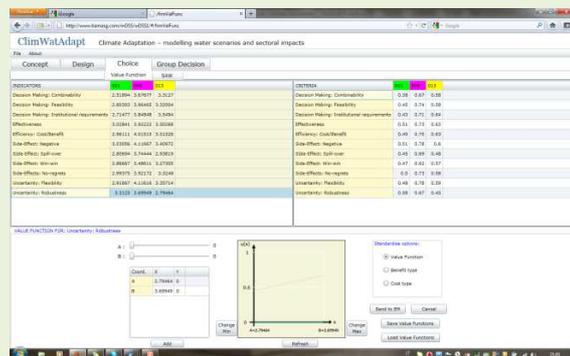
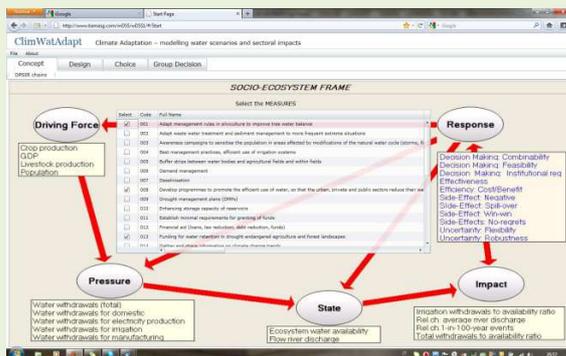
Per la valutazione è stato sviluppato uno strumento di supporto alle decisioni, una piattaforma on-line che applica metodi multi-criteri, per ottenere una classifica delle strategie basata sulle preferenze di ogni singolo utente e su un ordinamento complessivo. Il link allo strumento è stato distribuito attraverso il Bollettino AgroMeteo Informa (ARPAV) e il Bollettino Colture Erbacee (Veneto Agricoltura). Nei due round di interazioni via Web, si sono stabiliti contatti con centinaia di imprenditori agricoli ed è stato possibile sperimentare come internet possa diventare un veicolo fondamentale per gestire in modo efficiente e trasparente la partecipazione dei portatori d'interessi nello sviluppo di strategie e piani di adattamento a livello locale. I sondaggi hanno inoltre evidenziato le idee degli agricoltori riguardo alle potenzialità attese dall'applicazione delle diverse strategie, per contribuire a identificare delle priorità in base alle aspettative di efficacia.

La seguente casella di approfondimento riporta alcune immagini che presentano l'approccio proposto dal progetto e una serie di immagini esplicative.

## Progetto ClimWatAdapt per la catalogazione e la valutazione partecipata delle misure di adattamento nella gestione delle risorse idriche.

Il progetto ClimWatAdapt ha sviluppato un catalogo delle misure di adattamento per la gestione delle risorse idriche, valutato dagli stakeholder europei (in occasione di un workshop sull'adattamento tenutosi a Budapest nel marzo 2011). Il progetto ha inoltre proposto uno schema generale di valutazione e uno strumento operativo basato sull'analisi multi-criteri applicata a un sistema gerarchico di indicatori e criteri di valutazione validi a prescindere dal contesto esaminato.

Lo strumento di valutazione multi-criteri basato su un Web server accessibile a chiunque, è mostrato nelle immagini che seguono: la prima mostra la pagina iniziale nella quale chi si collega al sito può fare una selezione delle misure di interesse, selezionandole dal catalogo complessivo precedentemente caricato; la seconda mostra la pagina nella quale l'utente definisce i pesi che meglio esprimono la sua attitudine alla valutazione e le sue preferenze, costruendo semplici funzioni di costo o beneficio (se l'indicatore esprime significati rispettivamente negativi o positivi al crescere del valore), o eventualmente più complesse per esprimere, ad esempio, situazioni nelle quali esiste una soglia di accettabilità o intervalli ottimi (ad es. funzione trapezoidale). Nella terza immagine l'utente vede il risultato dell'applicazione del vettore dei pesi al sottoinsieme delle misure di interesse (ad esempio quelle di maggiore potenzialità a livello locale) e, infine, nella quarta il DSS propone i risultati dell'ordinamento delle misure considerate, mostrando in un grafico a istogramma come i diversi indicatori di performance contribuiscono ai risultati complessivi dopo la pesatura e l'aggregazione.



Il Progetto ClimWatAdapt ha condotto anche un'analisi sistematica delle possibili opzioni di adattamento e delle misure già attuate nel campo delle risorse idriche a livello europeo. Le varie misure sono state catalogate in base a differenti criteri. Innanzitutto è stata attuata una distinzione fra approcci basati su infrastrutture "grigie" (principalmente di tipo costruttivo-ingegneristico), o "verdi" (indirizzate a incrementare la resilienza), e approcci di tipo non-strutturale "soft" (basati su strumenti e procedure di policy e pianificazione).

## Collegamento con altri settori

Le risorse idriche, nella loro accezione più generale, rappresentano sia un comparto ambientale sia un settore economico, ma in definitiva sono l'unione delle manifestazioni più apparenti del ciclo biogeochimico-antropico dell'acqua (secondo le definizioni del DM del 28 luglio 2004 la risorsa idrica potenziale è la massima risorsa idrica che può essere messa a disposizione anche con tecniche, procedimenti e mezzi artificiali).

Come tali esse permeano (è proprio il termine più idoneo) ogni forma di vita, comparto ambientale e attività economica. L'acqua, infatti, interagisce con i sistemi sociali e ambientali in numerosi modi; basti citare il settore agricolo, come principale utilizzatore delle risorse d'acqua dolce o quello energetico, per le ovvie connessioni, ad esempio, con la produzione idroelettrica.

Vale la pena di evidenziare che da un lato le politiche idriche possono rappresentare una naturale strada maestra per il mainstreaming dell'adattamento e, dall'altro, come qualsiasi iniziativa di adattamento, dovrà essere preventivamente validata per le sue ripercussioni sul comparto delle risorse idriche.

## Conclusioni

Questo capitolo ha fornito lo stato dell'arte riguardo alla tematica dell'adattamento ai cambiamenti climatici del settore delle risorse idriche nel territorio italiano. Per dare sinteticamente il senso del lavoro effettuato e dei suoi risultati, in sede di conclusione è utile riprendere quanto riferito da T. Willbanks, responsabile del gruppo sull'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici dell'U.S. National Research Council, che, consegnando a fine 2010 al Congresso degli Stati Uniti uno studio sull'adattamento, ha affermato: *"la pianificazione per l'adattamento è ancora nella sua infanzia, perciò si ritiene indispensabile progredire rapidamente per evitare futuri impatti imprevedibili"* (National Research Council, 2010). Va comunque rilevato il fatto che nel campo dell'adattamento si stiano concentrando moltissimi sforzi anche e in particolare in ambito europeo fa sì che il quadro di riferimento delle conoscenze sia in costante e rapida evoluzione. Va menzionato a questo proposito lo sviluppo della piattaforma europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici (Climate-ADAPT<sup>27</sup>), nel cui ambito si sta costruendo una base di conoscenze concernenti gli studi

---

<sup>27</sup> <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>.

effettuati, le possibili misure, i casi concreti di applicazione e dove si propone anche un Adaptation Support Tool (AST<sup>28</sup>), ossia uno strumento applicativo di supporto alle decisioni per assistere gli utenti coinvolti nello sviluppo delle politiche di adattamento ai cambiamenti climatici.

A causa delle complesse interazioni tra i cambiamenti climatici e i fattori non direttamente dipendenti dal clima, come la demografia, l'economia, l'uso del suolo e il progresso tecnologico, la valutazione degli impatti può essere affetta da notevole incertezza. Pertanto, le strategie e le misure di adattamento non potranno che ispirarsi in generale al principio precauzionale, garantendo nei limiti delle conoscenze disponibili di escludere i rischi di "cattivo adattamento" e effetti collaterali negativi con accurate procedure di climate proofing (Commissione Europea, 2007), ossia di verifica dell'assenza di interazioni negative con l'adattamento o la mitigazione per qualsiasi decisione che possa essere di rilievo per esse.

Generalmente, il livello di solidità delle conoscenze scientifiche e delle capacità di proiezione dei cambiamenti climatici aumenta con l'aumentare della scala spaziale: i fenomeni macroscopici sono conosciuti con maggiore accuratezza di quelli a scala ridotta, che però è generalmente la scala di maggiore interesse per le attività decisionali. Pertanto, è necessario che tutti gli sforzi siano indirizzati verso la produzione di informazioni utili ai decisori a una scala di sempre maggiore dettaglio per la comprensione dei rischi e delle vulnerabilità associate ai cambiamenti del clima, fornendo le basi per soluzioni specifiche del sito e/o della situazione, evitando nello stesso tempo che informazioni imprecise o inadeguate possano determinare effetti indesiderati sia nella qualità delle decisioni da prendere, sia nell'affidabilità complessiva della scienza che studia i cambiamenti climatici.

L'analisi della letteratura esistente evidenzia la scarsa rilevanza che l'adattamento ai cambiamenti climatici ha avuto sino ad ora: la ricerca è stata poco sviluppata e le valutazioni su vantaggi, limiti e costi potenziali sono modeste; tuttavia, nello specifico delle risorse idriche, esiste non solo una vastissima letteratura e un'adeguata dotazione di mezzi applicativi per l'implementazione dei principi della gestione integrata delle risorse idriche<sup>29</sup>, ma anche una continua attività di realizzazione di interventi che deve solamente essere resa a prova di cambiamenti climatici.

Gli studi e le esperienze finora condotte evidenziano quanto segue.

1. I problemi dell'Italia in termini di gestione delle risorse idriche attuale e futura non stanno tanto nella disponibilità complessiva della quantità d'acqua, ma piuttosto nella sua **disomogenea disponibilità** nel tempo e nello spazio e nelle lacune di **efficienza gestionale**.
2. Serve ancora molto lavoro per raggiungere un adeguato livello di dettaglio delle conoscenze alla scala locale, ma occorre anche ricordare che qualsiasi sforzo di downscaling, che la scienza dei cambiamenti climatici abbia reso disponibile negli ultimi decenni, comporta comunque un

---

<sup>28</sup> <http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/adaptation-support-tool/step-1>.

<sup>29</sup> Nella locuzione inglese: Integrated Water Resources Management – IWRM.

grado d'**incertezza** elevato che deriva da un'**oggettiva limitatezza delle conoscenze** e in particolare dalla capacità dei modelli idrologici di simulare gli aspetti di maggiore interesse per le risorse idriche: variabilità climatica e eventi estremi.

3. Una speciale attenzione deve quindi essere rivolta al miglioramento delle conoscenze e alle proiezioni sulla **variabilità dei fenomeni** (in particolare delle precipitazioni) e alla probabilità del verificarsi di **eventi estremi** (siccità e alluvioni) con sufficiente livello di dettaglio spaziale e temporale. La presenza e il funzionamento di adeguate reti di monitoraggio quali-quantitativo gestite dagli Enti preposti presenti sul territorio nazionale svolge a questo proposito un ruolo essenziale.
4. L'Italia, come tutti i paesi mediterranei, ha dovuto affrontare problemi legati alla scarsità delle risorse idriche per secoli e quindi possiede una **cultura** diffusa e una serie di **strumenti** che la rendono relativamente pronta ad affrontare la sfida imposta dai cambiamenti attesi per il prossimo futuro, anche se tutto ciò deve confrontarsi quotidianamente con croniche **carenze** infrastrutturali e gestionali, e con la **frammentarietà dei processi** di trasferimento scientifico e tecnologico e di presa delle decisioni.
5. L'adattamento anche in campo idrico richiede **nuovi paradigmi di gestione** che integrino quelli consolidati nel settore (mainstreaming), inserendo la considerazione di una serie di possibili **scenari climatici** e **socioeconomici** futuri, valutando gli impatti indotti termini con un'analisi multi-criteri.
6. La **valutazione della sostenibilità** nelle sue componenti socio-economiche, ambientali e istituzionali deve sempre più rappresentare la cornice valutativa imprescindibile di ogni pratica pianificatoria e gestionale. Solo valutando correttamente ogni decisione rispetto alla sua sostenibilità si possono ridurre rischi di cattivo adattamento e di inefficienza della spesa pubblica e garantire risultati coerenti con gli obiettivi assunti.
7. L'adattamento è un processo che richiede decisioni e azioni concertate tra diversi decisori politici presenti a vari livelli istituzionali, il settore privato, organizzazioni non governative e gruppi portatori d'interessi differenti e spesso contrapposti. Pertanto, solo un **approccio partecipativo trasparente e scientificamente fondato** può offrire adeguate potenzialità di successo.
8. Gli sforzi per l'individuazione di strategie e misure di adattamento sono ostacolati dalla carenza di informazioni appropriate sui vantaggi, i costi e l'efficacia delle varie opzioni da considerare, dalle incertezze sugli impatti climatici a scala opportuna per il processo decisionale, e da un'assenza di coordinamento. Esistono tuttavia appositi strumenti, metodologie e tecniche che possono consentire un'adeguata **integrazione** e un'efficiente gestione dei processi decisionali tramite **modelli e mezzi di supporto** dedicati che finora hanno trovato applicazione principalmente in ambito di ricerca.

9. L'identificazione delle misure di adattamento deve essere fatta di volta in volta sulla base delle condizioni locali, ma può giovare di **repertori** consolidati delle possibili misure.
10. Le condizioni necessarie per un approccio efficiente all'adattamento in campo idrico comprendono una **pianificazione** e una **programmazione** basate su un'"**integrazione** delle azioni attenta alle specifiche problematiche dei territori, con una visione intersettoriale. La tradizionale pianificazione "deterministica", che non considera l'incertezza relativa agli scenari futuri, deve essere sostituita da una **programmazione "adattativa"**, basata su approcci flessibili, adeguabili all'evolversi delle conoscenze e delle situazioni contestuali, presupponendo però anche una certezza dei flussi finanziari secondo le tempistiche delle misure e il loro adattamento.
11. Un'attenzione particolare deve essere prestata al **settore agricolo**, per il quale la risorsa idrica ha un ruolo strategico poiché garantisce la stabilità e la qualità delle produzioni che sono alla base di importanti filiere agro-industriali, garantite da marchi di eccellenza, e che forniscono importanti contributi in termini di occupazione, di valore aggiunto e di saldo della bilancia commerciale. Le importanti realtà irrigue esistenti nel Paese vanno adeguatamente potenziate, sviluppate e rese più efficienti puntando sull'**innovazione** e adottando un approccio integrato che abbia nella prevenzione il suo punto di forza, superando la gestione emergenziale che ha caratterizzato il recente passato.

## Bibliografia

- Alcamo, J., Henrichs, T., Rösch, T. (2000). World Water in 2025 - Global Modeling and Scenario Analysis for the 21st Century. Kassel World Water Series. Report A0002. Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Kassel, Germany.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E., Shvidenko, A. (2007). Europe. In: IPCC (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E., eds.), 541-580. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ambrosetti, W., Barbanti, L. (1999). Deep water warming in lakes: an indicator of climatic change. *Journal of Limnology* 58, 1-9. PAGEPress, Pavia, Italy.
- Ambrosetti, W., Barbanti, L. (2002). Physical limnology of Italian lakes. 1. Relationship between morphometry and heat content. *Journal of Limnology*, 61, 147-157. PAGEPress, Pavia, Italy.
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Bernhardt, G. (1993). A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 142:47-69. Elsevier Science Publisher BV, Amsterdam (The Netherlands).
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere (2010). Piano Di Gestione Del Distretto dell'Appennino Centrale. Autorità di Bacino del Fiume Tevere, Roma, Italia. Disponibile su: <http://www.abtevere.it/node/511>.
- Balbi, S., Bhandari, S., Gain, A.K., Giupponi, C. (2013). Multi-agent agro-economic simulation of irrigation water demand with climate services for climate change adaptation. *Italian Journal of Agronomy* 8:e23, 175-185. PAGEPress, Pavia, Italy.
- Barneschi, M., Preti, F. (2006). La ricerca di trends nelle serie storiche di pioggia e di portata massime annuali del bacino del fiume Arno come indice delle variazioni territoriali e climatiche. In: Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - Idra 2006, 1-14; Gii - Gruppo italiano di idraulica, Torino, Italia.
- Barnett, T.P., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P. (2005). Potential impacts of warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438, 303-309. doi:10.1038/nature04141. Nature Publishing Group (NPG), Macmillan Publishers Limited, New York, NY.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. eds. (2008). Climate Change and Water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 210. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- Bazzani, G.M. (2005). A decision support for an integrated multi-scale analysis of irrigation: DSIRR. *Journal of Environmental Management*, 77, 301-314. Elsevier B.V.
- Bazzani, G.M. (2011). Review of model-based tools with regard to the interaction of water management and agriculture. In: Decision Support for Water Framework Directive Implementation, Volume 3 (Vanrolleghem, P. A., ed.). IWA Publishing, London, UK.
- Blöschl, G., Montanari, A. (2010). Climate change impacts—throwing the dice?, *Hydrological Processes*, 24:374–381. John Wiley & Sons Inc.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26: 345-381. John Wiley & Sons Inc.

- Buffagni, A., Casalegno, C. Erba, S. (2009). Hydromorphology and land use at different spatial scales: expectation in a changing climate scenario for medium-size rivers of Western Italian Alps. *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie*, 174, 7-25. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany.
- Burlando, P., Grossi, G., Montanari, A., Rosso, R. (1997). POPSICLE—production of precipitation scenarios for impact assessment of climate change in Europe. EC Framework III Project RTD EV5V-CT94-0510, Contractor's Final Report of CIRITA. Politecnico di Milano, Milan, Italy.
- Burlando, P., Rosso, R. (2002a). Effects of transient climate change on basin hydrology. 1. Precipitation scenarios for the Arno River, central Italy. *Hydrological Processes*, 16, 1151–1175. John Wiley & Sons, Inc.
- Burlando, P., Rosso, R. (2002b). Effects of transient climate change on basin hydrology. 2. Impacts on runoff variability in the Arno River, Central Italy. *Hydrological Processes*, 16, 1177–1199. John Wiley & Sons, Inc.
- Cambi, C., Dragoni, W. (2000). Groundwater yield, climatic changes and recharge variability: consideration arising from the modelling of a spring in the Umbria-Marche Apennines. *Hydrogéologie*, 4, 11 – 25. BRGM, Orléans Cedex, France. .
- Cambi C., Dragoni, W., Valigi, D. (2003). Water management in low permeability catchments and in times of climatic change: the case of the Nestore River (western central Italy). *Physics and Chemistry of the Earth*, 28,4-5, 201-208. Elsevier B.V.
- Camici, S., Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T. (2012). Impact of climate change on flood frequency using different climate models and downscaling approaches. *Journal of Hydrologic Engineering*, . doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000959. American Society of Civil Engineers, Reston Virginia, USA.
- Caminiti, N.M. (ed.) (2001). Rapporto ENEA sullo stato di attuazione del patto per l'Energia e l'Ambiente. Segreteria Tecnica Organizzativa per l'attuazione del patto per l'energia e l'ambiente, ENEA, Roma, Italia.
- Carraro, E., Guyennon, N., Viviano, G., Manfredi, E.C., Valsecchi, L., Salerno, F., Tartari, G., Copetti D. (2012). Chapter 16 – Impact of Global and Local Pressures on the Ecology of a Medium-Sized Pre-Alpine Lake. In: *Developments in Environmental Modelling*, 25, Volume 25, 259–274. Models of the ecological hierarchy from molecules to the ecosphere (Ferenc J., Sven, E.J., eds.). Elsevier B.V.
- Carvalho, L., Kirika, A. (2003). Changes in shallow lake functioning: response to climate change and nutrient reduction. *Hydrobiologia*, 506-509, 1-3, 789-796. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Commissione delle Comunità Europee (2009). Libro Bianco L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo. COM(2009) 147. Commissione delle Comunità Europee.
- Commissione Europea (2000). Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Gazzetta ufficiale delle Comunità europee L 327 del 22.12.2000, 1–73.
- Commissione Europea (2007). Libro Verde della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni – L'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa – quali possibilità di intervento per l'UE. SEC(2007) 849. COM/2007/0354. Commissione Europea.
- Copetti, D., Carniato, L., Crise, A., Guyennon, N., Palmeri, L., Pisacane, G., Struglia, M.V., Tartari, G. (2013). Impacts of climate change on water quality. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* (Navarra, A., Tubiana, L., eds.). *Advances in Global Change Research* 50. DOI 10.1007/978-94-007-5781-3\_10. Springer Science+Business Media, Dordrecht, Netherlands (in press).
- Delpla, I., Jung, A.-V., Baures, E., Clement, M., Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35, 1225–1233. doi: 10.1016/j.envint.2009.07.001. Elsevier B.V.

- Di Matteo L., Dragoni, W. (2006). Climate Change and Water Resources in Limestone and Mountain Areas: the case of Firenzuola Lake (Umbria, Italy). In: Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference on Limestone Hydrogeology 2006, Neuchâtel, Switzerland, 6.. Presses universitaires de Franche-Comté, Université de Franche-Comté, France.
- Douville, H., Chauvin, F., Planton, S., Royer, J.F., Salas-Melia, D., Tyteca, S. (2002). Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. *Climate Dynamics*, 20, 45-68. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Eckhardt K., Ulbrich, U. (2003). Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology*, 284(1-4), 244-252. Elsevier B.V.
- EEA (2012). Annual precipitation changes 2021-2050. European Environment Agency (EEA), Copenhagen, Denmark. Disponibile su: <http://www.eea.europa.eu/themes/climate/interactive/annual-precipitation-change-2021-2050>.
- EMoNFUr (2013). Establishing a Monitoring Network to assess lowland Forest and Urban plantation in Lombardy and urban forest in Slovenia, LIFE+ 10 ENV/IT/399. Disponibile su: <http://www.emonfur.eu/index.php?lin=it>.
- European Commission (2009). Common Implementation Strategy for The Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document No. 24. River basin management in a changing climate. European Commission.
- European Commission (2011a). Water Statistics. Eurostat. Disponibile su: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Water\\_statistics](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Water_statistics)
- European Commission, (2011b). WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, COM (2011). European Commission.
- European Commission (2012). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee Of The Regions. A Blueprint to safeguard Europe's water resources. COM(2012) 0673. EC.
- European Commission Working Group C (2012). Manifesto from the Workshop Climate Change Impacts on Groundwater. EU Working Group C workshop October 12th, Warsaw. Disponibile su: [http://cliwat.eu/xpdf/Manifesto\\_GW\\_CC.pdf](http://cliwat.eu/xpdf/Manifesto_GW_CC.pdf).
- Flörke, M., Wimmer, F., Laaser, C., Vidaurre, R., Tröltzsch, J., Dworak, T., Stein, U., Marinova, N., Jaspers, F., Ludwig, F., Swart, R., Long, H.-P., Giupponi, C., Bosello, F., Mysiak, J. (2011). Final Report for the project Climate Adaptation – modelling water scenarios and sectoral impacts. Contract N° DG ENV.D.2/SER/2009/0034. CESR – Center for Environmental Systems Research, Kassel, Germania.
- Fiorentino, M., Carriero, D., Iacobellis, V., Manfreda, S., Portoghese, I. (2005). MEDCLUB—starting line and first activities. Predictions in Ungauged Basins: Promises and Progress. Proceedings of symposium S7 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005. IAHS Publ. 303.
- Fiorillo, F., Guadagno, F.M. (2010). Karst spring discharge analysis in relation to drought periods, using the SPI. *Water Resour. Manag.*, 24, 1867-1884. Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, Netherlands
- Garnier, M., Abouabdillah, A., Oueslati, O., Lo Porto, A. (eds.) (2011). ClimateWater WP2 report on: Analysis and synthesis of water related climate change impacts. ClimateWater project.
- Garnier, M., Passarella, G., Lo Porto, A. (2007). Impatto del cambiamento climatico su erosione e perdita di nutrienti dal suolo agricolo nel bacino dell'Enza. In: *Clima e Cambiamenti Climatici: Le attività di ricerca del CNR* (Carli, B., Cavarretta, G., Colacino, M., Fuzzi S., eds.), 577-580. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, Italia.
- Gerter, D., Adrian, R. (2000). Climate-driven changes in speing plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography*, 45, 1058-1066. doi:

10.4319/lo.2000.45.5.1058. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. American Society of Limnology and Oceanography, Inc.

Giorgi F., Bi, X., Pal, J. (2004). Mean, interannual variability and trend in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios 2071-2100. *Climate Dynamics*, 23, 7, 839-858. doi: 10.1007/s00382-004-0467-0. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.

Greig, H.S., Kratina, P., Thompson P.L., Palen, W.L., Richardson, J.S., Shurin, J.B. (2012). Warming, eutrophication, and predator loss amplify subsidies between aquatic and terrestrial ecosystem. *Global Change Biology*. 18, 504-514. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02540.x. Blackwell Publishing Ltd.

Guyennon, N., Romano, E., Portoghese, I., Salerno, F., Calmanti, S., Petrangeli, A.B., Tartari, G., Copetti, D. (2012). Comparing dynamical, stochastic and combined downscaling approaches – lessons from a case study in the Mediterranean region. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9, 9847-9884. doi:10.5194/hessd-9-9847-2012. Copernicus publications, Göttingen, Germany.

Iglesias, A., Estrela, T., Gallart, F. (2005). Impactos sobre los recursos hídricos. In: *Evaluación Preliminar de los Impactos en España for Efecto del Cambio Climático* (Moreno, J.M, ed.), 303-353. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Spain.

Iglesias, A., Garrote, L., Quiroga, S., Moneo, M. (2009). Impacts of climate change in agriculture in Europe, PESETA-Agriculture study. JRC Scientific and Technical Reports. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies (EC JRC IPTS). Seville, Spain. <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC55386.pdf>.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., Qin, D. , Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., H.L. Miller, eds.), 996. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker, T.F., Qin, D. , Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., eds.), 1535. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IRSA- CNR (1999). *Un Futuro dell'Acqua in Italia*. Quaderno IRSA 109, 235. IRSA, Roma.

Isoard, S., Watkiss, P., Voigt, T., Barredo, J., Kristensen, P., Menne, B. (2008a) Chapter 7.9: Tourism and recreation. In: *EEA-JRC-WHO. Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*. EEA Report No 4/2008, 187–189. EEA, Copenhagen, Denmark, European Communities.

Isoard, S., Grothmann, T., Zebisch, M. (2008b). Climate change impacts, vulnerability and adaptation: theory and concepts. Paper presented at workshop “Climate change Impact and Adaptation in European Alps: Focus Water”. UBA, Vienna.

ISTAT (2012). *Giornata Mondiale dell'Acqua*. Le statistiche dell'ISTAT. Focus Statistiche, 13. ISTAT, Roma, Italia.

Jasper K., Calanca, P., Gyalistras, D., Fuhrer, J. (2004). Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine rivers. *Climate Research*, 26, 2, 113-129. doi: 10.3354/cr026113. Inter-Research.

Jolankai, G., Biro, I. (2002). How much do we know about planning ecohydrological management actions? (What did we learn in the first phase of the Project?). *Ecohydrology and Hydrobiology*, 2, 321- 327. International Centre for Ecology, Warsaw, Poland.

Kernan, M., Battarbee, R.W., Moss, B. (eds.) (2010). *Climate change impacts on Freshwater Ecosystems.*, 328 pp. Blackwell Publishing Ltd.

- Kundzewicz, Z. W., Radziejewski, M., Pińskwar, I. (2006). Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research*, 31, 51–58. Inter-Research.
- Laborde, S., Antenucci, J.P., Copetti, D., Imberger, J. (2010). Inflow intrusions at multiple scales in a large temperate lake. *Limnology and Oceanography*, 55, 3, 1301-1312. doi:10.4319/lo.2010.55.3.1301. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. American Society of Limnology and Oceanography, Inc.
- Lehner B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, H., Kaspar, F. (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75, 273-299. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Lo Porto, A., De Girolamo, A.M., Abouabdillah, A., De Luca, D., Santese, G. (2007). Influenza dei cambiamenti climatici sul regime idrologico di due bacini idrografici in ambiente mediterraneo. In: *Clima e Cambiamenti Climatici: Le attività di ricerca del CNR* (Carli, B., Cavarretta, G., Colacino, M., Fuzzi S., eds.), 577-580. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, Italia.
- Menzel, L., Bürger, G. (2002). Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *Journal of Hydrology*, 267(1-2): 53-64. Elsevier B.V.
- Merabtene, T., Kawamura, A., Jinno, K., Olsson, J. (2002). Risk assessment for optimal drought management of an integrated water resources system using a genetic algorithm. *Hydrological Processes* 16, 2189-2208. doi: 10.1002/hyp.1150. John Wiley & Sons, Inc.
- MiPAAF-Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, (2011). *Libro Bianco - Sfide ed opportunità dello sviluppo rurale per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici*. MiPAAF, 307. Roma, Italia.
- Montanari, A., Young, G., Savenije, H.H.G., Hughes, D., Wagener, T., Ren, L.L., Koutsoyiannis, D., Cudennec, C., Toth, E., Grimaldi, S., Blöschl, G., Sivapalan, M., Beven, K., Gupta, H., Hipsey, M., Schaefli, B., Arheimer, B., Boegh, E., Schymanski, S.J., Di Baldassarre, G., Yu, B., Hubert, P., Huang, Y., Schumann, A., Post, D., Srinivasan, V., Harman, C., Thompson, S., Rogger, M., Viglione, A., McMillan, H., Characklis, G., Pang, Z., and Belyaev, V., (2013). "Panta Rhei—Everything Flows": Change in hydrology and society—The IAHS Scientific Decade 2013–2022. *Hydrological Sciences Journal*. 58,1256–1275.
- National Research Council (2010) *Adapting to the Impacts of Climate Change*. The National Academies Press, Washington D.C., 293.
- Navarra, A., Tubiana, L. (eds.) (2013a). *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean. Volume 1: Advances in Global Change Research*, 50. doi 10.1007/978-94-007-5781-3\_1. Springer Science+Business Media Dordrecht, Netherlands.
- Navarra, A., Tubiana, L. (eds.) (2013b). *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean: Volume 2: Agriculture, Forests and Ecosystem Services and People. Advances in Global Change Research*, 51. doi 10.1007/978-94-007-5772-1\_1. Springer Science+Business Media, Dordrecht, Netherlands.
- Paerl, W., Huisman, J. (2009). Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports* 1: 27-37. doi: 10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x. Society for Applied Microbiology and Blackwell Publishing Ltd.
- PIANC, EnviCom-Task Group 3 *Climate Change and Navigation* (2008). *Waterborne transport, ports and waterways: A review of climate change drivers, impacts, responses and mitigation*. PIANC, Brussels, Belgium.
- Pirker, O. (2007). *Climate Change & Hydropower consequences and challenges*. Presentation at Symposium on Climate Change and the European Water Dimension, 12-14 Feb. Berlin. <http://www.climate-water-adaptation-berlin2007.org/documents/pirker.pdf>.

- Portoghese, I., Bruno, E., Guyennon, N., Iacobellis, V. (2011). Stochastic bias-correction of daily rainfall scenarios for hydrological applications. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2497-2509, doi:10.5194/nhess-11-2497-2011.
- Portoghese, I., Bruno, E., Dumas, P., Guyennon, N., Hallegatte, S., Hourcade, J.-C., Nassopoulos, H., Pisacane, G., Struglia, M.V., Vurro M. (2013). Impacts of climate change on freshwater bodies: quantitative aspects. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* (Navarra, A., Tubiana, L., eds.). *Advances in Global Change Research* 50. doi: 10.1007/978-94-007-5781-3\_9. Springer Science+Business Media, Dordrecht, Netherlands.
- Posch, T., Köster O., Salcher M.M, Pernthaler, J. (2012). Harmful filamentous cyanobacteria favoured by reduced water turnover with lake warming. *Nature Climate Change*, 2, 809-813. doi: 10.1038/nclimate1581. Nature Publishing Group (NPG), Macmillan Publishers Limited.
- Preziosi, E., Del Bon, A., Petrangeli, A.B., Romano, E. (2010). La vulnerabilità dei grandi sistemi di approvvigionamento idrico del bacino del Tevere in condizioni di siccità. Definizione di un sistema di azioni di prevenzione e mitigazione. *Quaderno dell'Istituto di Ricerca sulle Acque* 129, 133, CNR-IRSA, Roma, Italia.
- Romano, E., Del Bon, A., Petrangeli, A.B., Preziosi, E. (2012a). Generating synthetic time series of springs discharge in relation to Standardized Precipitation Indices. Case study in Central Italy. *Journal of Hydrology*, 507, 86-99. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.020. Elsevier B.V.
- Romano, E., Del Bon, A., Petrangeli, A.B., Preziosi, E. (2012b). Modeling karst spring discharge in relation to standardized precipitation indices: a new method for forecasting water scarcity conditions. *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012-9180. EGU General Assembly 2012.
- Romano E., Preziosi, E. (2010). The sustainable pumping rate concept: lessons from a case study in Central Italy. *Ground Water*, 48, 217-226. doi: 10.1111/j.1745-6584.2009.00628.x. John Wiley & Sons, Inc.
- Romano, E., Preziosi, E. (2012). Precipitation pattern analysis in the Tiber River basin (central Italy) using standardized indices. *International Journal of Climatology*, 33, 7, 1781-1792. doi: 10.1002/joc.3549. John Wiley & Sons, Inc.
- Rossi, G. (2000). Drought mitigation measures: a comprehensive framework. In: *Drought and Drought Mitigation in Europe* (Vogt, J.V., Somma, F., eds.). *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 14, 233-246. doi: 10.1007/978-94-015-9472-1\_18. Kluwer academic PublishersSpringer Science+Business Media B.V.
- Rossi, G., Vega, T., Bonaccorso, B. (eds.) (2007). *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Water Science and Technology Library, 62, 421. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Rusconi, A. (2011). *Quale bilancio idrico nei prossimi anni*. Gruppo 183, 12. Venezia Italia.
- Salmaso, N., Mosello, R. (2010). Limnological research in the deep southern subalpine lakes: synthesis, directions and perspectives. *Advances in Oceanography and Limnology*, 1, 1, 29-66. doi: 10.1080/19475721003735773. Taylor & Francis. Informa Ltd, London, UK.
- Santos, F.D., Forbes, K., Moita R. (eds.) (2002). *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. SIAM project report, 456. Gradiva, Lisbon, Portugal.
- Semenza, J.C., Menne, B. (2009). Climate change and infectious diseases in Europe. *The Lancet Infectious Diseases*, 9, 365-75. doi: 10.1016/S1473-3099(09)70104-5. Elsevier Ltd.
- Shiklomanov, I.A. (1997). Assessment of water resources and availability in the world. In: *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. Stockholm, Stockholm Environment Institute. 88 pp. [http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Water-sanitation/urban\\_water\\_towards\\_health\\_sustainability.pdf](http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Water-sanitation/urban_water_towards_health_sustainability.pdf).

- Solheim, A.L., Aaustnes, K., Eriksen, T.E., Seifert, I., Holen, S. (2010). Climate change impacts on waters quality and biodiversity - Background Report for EEA European Environment State and Outlook Report 2010. ETC Water Technical report 1/2010. EEA/ADS/06/001 – Water, 68. ETC Water, Prague, Czech Republic.
- Straile, D. (2000). Meteorological forcing of plankton dynamics in a large and deep continental European lake. *Oecologia*, 122: 44-50. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Sun, F., Roderick, M.L., Farquhar, G.D. (2012). Changes in the variability of global land precipitation. *Geophys. Res. Lett.* 39, L19402. doi:10.1029/2012GL053369. John Wiley & Sons Ltd.
- Tartari, G., Marchetto, A., Copetti, D. (2000). Qualità delle acque lacustri della Lombardia alle soglie del 2000. *Ricerche & Risultati*, 44, 226. Fondazione Lombardia per l'ambiente, Milano, Italia.
- Tartari G., Copetti, D., Marchetto, A. (2002). Northern Italian lakes: Regionalization of limnological features and pressure factors relationships. *Verhandlungen - Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Schweizerbart*, 28, 223-227. Germany.
- Thackeray, S.J., Jones, D., Maberly, C. (2008). Long-term change in the phenology of spring phytoplankton: species-specific responses to nutrient enrichment and climatic change. *Journal of Ecology*, 96, 523–535. doi: 10.1111/j.1365-2745.2008.01355.x. John Wiley & Sons, Inc.
- Valerio, G., Pilotti, M., Marti, C. L., Imberger, J. (2012). Influence of bathymetry and wind field on basin-scale internal wave structure in a stratified lake: Lake Iseo, Italy. *Limnology and oceanography* 57,3, 772-786. doi: 10.4319/lo.2012.57.3.0772. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. American Society of Limnology and Oceanography, Inc.
- Visconti, A., Manca, M., De Bernardi, R.(2008). Eutrophication-like response to climate warming: an analysis of Lake Maggiore zooplankton during contrasting years. *J. Limnol.*, 67, 87-92.
- Vurro M., Portoghese I., Bruno E. (2013) Overview of water resources in Mediterranean Area. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* (Navarra, A., Tubiana L., eds.). *Advances in Global Change Research* 50. doi: 10.1007/978-94-007-5781-3\_7. Springer Science+Business Media, Dordrecht, Netherlands.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L., Alley W.M. (1998) *Ground Water and Surface Water. A Single Resource*. U.S. Geological Survey Circular 1139. USGS, Denver, Colorado.
- Yevjevich, V., Cunha, L. V., Vlachos, E. (eds.) (1983). *Coping with Droughts*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Zierl B., Bugmann, H. (2005). Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resources Research*, 41, 2, W02028. doi:10.1029/2004WR003447. John Wiley & Sons, Inc.

# Desertificazione, degrado del territorio e siccità

## Sintesi

Il degrado del territorio e la desertificazione sono dovuti principalmente a modalità non corrette di gestione degli ecosistemi naturali ed antropici, alla variazione delle condizioni climatiche, nonché alle interazioni tra le due classi di fattori. I cambiamenti climatici influiscono direttamente sull'intensità dei processi fisici, chimici e biologici che regolano il complesso equilibrio degli ecosistemi terrestri e del suolo soprattutto nelle aree climaticamente caratterizzate da condizioni secche, attraverso le variazioni dell'aridità. Le variazioni delle temperature e delle precipitazioni nel periodo compreso fra il 1961 e il 2000 hanno determinato un'estensione delle aree semi aride e sub-umide secche nelle regioni meridionali ed insulari, arrivando ad interessare circa il 20% del territorio nazionale.

I cambiamenti climatici, in base agli scenari disponibili per l'area Mediterranea, potranno provocare i seguenti principali processi di desertificazione e degrado del suolo:

- aumento dell'erosione idrica, che determina l'asportazione della parte superficiale del suolo;
- diminuzione del Contenuto di Sostanza Organica nel suolo (Soil Organic Carbon, SOC) che ne influenza fortemente la capacità produttiva;
- aumento della salinizzazione nelle aree irrigue, nonché in quelle costiere per intrusione del cuneo salino, aree nella maggior parte dei casi ad alto valore economico.

La copertura vegetale gioca un ruolo determinante nella conservazione del suolo. Gli incendi in aree agricole soggette a coltivazioni intensive e nei pascoli possono raggiungere intensità tali da danneggiare completamente lo strato organico superficiale, con conseguente impoverimento dei suoli e intensificazione dei fenomeni erosivi. Le variazioni climatiche in corso e gli scenari futuri mostrano un probabile aumento nella loro frequenza e severità. Le aree sensibili alla desertificazione sono in generale caratterizzate dalla presenza di condizioni climatiche che generano ecosistemi con scarsa produttività biologica, scarsità di risorse idriche e suoli fragili. Sulla base di indici riferiti al clima, suolo, copertura vegetale e gestione del territorio, l'applicazione della metodologia ESA (Kosmas et al., 1999) fornisce una valutazione delle aree sensibili alla desertificazione e al degrado del territorio in Italia. Tutte le regioni hanno aree sensibili ma con gradi d'intensità e con estensione delle aree interessate diverse. Le regioni con una percentuale di territorio "molto sensibile" superiore alla media nazionale sono Basilicata, Marche, Molise, Sicilia, Sardegna, Puglia e Emilia-Romagna.

Per quanto riguarda il futuro, con elevata probabilità i cambiamenti climatici avranno un forte impatto sui processi di desertificazione a causa del progressivo assottigliarsi delle riserve idriche e dell'aumento degli eventi siccitosi, di cui peraltro non esiste ancora un quadro conoscitivo esaustivo. È noto inoltre che i cambiamenti climatici avranno anche un profondo impatto sulla struttura e sulle funzioni degli ecosistemi agricoli e forestali, influenzando i cicli fisici, chimici e biologici e quindi la composizione, la produttività e la resilienza.

La principale strategia di riduzione della vulnerabilità e di adattamento alla desertificazione ed agli impatti dei cambiamenti climatici è stato il Programma di Azione Nazionale di Lotta alla Desertificazione, lanciato all'inizio del 2000, che prevedeva misure specifiche di carattere agronomico, forestale, civile e sociale per la protezione del suolo, la gestione sostenibile delle risorse idriche, la riduzione dell'impatto delle attività produttive e il riequilibrio del territorio (CIPE 299/1999).

La mitigazione del rischio di degrado del territorio e di desertificazione deve essere basata sulla conoscenza e sulla valutazione delle specifiche problematiche dell'area degradata di riferimento, viste le caratteristiche diverse con cui i fenomeni si presentano.

## **Introduzione**

La desertificazione e il degrado del territorio sono la causa della perdita di produttività biologica ed economica del territorio attribuibile sia a processi di origine naturale sia di origine antropica.

La desertificazione ed il degrado interessano ormai molti paesi in tutti i continenti. La Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD), entrata in vigore nel 1996, ha lo scopo di fronteggiare le minacce che ne derivano. L'Italia ha aderito alla UNCCD nel 1997 sia in quanto Paese affetto che paese donatore nei confronti dei paesi in via di sviluppo. Oggi, i Paesi che hanno aderito sono 193, oltre a numerose Organizzazioni internazionali, ONG e Istituzioni della Società Civile. Nel Bacino del Mediterraneo, i problemi della desertificazione e del degrado sono stati affrontati attraverso la realizzazione di Programmi di Azione Nazionale (PAN) sviluppati nell'ambito della UNCCD. L'Unione Europea, inoltre, ha proposto una Strategia Tematica per la protezione del suolo (CE, 2002; CE, 2006a).

La desertificazione ed il degrado del territorio si manifestano con molteplici sintomi locali, accomunati all'interno di una fenomenologia globale, che interessa sia le zone secche che quelle umide del pianeta. Per questa ragione non esiste un singolo specifico parametro o indicatore che permetta di individuare le aree colpite da processi di desertificazione e degrado. Quando processi di tipo ambientale, sociale ed economico agiscono in concomitanza su un territorio causandone un degrado, le conseguenze vengono amplificate provocando impatti che mettono in crisi lo sviluppo e in alcuni casi la stessa sussistenza delle popolazioni. Lo stato presente di diffuso degrado del territorio, nonché la sua sensibilità a ulteriori fenomeni di desertificazione e degrado, è il risultato sia dell'uso che l'uomo ne ha fatto sia dell'evoluzione del clima nel corso dei secoli. Le attuali

condizioni si presentano come sensibili a nuove pressioni e perturbazioni e in particolare ai cambiamenti che nei prossimi decenni caratterizzeranno il clima.

## **I processi di desertificazione e l'influenza dei cambiamenti climatici**

I processi di desertificazione e degrado che provocano la perdita di produttività del territorio possono essere di tipo fisico, chimico e biologico. I processi di tipo fisico, quali erosione, aridificazione e tropicalizzazione, ed i processi di tipo chimico, come la salinizzazione, la perdita di sostanza organica e l'inquinamento, sono fra loro interconnessi e possono portare ad un progressivo degrado delle caratteristiche biologiche del territorio e, conseguentemente, della sua capacità di sostenere i processi ecosistemici e le attività necessarie alla produzione di cibo e di tutti i prodotti e i servizi che direttamente o indirettamente determinano il benessere della popolazione. I cambiamenti climatici influiscono direttamente sull'intensità dei processi bio-fisici, soprattutto nelle aree climaticamente caratterizzate da condizioni secche<sup>30</sup> ma anche nelle zone umide per incrementi di frequenza, intensità e durata di episodi di siccità e di precipitazioni intense.

Nel 2001 è stato lanciato, con il supporto delle Nazioni Unite, un progetto a scala globale (*Millennium Ecosystem Assessment, MA, 2005*) che ha cercato di identificare i cambiamenti subiti dagli ecosistemi e di sviluppare scenari per il futuro, basandosi sui trend rilevati, affrontando anche il tema delle interazioni tra cambiamenti climatici e incremento della desertificazione, definendo i fenomeni ma senza però rendere disponibili dati ed indicatori.

Nelle aree mediterranee, e in particolare in Italia, i fenomeni naturali e antropici che influenzano i fenomeni di degrado del suolo agiscono su condizioni predisponenti specifiche e la loro dinamica è articolata e in continuo mutamento, come esemplificato nella Figura 1.5.

---

<sup>30</sup> Le zone secche (aride, semiaride e sub-umide secche) sono definite in base all'indice climatico di aridità IA= Precipitazioni/Evapotrasmirazione Potenziale per valori di IA compresi nell'intervallo 0,05-0,65 (Middleton et al., 1997).

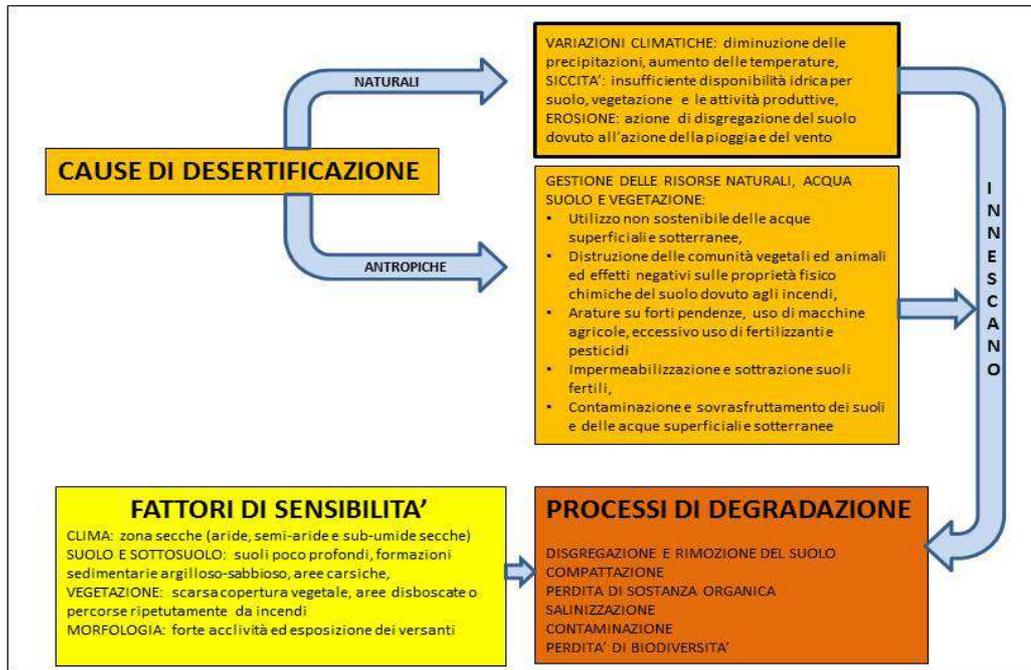


Figura 1.5: Framework logico relativo al fenomeno della desertificazione (Fonte: AA. VV., 2008).

L'effetto combinato dei trend di temperatura e precipitazione, ha determinato un progressivo incremento delle zone secche in tutto il territorio nazionale a partire dal 1961. I territori in condizione di deficit idrico (zone secche) sono già progressivamente aumentati arrivando a interessare attualmente circa il 20% del territorio nazionale nelle regioni meridionali ed insulari (Perini et al., 2008) (Figura 2.5).

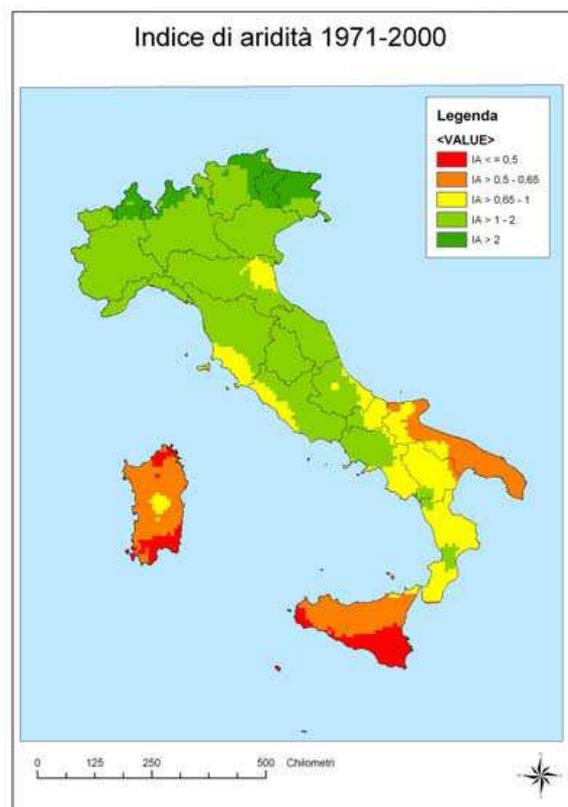


Figura 2.5: Distribuzione delle zone semi aride e sub-umide secche secondo l'indice di aridità UNEP (Fonte: Perini et al., 2008).

Gli scenari di cambiamento climatico per il decennio 2041-2050 nella regione Mediterranea prevedono ulteriormente in aumento l'estensione delle zone secche in Italia (Dell'Aquila et al., 2012), determinando un incremento diretto dell'evapotraspirazione potenziale e del fabbisogno idrico sia della vegetazione naturale sia delle colture agrarie (Centritto et al., 2011).

Gli episodi di siccità che hanno recentemente interessato il territorio Italiano, in Sicilia (2001-2002), nel bacino del Po (2003 e 2006-2007) e nelle Alpi orientali (2011-2012), hanno avuto notevoli impatti ambientali ed economici. Possibili incrementi dell'intensità e della durata degli episodi di siccità potranno determinare condizioni di maggior stress idrico e impatti su molte attività produttive e molti ecosistemi naturali con effetti di tipo diretto e indiretto.

Anche nel nostro Paese dunque i principali processi di desertificazione saranno molto influenzati dai cambiamenti climatici (AA.VV., 2009).

**L'erosione idrica del suolo** determina l'asportazione della sua parte superficiale, maggiormente ricca in sostanza organica, per mezzo delle acque di ruscellamento superficiale. L'erosione è associata agli episodi di precipitazione più intensi e si manifesta nei luoghi in cui il fenomeno avviene (danni *in situ*) con perdita di suolo, di fertilità, di biodiversità, ecc. e in aree distanti da quelle in cui il fenomeno erosivo è avvenuto (danni *extra situ*) con danni alle infrastrutture,

inquinamento delle acque superficiali dovuto al trasporto di inquinanti a mezzo delle acque di scorrimento. Si stimano oggi valori medi di perdita di suolo compresi tra 2 e 5 ton/ettaro sulle Alpi e dai 6 ai 23 ton/ettaro lungo la dorsale appenninica. Le aree maggiormente interessate dal fenomeno sono le aree collinari a seminativo dell'Italia centrale e le zone calanchive di Calabria e Basilicata che presumibilmente saranno anche le più esposte agli impatti alle variazioni indotte dai cambiamenti climatici sull'erosione del suolo (Di Leginio e Fumanti, 2012).

La **diminuzione del contenuto di Carbonio Organico nel Suolo** (Soil Organic Carbon, SOC) è una delle principali minacce per il suolo e molti documenti ufficiali a livello europeo<sup>31</sup> ne riconoscono l'importanza. I suoli costituiscono un'importante riserva di carbonio poiché contengono circa tre volte la quantità di carbonio immagazzinata nella biomassa vegetale e circa il doppio di quella presente in atmosfera<sup>32</sup>: il SOC è un indicatore importante della qualità del terreno e della sostenibilità della sua gestione. La sua diminuzione appare correlata ai cambiamenti di uso e gestione del suolo, evidente negli ultimi decenni. Il SOC varia notevolmente anche in funzione della temperatura del suolo e dei regimi di umidità. Sussistono però ancora molte incertezze legate alla possibilità di disporre di una precisa quantificazione del carbonio sequestrato in quanto il suo monitoraggio è reso complicato dalla complessità dell'intervento, dall'alto costo e dalla scarsa standardizzazione delle metodologie di indagine<sup>33</sup>.

La **salinizzazione dei suoli** è un processo che ha un impatto potenzialmente molto rilevante soprattutto quando riguarda le aree con produzioni irrigue di maggior valore economico. La salinizzazione dei suoli nelle aree irrigue costiere è indotta dall'utilizzo di acque di falda soggette all'intrusione di acqua marina. Le coste delle Regioni Sardegna, Sicilia e Puglia, come la maggior parte delle aree costiere italiane, sono interessate dall'intrusione salina, generalmente attribuita al sovrasfruttamento degli acquiferi (INEA, 2011) e al conseguente abbassamento dei livelli di falda. L'incremento del fabbisogno idrico dovuto ai cambiamenti climatici potrà determinare un maggiore emungimento e, quindi, una maggiore intrusione marina e salinizzazione degli acquiferi costieri. La riduzione delle precipitazioni, poi, oltre a diminuire l'apporto meteorico alle falde, può determinare una rimozione minore dei sali nell'orizzonte più superficiale del suolo (lisciviazione) rendendolo progressivamente meno produttivo.

La **copertura vegetale** gioca un ruolo determinante nella conservazione del suolo. Buona parte del territorio nazionale è caratterizzata da una copertura vegetale fortemente disturbata dalle attività antropiche rendendo il territorio più sensibile a fenomeni di degrado. L'uso controllato e guidato del fuoco ha permesso all'uomo di plasmare il territorio nei secoli in base alle proprie esigenze, senza talvolta considerare gli impatti di questa pratica sulle condizioni del suolo. L'abbandono poi

---

<sup>31</sup> [http://ec.europa.eu/environment/soil/three\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm).

<sup>32</sup> L'articolo 3.4 del protocollo di Kyoto per la riduzione di gas serra (GHG), indica la gestione del suolo come una delle strategie per il sequestro del carbonio che può contribuire al raggiungimento dell'obiettivo di riduzione delle emissioni (Morari et al., 2006).

<sup>33</sup> Zdruli et al. (1999) hanno realizzato una prima stima del contenuto di SOC dei suoli italiani, per i primi 30 cm di profondità, come parte della stima del SOC degli stati europei del Mediterraneo, su una griglia di 1x1 km, basandosi sui dati della Banca Dati dei Suoli Europea. Jones et al. (2005) hanno migliorato le stime precedenti e hanno prodotto una mappa del SOC per la stessa profondità. Altri studi recenti (Pilli et al., 2006) hanno stimato il *Carbon Sink* - CS dei suoli forestali in Italia.

delle attività agro-pastorali determina un aumento del carico di biomassa con l'intrusione di specie arbustive estremamente vulnerabili al fuoco. In queste condizioni, il fronte di fiamma, conseguente all'accensione di un fuoco, può raggiungere intensità tali da danneggiare completamente lo strato organico superficiale con conseguente impoverimento dei suoli e intensificazione dei fenomeni erosivi. Nonostante dunque gli incendi rivestano da sempre un ruolo fondamentale nella struttura delle comunità vegetali (Carrión et al., 2003; Verdú e Pausas, 2007; Pausas e Verdú, 2008), essi sono una rilevante fonte di disturbo per gli ecosistemi, e un aumento nella loro frequenza e severità, così come suggerito da numerosi studi alla luce delle variazioni climatiche in corso e degli scenari futuri (ad es., Arca et al., 2012), può condurre al degrado del territorio e alla desertificazione.

Anche alcuni processi di tipo sociale ed economico nelle zone rurali tra i quali, ad es., l'abbandono delle zone meno produttive, come pure più in generale le conseguenze dell'urbanizzazione costiera e non, l'incremento dei fabbisogni e dei consumi idrici dovuti ad usi domestici e industriali con la correlata competizione per l'uso delle risorse disponibili fra attività produttive diverse, potranno essere direttamente incrementati dai cambiamenti del clima e i loro effetti contribuiscono a determinare impatti sul degrado del suolo e sulla desertificazione.

La continua crescita del **consumo di suolo** e la gravità della progressiva diminuzione della risorsa suolo, è principalmente concentrata (ISPRA, 2014) nelle aree metropolitane (dove è più alta la percentuale di suolo coperto da costruzioni) e nelle aree periurbane interessate da strutture industriali, commerciali e infrastrutture di trasporto. Anche le principali vie di comunicazione rappresentano assi privilegiati per lo sviluppo urbano, mentre vaste aree rurali stanno perdendo la loro vocazione agricola e iniziano a essere invase da seconde case, centri commerciali o capannoni industriali, anche in territori intrinsecamente predisposti allo sviluppo di fenomeni di degrado dei suoli e di dissesto geomorfologico-idraulico. In generale nell'Italia settentrionale si ha una percentuale di suolo consumato maggiore, mentre l'Italia meridionale e insulare hanno percentuali leggermente inferiori. Per quanto riguarda il consumo di aree agricole, i dati dell'ultimo censimento dell'agricoltura vedono per il decennio 2000-2010 una perdita di superficie agraria utilizzata di 300.000 ettari e di una perdita di superficie agraria totale di circa 1.500.000 ettari.

## **Aree sensibili alla desertificazione e al degrado**

Le aree sensibili alla desertificazione nel nostro Paese sono caratterizzate prevalentemente dalla presenza di ecosistemi con scarsa produttività biologica, scarsità di risorse idriche e presenza di suoli fragili.

Anche in considerazione della priorità attribuita dalla UNCCD a questi temi il monitoraggio e gli indicatori di desertificazione hanno sempre avuto un ruolo di rilievo nell'agenda scientifica della ricerca internazionale. APAT (oggi ISPRA) è stata tra i primi a pubblicare approcci e metodologie per la definizione di indicatori di desertificazione (Enne e Zucca, 2000), contribuendo all'approfondimento internazionale ed allo sviluppo dello studio degli indicatori di desertificazione.

Lo stato delle conoscenze sulla desertificazione ad oggi in Italia può essere considerato ampio ma anche molto frammentato; manca infatti un sistema finalizzato a fornire un quadro coerente che permetta di valutare la situazione attuale e l'evoluzione dei processi di desertificazione in risposta a fattori di pressione naturale ed antropica.

Molti progetti di ricerca hanno sviluppato metodologie e prodotto risultati su aree campione. Il progetto MEDALUS ha messo a punto un sistema di indicatori per la valutazione e la mappatura delle Aree Sensibili, definite come Environmentally Sensitive Areas - ESA's (Kosmas et al., 1999) che è ancora oggi alla base di molte analisi di sensibilità<sup>34</sup> e viene applicato, con vari adattamenti e a varie scale spaziali, da singoli bacini idrografici all'intera area PanMediterranea (EEA, 2008). Le mappature delle ESAs a scala nazionale e a scala sub-nazionale, attualmente disponibili per 7 regioni<sup>35</sup> e 3 bacini idrografici<sup>36</sup>, permettono di localizzare e quantificare le aree maggiormente esposte agli impatti dei cambiamenti di tipo climatico ed antropico sullo stato dei suoli e quindi sul loro livello di degrado e di desertificazione.

La valutazione di sensibilità non rappresenta in senso stretto una valutazione di rischio ma piuttosto la valutazione della predisposizione di una specifica area a subire processi di desertificazione, in base all'impiego di indici derivati da cartografie climatiche, pedologiche e di copertura vegetale e di uso del suolo<sup>37</sup>.

Grazie dunque ai progetti scientifici e a quelli realizzati da Regioni, Autorità di Bacino e altre amministrazioni locali, sono attualmente disponibili alcune valutazioni cartografiche della sensibilità a scala nazionale (1:1.000.000) ed a scala regionale, che variano tra 1:100.000 e 1:250.000, in alcuni casi per alcune aree specifiche a scala 1:50.000.

La prima mappatura nazionale della sensibilità è stata realizzata (Biafore et al., 2002) a supporto del Programma di Azione Nazionale<sup>38</sup>.

L'Atlante della desertificazione in Italia (Costantini et al., 2007), realizzato tra il 2004 ed il 2006, ha stimato che il 51,8% del territorio italiano è potenzialmente a rischio di degrado, in particolare la totalità di Sicilia, Sardegna, Puglia, Calabria, Basilicata e Campania e parte delle regioni Lazio, Abruzzo, Molise, Toscana, Marche e Umbria. All'interno di quest'area, sulla base di 12 indici di

---

<sup>34</sup> Partendo da questo tipo di approccio, altri progetti nazionali fra cui RIADE, ed internazionali ad ampia scala, come DesertWatch (e altri progetti di ricerca finanziati dall'Unione Europea, fra i quali DesertNet, DesertLinks, DesertAction, DeSurvey, Leddra, ecc.) hanno sviluppato metodi, analisi e valutazioni utili a definire l'evoluzione dei fenomeni di desertificazione, contribuendo allo sviluppo delle competenze scientifiche e producendo anche studi sullo stato della desertificazione in aree specifiche in Italia.

<sup>35</sup> Sardegna, Sicilia, Puglia, Campania, Basilicata, Piemonte, Abruzzo.

<sup>36</sup> Liri-Garigliano, Foro e Vibrata (Abruzzo).

<sup>37</sup> L'indice ESA tiene conto delle misure di prevenzione e conservazione già in atto in modo molto limitato, effettuando solo una diagnosi della condizione attuale.

<sup>38</sup> L'Italia ha aderito alla UNCCD dal 1995 e dal 1997 al 2007 ha avuto un proprio Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione - CNLD, con sede presso il Ministero dell'Ambiente, al quale si deve un sostanziale impulso alla costruzione di un ampio patrimonio conoscitivo. Con tale sottoscrizione e la successiva ratifica, l'Italia si è impegnata ad attuare un Programma di Azione Nazionale (PAN) contenente politiche e misure per contrastare le cause e gli impatti della desertificazione. Il primo PAN è stato elaborato ed approvato nel 1999 con il coinvolgimento di numerose Regioni ed Autorità di Bacino. Negli anni successivi, il CNLD ha stimolato la costituzione di un patrimonio di conoscenze e una rete di esperti.

impatto, è stato stimato che il 21,3% del territorio italiano è già interessato da fenomeni di degrado dei suoli e quindi a rischio di desertificazione<sup>39</sup>.

La più recente applicazione della metodologia ESA a scala nazionale (Perini et al., 2008), utilizzata per le attività di valutazione dello stato della desertificazione richieste dalla UNCCD nel rapporto sullo stato di attuazione della Convenzione nel 2012 (UNCCD, 2012), fornisce un quadro della situazione italiana basato su dati aggiornati all'anno 2000 (Figura 3.5). Tutte le regioni mostrano aree sensibili ma con gradi d'intensità e con estensione delle aree interessate diverse (Figura 4.5).

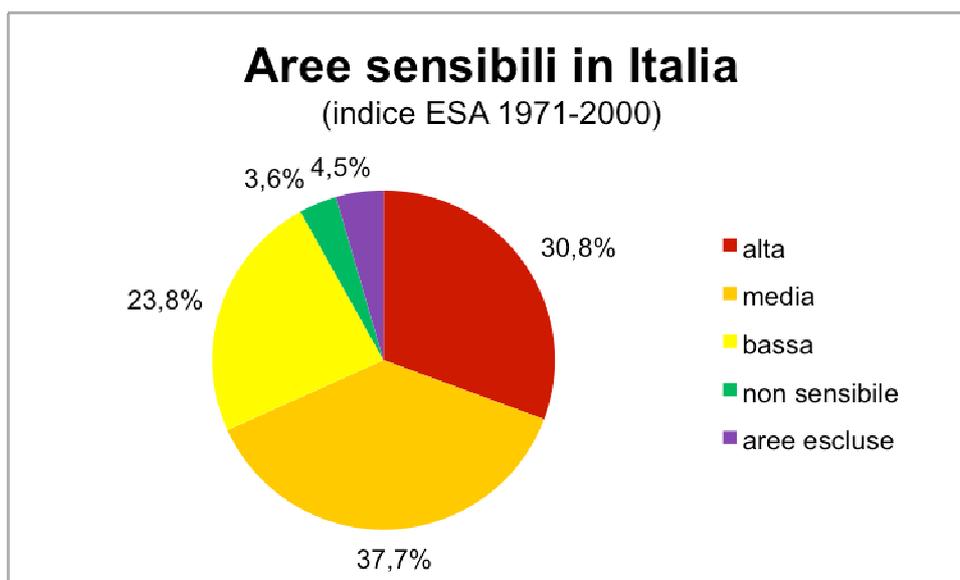


Figura 3.5: Percentuale del territorio italiano sensibile alla desertificazione secondo l'indice ESA (Fonte: Perini et al., 2008).

---

<sup>39</sup> In particolare, il 4,3% del territorio italiano avrebbe già caratteristiche di sterilità funzionale, il 4,7% è sensibile a fenomeni di desertificazione, il 12,3% può essere considerato vulnerabile alla desertificazione.

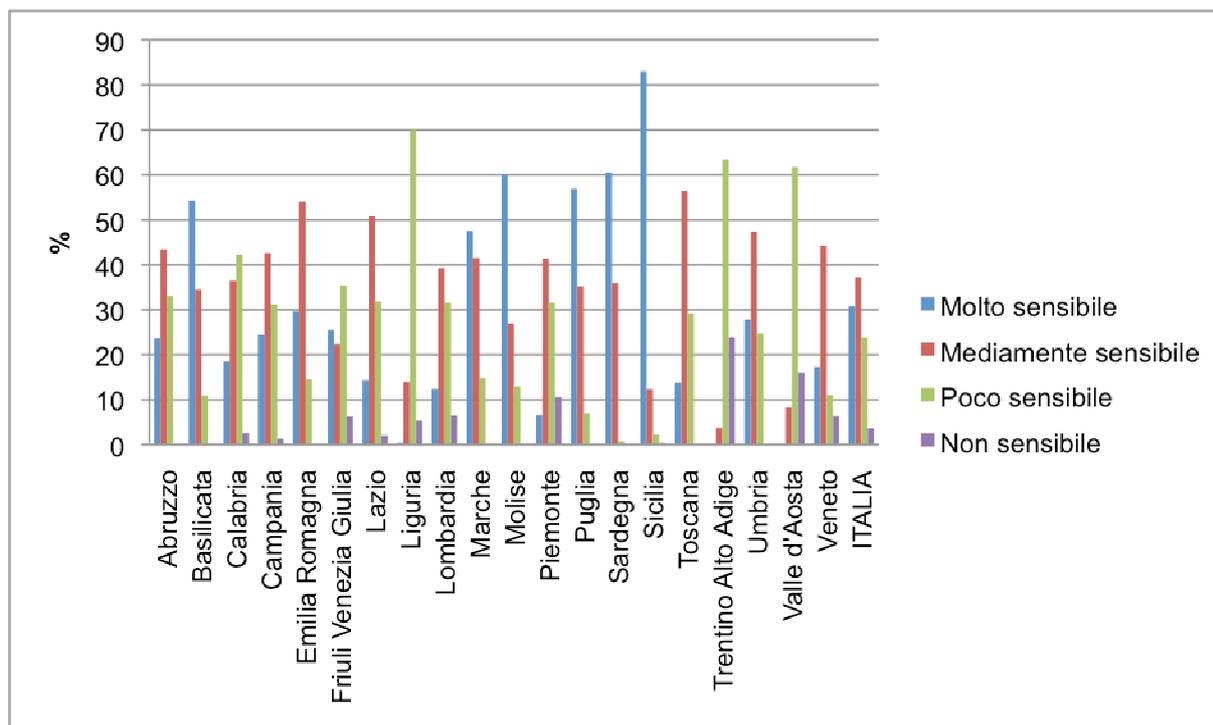


Figura 4.5: Distribuzione delle aree sensibili nelle regioni italiane secondo l'indice ESA (Fonte: Elaborazione ISPRA su dati Perini et al., 2008).

Le regioni con una percentuale di territorio "molto sensibile" superiore al 30% sono sette (Basilicata, Marche, Molise, Sicilia, Sardegna, Puglia, Emilia-Romagna).

Per la valutazione, infine, delle aree "affette<sup>40</sup>" dalla desertificazione, in risposta alle richieste dalla UNCCD, è stato usato un criterio basato sulla concomitanza di condizioni di ruralità e di superficie "molto sensibile". Sono stati così selezionati quei comuni rurali<sup>41</sup> con una percentuale di territorio "molto sensibile" maggiore del 30% (Figura 4.5). Sulla base di questo criterio, si stima che 64.600 Km<sup>2</sup>, pari al 21% della superficie nazionale, sono quelli maggiormente esposti ai possibili impatti di processi di degrado e desertificazione<sup>42</sup>. La valutazione così effettuata costituisce un'approssimazione che richiederà ulteriori verifiche e validazioni.<sup>43</sup>

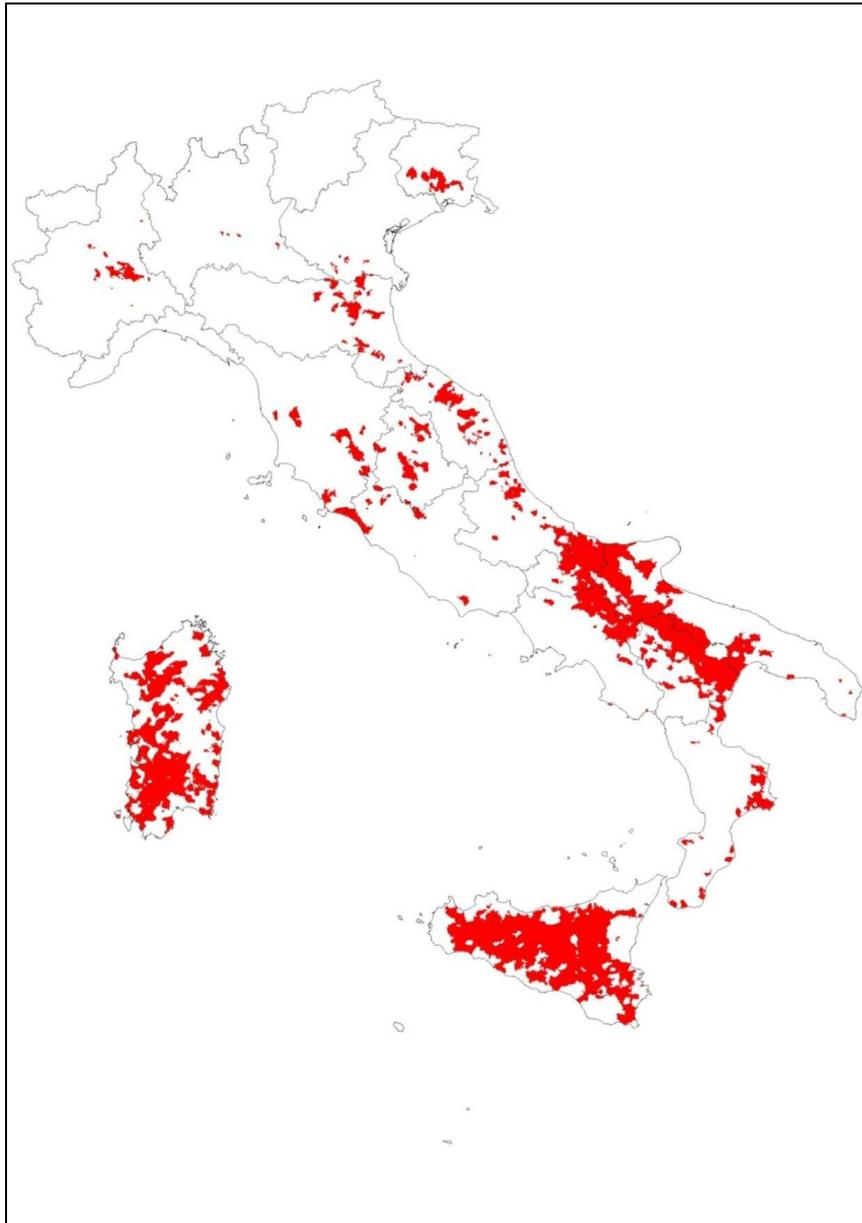
<sup>40</sup> Non esiste una definizione che all'interno della UNCCD permetta di individuare le aree affette dalla desertificazione. Nei rapporti alla UNCCD è stato chiesto ai paesi di specificare il criterio e gli indicatori utilizzati per le valutazioni nazionali.

<sup>41</sup> Comuni con una densità di popolazione inferiore a 300 abitanti /km<sup>2</sup>.

<sup>42</sup> Le aree "molto sensibili" delle regioni Emilia-Romagna e Marche ricadono in comuni a carattere "urbano" e pertanto non sono state incluse nella categoria delle aree "affette".

<sup>43</sup> Si segnala anche che, utilizzando gli indici e gli indicatori della metodologia ESA, sono state prodotte due mappature della sensibilità alla desertificazione dei paesi del nord Mediterraneo: nel 2002, infatti, il progetto Desertification Information System (DISMED, 2002) della UNCCD, realizzato da CNR-IBIMET e Agenzia Ambientale Europea (European Environmental Agency - EEA), ha pubblicato una mappa, aggiornata poi da EEA nel 2008 (EEA, 2008). I risultati relativi all'Italia non differiscono sostanzialmente da quelli delle altre mappature citate.

Le aree irrigue costiere sensibili alla salinizzazione dei suoli indotta dall'utilizzo irriguo delle acque di falda non sono incluse nella mappa riportata in figura 5.5. L'estensione delle aree potenzialmente interessate dall'utilizzo di acque saline per uso è stata stimata nell'ordine di circa 16.000 km<sup>2</sup> (Napoli e Vanino, 2011) ma non esiste attualmente una loro rappresentazione cartografica a scala nazionale. Sono maggiormente sensibili alla salinizzazione le aree irrigue non attrezzate che prelevano acqua da pozzi.



*Figura 5.5: Mappa dei comuni rurali "molto sensibili" alla desertificazione (Fonte: Elaborazione ISPRA su dati Perini et al., 2008).*

## **Analisi dei possibili impatti dei cambiamenti climatici sulle aree sensibili alla desertificazione**

Non è sempre possibile distinguere nei fenomeni di desertificazione già avvenuti il peso relativo derivante da cause dovute alle attività umane rispetto alle cause invece più direttamente legate a evoluzioni delle condizioni climatiche.

Per quanto riguarda il futuro, è comunque evidente che i cambiamenti climatici avranno un forte impatto sulla desertificazione nelle aree in cui si verificheranno riduzione delle riserve idriche ed aumento degli eventi siccitosi, di cui peraltro non esiste ancora un quadro conoscitivo nazionale.

I processi di tipo naturale (siccità, aridità, precipitazioni intense) sono infatti molto studiati dal punto di vista fenomenologico ma non è stata ancora sviluppata una sufficiente conoscenza dei loro impatti sociali ed economici e della loro influenza sui processi di degrado del territorio, né è stato individuato un indicatore che rappresenti il complesso dei processi e degli impatti precedentemente descritti.

È comunque noto che i cambiamenti climatici avranno anche un profondo impatto sulla struttura e sulle funzioni degli ecosistemi agricoli e forestali, influenzandone la composizione, la produttività, la capacità di regolazione dei cicli biogeofisici e biogeochimici e le caratteristiche radiative dei suoli (Centritto et al., 2011), poiché sia la CO<sub>2</sub> che la temperatura sono variabili chiave che determinano la copertura naturale attraverso la crescita, lo sviluppo e le funzioni delle piante.

L'aumento della CO<sub>2</sub> atmosferica influenza direttamente la fisiologia delle piante attraverso il suo effetto su fotosintesi, traspirazione e respirazione. L'aumento della temperatura ha invece effetti opposti su questi tre processi primari ed inoltre può alterare la struttura e le funzioni degli ecosistemi attraverso un aumento di velocità dei processi di sviluppo, una sostanziale variazione della durata del ciclo vegetativo, ma soprattutto mediante una più elevata domanda evapotraspirativa ed una maggiore frequenza e intensità sia dei fenomeni siccitosi che degli stress termici.

Il riscaldamento influenza gli ecosistemi modificando i rapporti di competizione tra gli organismi (possibile perdita di biodiversità) e questo a sua volta si riflette sulle altre proprietà degli ecosistemi e dei servizi che questi forniscono. I cambiamenti climatici, ove influiranno negativamente su biodiversità e servizi degli ecosistemi, potranno esacerbare i processi di desertificazione attraverso meccanismi di retroazione del complesso sistema suolo-vegetazione-acqua. Ai fini della valutazione degli impatti della desertificazione e del degrado del territorio, è stato proposto (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) di focalizzare l'attenzione sui servizi forniti dagli ecosistemi al fine di quantificare gli impatti sulla base di indicatori basati sulle rilevazioni statistiche già attualmente esistenti. La qualità e la quantità dei servizi ecosistemici sono strettamente correlate con il grado di complessità delle funzioni ecosistemiche (in particolare quelle che influenzano i cicli biogeochimici e biogeofisici, le interazioni trofiche, la fertilità del suolo, ecc.), che a loro volta sono strettamente interconnesse con il grado di complessità della

biodiversità, definito come composizione e ricchezza delle specie e loro diversità funzionale. Dati recenti mostrano che la perdita di biodiversità ha già iniziato a degradare i processi essenziali che regolano la produttività e la sostenibilità degli ecosistemi mediterranei.

I molteplici impatti dei cambiamenti climatici sulla desertificazione e sul degrado includono i beni ed i servizi forniti dagli ecosistemi forestali ed agricoli delle aree rurali comunemente definiti "servizi degli ecosistemi".

In base all'elaborazione effettuata da ISPRA dei dati di copertura del suolo CORINE 2006 (UNCCD, 2012) si stima che le aree dedicate all'agricoltura (seminativi, zone agricole eterogenee e colture permanenti) rappresentano il sistema produttivo maggiormente esteso e direttamente esposto agli impatti dei cambiamenti climatici nelle regioni maggiormente sensibili (figura 6.5). Queste aree sono maggiormente esposte a fenomeni di degrado attraverso molteplici processi quali l'erosione idrica, la perdita di sostanza organica dei suoli che potranno rendere queste aree attualmente sensibili sempre meno adatte a sostenere attività agricole remunerative.

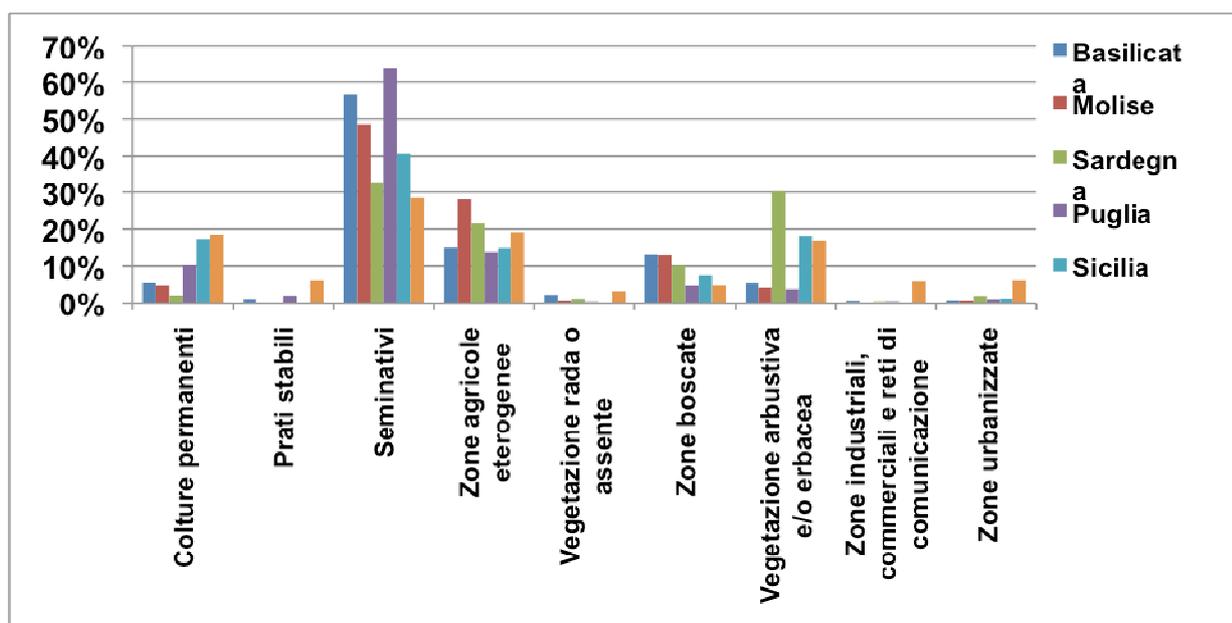


Figura 6.5: Copertura del suolo delle aree affette a livello regionale e per l'intero territorio nazionale (Fonte: elaborazione ISPRA, 2012 su dati CORINE 2006).

I boschi, che costituiscono il 5-12% del territorio nelle diverse regioni sensibili, sono esposti agli impatti di fenomeni di tipo biotico e abiotico determinati dai cambiamenti climatici. L'accumulo del carbonio nella biomassa (Produttività Primaria Netta, PPN) è un indicatore indiretto molto utilizzato per la valutazione dei trend di evoluzione del degrado del territorio.

Uno studio specifico sull'Italia per la valutazione dello stato e dell'evoluzione della copertura vegetale mediante immagini telerilevate indica che nel periodo 1993-2003 non si riscontrano sintomi di diminuzione della copertura vegetale (Della Rocca e Rossi, 2006) a scala regionale.

I risultati dello studio basato sull'elaborazione dell'indice Normalized Difference Vegetation Index, NDVI e sull'indice Rain Use Efficiency, effettuato nell'ambito del progetto LADA della FAO (Bai et al. 2008), indicano che per il periodo 1981-2003 si riscontra a livello globale un declino della PPN e che anche in Italia questo fenomeno interessa 9,5% della superficie nazionale (Bai et al., 2008).

Una metodologia di analisi sviluppata nell'ambito della realizzazione dell'atlante mondiale della desertificazione valuta l'impatto degli eventi di siccità occorsi in Europa dal 1999 al 2010 sulla PPN. I risultati preliminari (Cherlet et al., 2012) indicano che gli impatti più rilevanti sulla PPN impongono di estendere l'indagine sui fenomeni di degrado anche nelle zone umide sinora ritenute poco sensibili.

Impatti sociali quali l'abbandono o la migrazione dalle aree rurali meno produttive in conseguenza del peggioramento delle condizioni degli ecosistemi, e quindi della difficoltà di creare un reddito, sono molto importanti ma difficili da valutare in termini quantitativi. E' però significativo sottolineare che è in atto una tendenza evolutiva che mostra la progressiva diminuzione della popolazione residente nelle aree sensibili su tutto il territorio nazionale.

I dati statistici relativi alla produzione di cibo, energia e altre materie sono disponibili solo su base provinciale e non si può pertanto fornire una baseline per la quantificazione degli impatti su base comunale. Anche altri servizi degli ecosistemi con funzione di regolazione, supporto o di tipo culturale sono minacciati dalla desertificazione e dai cambiamenti climatici e mettono a repentaglio il benessere umano ma, anche se effettivamente di grande rilievo, sono attualmente anch'essi poco valutabili in termini quantitativi.

Fra i principali impatti attesi dei cambiamenti climatici, c'è la riduzione della disponibilità delle risorse idriche ed il possibile incremento dello squilibrio tra disponibilità e domanda. In alcune regioni, questo impatto potrebbe superare le condizioni di benessere e causare in futuro l'abbandono di attività produttive o flussi migratori in assenza di interventi di adattamento specificamente concepiti per le aree maggiormente sensibili alla desertificazione. Conseguentemente, la scarsità di risorse idriche non è definibile sulla base dei soli elementi naturali, ma coinvolge anche la percezione umana del mancato soddisfacimento della domanda idrica.

Le variazioni climatiche determineranno una diminuzione del contenuto di carbonio dei suoli non solo a causa della riduzione dovuta all'erosione ma anche a causa della maggiore ossidazione e mineralizzazione della sostanza organica in essa contenuta.

La distribuzione spaziale del contenuto di carbonio organico (Carbon Stock) rivela valori più elevati nelle Alpi, Appennini e Sardegna, soprattutto in corrispondenza con le foreste, mentre le

aree più povere sono le aree più intensamente coltivate delle pianure e basse colline. E' di particolare interesse notare che molte aree collinari del centro e del sud dell'Italia continentale e della Sicilia ospitano suoli soggetti a variazioni temporali sia positive che negative. Questo porterebbe a individuare questi territori come particolarmente sensibili alle variazioni di SOC. Infine, il recupero dei valori osservato nell'ultima decade potrebbe indicare un'influenza positiva dei cambiamenti apportati alla politica agricola dell'Unione Europea. Durante gli anni '90, infatti, l'Italia ha adottato le cosiddette "misure agro-ambientali" (Reg. CEE 2078/92). Tali misure sono state di vario tipo ma, essendo tutte disegnate per orientare le pratiche agricole verso una maggiore salvaguardia ambientale, è ammissibile che abbiano avuto un effetto favorevole anche sul sequestro del carbonio nel suolo.

Negli ultimi anni ISPRA, in collaborazione con ARPAV, i Servizi pedologici delle regioni (ad eccezione di Liguria, Friuli, Lazio, Valle d'Aosta e Umbria), alcuni centri del CRA (CRA-RPS e CRA- ABP) e JRC-IES, ha avviato il Progetto SIAS - Sviluppo di Indicatori Ambientali sul Suolo<sup>44</sup>, tra i cui obiettivi principali è l'armonizzazione delle informazioni sul carbonio organico dei suoli partendo dai dati già disponibili presso le regioni (approccio "bottom-up"). Seppure con tutti i suoi limiti (dati raccolti in periodi diversi, analisi effettuate da laboratori differenti, ecc.), il risultato finale rappresenta una raccolta organizzata e ragionata dei numerosi dati disponibili a livello locale, in particolare presso le singole regioni. I risultati riguardanti le quindici regioni italiane che hanno messo a disposizione le informazioni ed i dati richiesti dal SIAS mostrano nella sezione di suolo da 0 a 30 cm contenuti medi di carbonio organico che variano tra 34 e 60 tonnellate/ettaro, con valori più bassi al sud e maggiori al nord (in particolare in pianura padana). Nelle zone montuose, si registrano stock di carbonio più alti sulle Alpi (tra 59 e 103 tonnellate/ettaro) e minori lungo la dorsale appenninica (tra 50 e 58 tonnellate/ettaro).

Gli impatti sociali ed economici della desertificazione sono attualmente l'aspetto che ha ricevuto meno attenzione a livello scientifico. In Italia è noto che le condizioni economiche delle regioni maggiormente sensibili alla desertificazione in termini di prodotto interno lordo, di reddito pro capite e di reddito familiare sono dovute alle conseguenze del mancato sviluppo. Gli indicatori economici della situazione attuale costituiscono un elemento di attenzione relativo ai possibili impatti dei cambiamenti climatici. Alcune delle regioni maggiormente sensibili (Sicilia, Sardegna, Puglia, Molise) manifestano un notevole ritardo di sviluppo rispetto alla media del paese. La povertà relativa e la povertà assoluta nel complesso delle regioni meridionali dal 2008 al 2011 sono notevolmente più alte rispetto alla media nazionale. Le famiglie povere nel mezzogiorno, che hanno reddito mensile medio di 785 Euro, rappresentano il 22,3% della popolazione rispetto a una media nazionale del 11,1% ed inoltre, in queste regioni l'agricoltura contribuisce al PIL regionale con una quota superiore al 20%. Non esistono però attualmente statistiche e analisi sulla povertà e sul reddito da attività agricole disaggregate per comune e non è pertanto possibile stimare a livello sub-regionale la situazione attuale. I possibili impatti dei cambiamenti climatici sulle attività

---

<sup>44</sup> <http://www.isprambiente.gov.it/files/doc-suoli/14dileginio.pdf>.

agricole delle regioni sensibili alla desertificazione potranno avere un'incidenza maggiore sulla povertà e sul bilancio delle regioni che maggiormente dipendono dall'agricoltura.

## **Azioni di adattamento intraprese in Italia**

Alla luce di queste considerazioni, la lotta al degrado del territorio e alla desertificazione si configura come:

- riduzione della vulnerabilità dei suoli alle pressioni antropiche e climatiche;
- mitigazione del degrado del suolo e degli effetti della siccità;
- adattamento proattivo alle dinamiche climatiche;
- stretta interazione tra le azioni di riduzione della vulnerabilità dei suoli, mitigazione del degrado e adattamento ai cambiamenti climatici;
- promozione degli effetti positivi sulle risorse biotiche ed abiotiche;
- promozione/recupero dei servizi ecosistemici.

Finora, in Italia la principale strategia di riduzione della vulnerabilità alla desertificazione e di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici sul degrado del territorio è stato il Programma di Azione Nazionale di Lotta alla Desertificazione - PAN (CIPE 229/99) lanciato all'inizio del 2000. Il PAN era basato su un sistema di azioni a livello nazionale e regionale, attribuendo a Regioni ed Autorità di Bacino l'elaborazione e l'attuazione di misure specifiche a carattere agronomico, forestale, civile e sociale, accompagnate e sostenute da specifici piani di informazione, formazione ed educazione, in alcuni settori individuati come prioritari:

1. protezione del suolo;
2. gestione sostenibile delle risorse idriche;
3. riduzione dell'impatto sull'ambiente delle attività produttive;
4. riequilibrio del territorio.

Il Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione – CNLD, al quale è stato attribuito il compito di realizzare il PAN, ha lanciato subito dopo una consultazione ad ampio raggio di Regioni ed Autorità di Bacino che hanno presentato valutazioni, studi e proposte di azione a scala locale che hanno coperto ben l'87% del territorio nazionale. Le proposte hanno riguardato sostanzialmente azioni finalizzate ad ampliare la conoscenza, la pianificazione e l'informazione (programmi, piani, studi e monitoraggio, creazione di banche dati, mappature) ed azioni sul campo a carattere infrastrutturale e di adattamento/mitigazione. In linea con tali proposte, le risorse finanziarie successivamente disponibili (circa 5 milioni di Euro tra il 2004 e il 2008,

finanziati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - MATTM) sono state finalizzate:

In una prima fase, al miglioramento del quadro conoscitivo a scala nazionale e all'avvio della realizzazione di una rete di collaborazione e confronto tra istituzioni nazionali e internazionali

In una seconda fase (dal 2004 al 2008 circa), sono state promosse attività di:

- formazione e diffusione delle informazioni;
- promozione di **Piani di Azione Locale - PAL** e di **Progetti Pilota** a livello locale, che hanno consentito anche lo sviluppo e l'aggiornamento di mappature a scala locale, con particolare priorità per le regioni dove esistono aree particolarmente sensibili.

Per quest'ultima tipologia di attività, sono stati coinvolti sia Università e Istituti di ricerca presenti sul territorio, sia Enti territoriali e Amministrazioni Pubbliche. In particolare, il finanziamento è stato accordato direttamente a Università e Istituti di ricerca per la realizzazione di studi e analisi finalizzati, nel caso dei PAL, a individuare in dettaglio le iniziative prioritarie di lotta alla desertificazione nel territorio di propria competenza, coinvolgendo gli Enti Territoriali. Per i Progetti Pilota, le dotazioni finanziarie sono state attribuite agli Enti territoriali (essenzialmente Regione o Provincia) che, in collaborazione con Università e Istituti di ricerca, hanno poi promosso azioni e programmi operativi, accompagnati anche da iniziative di gemellaggio con Paesi in Via di Sviluppo per "internazionalizzare" le conoscenze sviluppate internamente. Quindi, attori cardine per i PAL e i Progetti Pilota (che hanno interessato in totale undici regioni o province) sono stati sia gli Enti Locali, che hanno indirizzato i programmi, sia le istituzioni tecnico - scientifiche locali, con la funzione di partner operativi.

A livello europeo, la Commissione Europea ha adottato una Strategia Tematica del suolo (CE, 2006a) e lanciato la proposta di una direttiva quadro sul suolo (CE, 2006b)<sup>45</sup> per creare le condizioni utili ad assicurare un adeguato e omogeneo livello di protezione del suolo in Europa. La proposta di Direttiva era stata avviata lungo il percorso istituzionale per la sua adozione, è stata recentemente ritirata in vista della preparazione di una nuova versione aggiornata.

La nuova Politica Agricola Comune - PAC, che detta gli impegni ai quali ogni agricoltore deve fare riferimento, contiene misure la cui osservanza consentirebbe, o almeno faciliterebbe, la prevenzione della degradazione del suolo. Tali impegni sono suddivisi in due grandi categorie:

- Criteri di gestione obbligatori (CGO), ovvero disposizioni di legge, Atti, già in vigore e derivanti dall'applicazione nazionale di corrispondenti disposizioni comunitarie.

---

<sup>45</sup> La Strategia è parte integrante delle Strategie Ambientali europee mentre la proposta di Direttiva è stata avviata lungo il percorso istituzionale per la sua adozione, incontrando ostacoli frapposti da alcuni Paesi che non intendono modificare le normative nazionali.

- Buone Condizioni Agronomiche e Ambientali (BCAA), indicate con Norme, stabilite a livello nazionale.

Inoltre, il quadro mediterraneo rappresenta per l'Italia una cornice di riferimento importante, per ragioni geografiche, ambientali e politiche. A tale scala, la Sedicesima Assemblea Euro-Mediterranea delle Comunità Locali, ARLEM 16, ha delineato una strategia per l'integrazione a livello locale e regionale delle politiche di lotta alla desertificazione e ai cambiamenti climatici in una prospettiva generale di crescita sostenibile e sinergica con le strategie per i cambiamenti climatici. Tale strategia si basa sulla necessità di una governance maggiormente democratica e trasparente delle risorse naturali e il riconoscimento della centralità della risorsa acqua, collegata ad adeguate conoscenze sulla sua effettiva disponibilità e ad una gestione sostenibile che riconosca la necessità di modificare i modelli di produzione e di consumo e che valorizzi anche le conoscenze locali. Una strategia che si iscriva nella cornice dello sviluppo sostenibile e che tenga conto delle possibilità di incremento del reddito rurale e dei livelli occupazionali di qualità, anche attraverso la promozione di azioni per il rafforzamento della filiera agro-alimentare, la creazione, di nuove possibilità di reddito e occupazione nelle aree rurali, lo sviluppo delle energie rinnovabili.

Infine, proprio in supporto alle azioni di lotta alla desertificazione, il PAN ha previsto sin dal suo avvio la necessità di stimolare le attività di ricerca nonché di formazione ed educazione ambientale. In tale quadro, il Ministero della Ricerca Scientifica ha stanziato 8,7 milioni di Euro nel Programma Operativo Nazionale di "Ricerca, Sviluppo Tecnologico ed Alta Formazione 2000 – 2006". I fondi sono stati assegnati al Consorzio ACS-ENEA-UNISS per la realizzazione del Progetto RIADE (Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla Desertificazione), il più grande progetto di ricerca a livello nazionale per la lotta alla desertificazione. Attività di ricerca sono state realizzate da varie Università e Istituzioni di ricerca (CNR, ENEA, ISPRA, INEA, ecc.), ed hanno riguardato sostanzialmente la messa a punto di metodi e strumenti di valutazione, anche economica, di mappature a scala locale, di meccanismi di diffusione delle informazioni, ecc.

Per quanto riguarda le attività di formazione nell'ambito del progetto RIADE il Nucleo di Ricerca sulla Desertificazione dell'Università di Sassari (NRD) ha realizzato, in collaborazione con l'Università della Basilicata, un master universitario di primo di livello della durata di 18 mesi. Il CNLD ha sostenuto poi la realizzazione di alcune iniziative di carattere didattico e formativo per studenti di scuole secondarie e università nonché di operatori regionali. Anche l'Università della Basilicata e della Toscana hanno dedicato all'interno dei loro programmi didattici lezioni tematiche, master di secondo livello e corsi volontari al tema della desertificazione destinati anche alla formazione di tecnici delle istituzioni regionali. Sono state inoltre promosse attività didattiche e di sensibilizzazione anche attraverso la realizzazione del progetto DesertArt che ha coinvolto istituti secondari del Lazio, dell'Abruzzo e della Sicilia.

L'impegno d'informazione e divulgazione delle tematiche della desertificazione è stato inoltre oggetto di conferenze e convegni organizzati in occasione delle celebrazioni della giornata mondiale per la lotta alla desertificazione (Palermo, Sassari, Bari e Roma).

## **Verso l'individuazione di politiche ed azioni di adattamento**

L'identificazione e la valutazione delle misure di lotta al degrado del suolo e alla desertificazione, risultano particolarmente difficili, oltre che per la mancanza di letteratura, anche per alcuni caratteri distintivi del fenomeno, che lo distinguono dagli altri tipi di impatto considerati, e in particolare: a) la non perfetta coincidenza fra obiettivi di adattamento ai cambiamenti climatici e strategie di intervento contro la desertificazione; b) aspetti terminologici e contenutistici legati al significato stesso dei termini di "adattamento" e mitigazione nel contesto della desertificazione; c) la natura dei processi di adattamento.

Il primo carattere distintivo è costituito dal fatto che, nel caso del degrado del suolo e della desertificazione, politiche di lotta a questi fenomeni possano solo parzialmente definirsi politiche di adattamento ai cambiamenti climatici. Infatti, degrado del suolo e desertificazione sono il risultato di diversi fattori di pressione, che includono ma non si esauriscono nei cambiamenti climatici. Di conseguenza, misure che combattono il degrado del suolo costituiscono un tentativo di adattamento a tutta una serie di pressioni ambientali di origine sia naturale sia antropica, fra cui anche i cambiamenti climatici. Questi ultimi, di fatto, non fanno che aggiungere un ulteriore fattore di incertezza previsionale e valutativa e pongono l'esercizio valutativo in un'ottica dinamica, alla luce dei trend di variazione delle variabili climatiche che, quando considerati, impediscono di basare le decisioni su dati esclusivamente storici.

La seconda peculiarità è dovuta al fatto che, nella letteratura sulla desertificazione, i termini "adattamento" e "mitigazione" spesso si confondono, in quanto gli interventi proposti hanno spesso un ruolo misto. Non a caso, si preferisce in genere utilizzare il termine più generale di "lotta alla desertificazione". Le misure di lotta, infatti, generalmente si concentrano sui rapporti suolo-vegetazione e sul ciclo idrologico, e quindi su specifiche politiche ambientali che includono la razionalizzazione dell'uso della risorsa idrica, la pianificazione dell'uso del suolo, misure agro-forestali e di difesa del suolo. È evidente che alcune di queste misure, come il recupero del valore produttivo del suolo attraverso, ad esempio, la riforestazione oppure l'utilizzo di pratiche sostenibili costituiscono, al tempo stesso, misure di mitigazione del cambiamento globale, in termini riduzione delle emissioni, ma anche di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici e contrasto alla desertificazione tramite la protezione del suolo e il mantenimento della sua produttività biologica ed economica.

Il terzo e ultimo fattore peculiare della desertificazione rispetto ad altri impatti dei cambiamenti climatici è la natura dei processi di adattamento. In generale, l'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici coinvolge sia i sistemi naturali che socio-economici, ed in entrambi i casi può essere autonomo o pianificato. Nel caso della maggioranza degli impatti dei cambiamenti climatici, queste due forme di adattamento coesistono. Va notato però che è insito nella definizione stessa di desertificazione il concetto di superamento della soglia di resistenza del sistema e quindi il generarsi di una situazione di degrado non reversibile attraverso processi di adattamento autonomo. Tale superamento della soglia critica comporta necessariamente la perdita di un determinato insieme di funzioni, ovvero di "servizi ambientali" del sistema suolo. Nella misura in

cui ci si ponga come obiettivo la salvaguardia di tali funzioni, e si tratti quindi la desertificazione in senso stretto, sembra necessario ricorrere a politiche di adattamento pianificate e anticipate. Va rilevato che, nella proposta di strategie di lotta pianificata alla desertificazione, si cerca sempre di privilegiare un approccio multi-obiettivo, nel quale la lotta al degrado della risorsa suolo viene generalmente vista nel contesto più ampio che ingloba anche altre dimensioni, prima fra tutte la gestione delle risorse idriche, a maggior ragione, la lotta alla desertificazione non può che diventare quindi una delle dimensioni (e degli obiettivi) da considerare nelle politiche di adattamento e nelle pratiche di *climate proofing*, ossia nella verifica che le strategie proponibili garantiscano di non generare possibili effetti collaterali negativi.

La mitigazione del rischio desertificazione e, in generale, degli effetti negativi dei cambiamenti climatici sul suolo deve comunque essere basata sulla conoscenza e sulla valutazione delle specifiche problematiche dell'area degradata di riferimento, viste le caratteristiche diverse con cui i fenomeni si presentano.

Presupposti di base appaiono quindi l'attuazione di sistemi e piani di monitoraggio e la predisposizione di analisi di scenario a scala locale e nazionale che, insieme alla sistematizzazione dei più importanti processi di degrado delle terre e dei relativi sistemi di prevenzione e recupero, possano fornire le indicazioni specifiche per l'individuazione delle specifiche misure di prevenzione, riduzione della vulnerabilità e adattamento.

Attualmente, circa il 60% (realizzato da 11 regioni su 20) del territorio italiano dispone delle mappature di sensibilità alla desertificazione previste dalla L. 152/2006 che costituiscono una base conoscitiva utile.

## **Valutazione economica delle misure di adattamento nelle zone a rischio di desertificazione<sup>46</sup>**

Rispetto alla valutazione economica di misure di lotta al degrado del suolo ed alla desertificazione, la letteratura internazionale è molto scarsa. E' importante precisare che il calcolo dei costi è un aspetto importante nella valutazione dell'adattamento, ma costituisce solo una delle componenti da considerare per la scelta delle misure più appropriate.

Di volta in volta, secondo il contesto specifico e delle possibilità applicative, potrà interessare valutare costi, benefici, efficacia, costo-efficacia, o utilità sociale, in senso lato, delle misure di adattamento.

Uno schema di lavoro generico per il processo valutativo potrebbe essere basato su quattro fasi principali: a) l'analisi e la strutturazione del problema decisionale; b) l'identificazione della scala spaziale e temporale di riferimento per l'analisi dei costi; c) la stima dei costi dell'inazione, considerando gli usi del suolo rilevanti rispetto ai sistemi di degradazione di riferimento per la valutazione (ad es.: erosione idrica, deposizione, urbanizzazione, salinizzazione, aridità), integrato da una specifica valutazione economica degli impatti socio-economici diretti, inclusi i servizi ecosistemici, e di quelli indiretti, e da analisi di un set di plausibili scenari climatici e socio-economici; d) la valutazione economica delle possibili misure di adattamento, utilizzando la più adatta fra Analisi Costi-Benefici, Analisi Costi-Efficacia, e Analisi Multicriteri.

In base all'analisi costi-benefici (ACB) una misura di adattamento viene valutata attraverso l'identificazione, la quantificazione e la monetizzazione dei costi e dei benefici associati alla misura in esame. L'analisi costi-efficacia (ACE) parte invece da un obiettivo predeterminato e indaga, fra tutti i possibili modi di raggiungerlo, quello meno costoso. Infine, l'analisi multicriteriale (AMC) si riferisce a un approccio che ha lo scopo di determinare una preferenza complessiva fra diverse alternative, dove ogni alternativa è valutata sulla base della sua performance rispetto ad un insieme di criteri decisionali aggregati in un indice complessivo di performance di ogni alternativa considerata.

---

<sup>46</sup> Ripresa e adattata da Giupponi et al. (2008).

## Bibliografia

- AA. VV. (2006). La lotta alla desertificazione in Italia: stato dell'arte e linee guida per la redazione di proposte progettuali di azioni locali, a cura di Giuseppe Enne e Anna Luise. APAT, Manuali e linee guida 41/2006.
- AA. VV. (2008). Il suolo, la radice della vita, APAT, Pubblicazioni di pregio.
- AA.VV. (2009). La desertificazione e il degrado del territorio, pp 161-174. In: I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti, Bononia University Press.
- Arca, B., Pellizzaro, G., Duce, P., Salis, M., Bacciu, V., Spano, D., Ager, A., Scoccimarro, E. (2012). Potential changes in fire probability and severity under climate change scenarios in Mediterranean areas. In: Modelling Fire Behaviour and Risk (Spano, D., Bacciu, V., Salis, M., Sirca C., ed). Nuova Stampa Color: pp 92-98. ISBN: 978-88-904409-7-7.
- Armas, R., Caetano, M., Carrão, H., Soares, A., Pereira, M.J., Gutierrez, A., Rocha, A., Pace, G., Zucca, C., Del Barrio, G., Paganini, M., Earth Observation from Space to Support The UCCD: The Desertwatch Extension Project., [http://www.desertwatch.info/images/stories/Letizia\\_allegati/1870139armas.pdf](http://www.desertwatch.info/images/stories/Letizia_allegati/1870139armas.pdf).
- Bai, Z.G., Dent, D.L., Olsson, L., Schaepman, M. E. (2008). Proxy global assessment of land degradation, Soil Use and Management 24, 223–234. doi: 10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x
- Biafiore, M., Guiducci, F., Lisi, A., Lugeri, N. (2002). National preliminary map of Italian areas prone to desertification. In Map and Soil at the Third Millennium, Rubio, J.L., Morgan, R.P.C., Asins, S., Andrei, V. (eds). Geoforma, Logrono II: 133–1399.
- Carrión, J.S., Sanchez-Gomez, P., Mota, J.F., Yll, R., Chain, C. (2003). Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gador, southern Spain, The Holocene 13, 839–849. doi: 10.1191/0959683603HL662RP.
- CE (2002). Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo, al Comitato economico e sociale e al Comitato delle regioni, Verso una strategia tematica per la protezione del suolo. COM (2002) 179.
- CE (2006) a. Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni, Strategia tematica per la protezione del suolo. COM (2006) 231 definitivo.
- CE (2006)b. Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per la protezione del suolo e modifica la Direttiva 2004/35/CE. COM (2006) 232 definitivo.
- CE (2009). Documento di lavoro dei servizi della Commissione che accompagna il Libro Bianco, L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo. SEC(2009) 417.
- CE (2009). Libro Bianco, L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo. COM(2009) 147 definitivo.
- CE (2011). Proposta di Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR). COM(2011) 627 definitivo.
- Ceccarelli, T., Giordano, F., Luise, A., Perini, L., Salvati, L. (2006). La vulnerabilità alla desertificazione in Italia: raccolta, analisi, confronto e verifica delle procedure cartografiche di mappatura e degli indicatori a scala nazionale e locale. APAT, Manuali e linee guida 40/2006.
- Centritto, M., Tognetti, R., Leitgeb, E., Stelcová, K. & Cohen, S. (2011). Above ground processes: Anticipating climate change influences. In: Forest Management and the Water Cycle: An Ecosystem-Based Approach (Bredemeier M., Cohen S., Godbold D.L., Lode E., Pichler V. & Schleppei P., eds), pp. 31-64. *Ecological Studies* 212. Springer Dordrecht.

- CIPE (1999). Programma Nazionale di Lotta alla Desertificazione, 299/1999.
- Cherlet, M., Sommer, S., Ivtis, E. (2012). European Commission, DG Joint Research Centre, IES Compilation of a New Atlas of Desertification and contribution to a Global Assessment. Atti del workshop: Sviluppo e conservazione dei servizi degli ecosistemi contro siccità e desertificazione, Roma, 14-15 giugno 2012.
- Costantini, E.A.C., Urbano, F., Aramini, G., Barbetti, R., Bellino, F., Bocci, M., Bonati, G., Fais, A., L'Abate, G., Loj, G., Magini, S., Napoli, R., Nino, P., Paolanti, M., Perciabosco, M., Tascone, F. (2009). Rationale and methods for compiling an atlas of desertification in Italy, *Land degradation & Development* 20, 261–276. doi: 10.1002/ldr.908
- Costantini, E.A.C., Urbano, F., Bonati, G., Nino, P., Fais, A. (curatori) (2007). Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione. INEA, Roma, pp. 108.
- Dell'Aquila, A., Calmanti, S., Ruti, P., Struglia, M.V., Pisacane, G., Carillo, A., Sannino, G. (2012). Effects of seasonal cycle fluctuations in an A1B scenario over the Euro-Mediterranean region, *Climate Research* 52, 135-157. doi: 10.3354/cr01037
- Della Rocca, B., Rossi, L. (2006). Valutazione dello stato ed evoluzione della Copertura vegetale in Italia mediante immagini telerilevate, ENEA.
- Di Leginio, M., Fumanti, F. (2012). Il progetto SIAS, un approccio *bottom-up* per la costruzione di indicatori ambientali sul suolo (carbonio organico e erosione idrica) a scala nazionale. Atti del workshop: Sviluppo e conservazione dei servizi degli ecosistemi contro siccità e desertificazione, Roma, 14-15 giugno 2012.
- DISMED (2002). (Genesio, L., Di Vecchia, A., Candelori, M., Gentile, A.R.). Map of sensitivity of desertification and drought, DISMED project, (UNCCD Secretariat, EEA, CNR-IBIMET/FMA), <http://dismed.eionet.europa.eu/>.
- EEA (2008). Mapping sensitivity to desertification (DISMED): <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/sensitivity-to-desertification-and-drought-in-europe/mapping-sensitivity-to-desertification-dismed-2008/mapping-sensitivity-to-desertification-dismed-2008> (October 2012).
- Enne, G., Zucca, C. (a cura di) (2000). Indicatori di desertificazione per il Mediterraneo Europeo, ANPA, ISBN – 88-448-0272-4.
- Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A., Nolè, A. (2012). Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability, *Ecological Indicators* 23, 123–129. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.03.015
- Genesio, L., Di Vecchia, A., Candelori, M., Gentile, A. R. (2002). Map of Sensitivity to Desertification and Drought, DISMED Project (UNCCD Secretariat; EEA; CNR IBIMET/FMA), <http://dismed.eionet.europa.eu/>.
- Giupponi, C., Gambarelli, G., Gorla, A. (2008). La desertificazione, i costi dell'inazione e la valutazione delle opzioni di adattamento ai cambiamenti climatici. In: Carraro, C. (Ed.), *Cambiamenti Climatici e strategie di adattamento in Italia. Una valutazione economica*. Il Mulino, Bologna, pp. 173-234.
- INEA (2011). Valutazione del rischio di salinizzazione dei suoli e di intrusione marina nelle aree costiere delle regioni meridionali in relazione agli usi irrigui, <http://dSPACE.inea.it/handle/inea/445>.
- ISPRA, Bollettino Siccità: [http://www.isprambiente.it/pre\\_meteo/siccitas/index.html](http://www.isprambiente.it/pre_meteo/siccitas/index.html).
- ISPRA (2012). *Annuario dei dati Ambientali 2011, serie Stato dell'Ambiente*, 25/2012.
- ISPRA (2012b). *Tematiche in Primo Piano, serie Stato dell'Ambiente*, 26/2012.
- ISPRA (2013). *Annuario dei dati Ambientali 2012, serie Stato dell'Ambiente*, 38/2013.
- ISPRA (2014). *Il consumo di suolo in Italia, serie Rapporti*, 195/2014.

ISTAT (2002). La povertà e l'esclusione sociale nelle regioni italiane.

Kosmas, C., Ferrara, A., Briassouli, H., Imeson, A. (1999). Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. In: Kosmas, K., Kirkby, M., Geeson, N. (Eds.), *The Medalus Project Mediterranean Desertification and Land Use. Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping. Project Report*, European Union 18882, pp. 31-47, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**[publicdownloads/ESA%20Manual.pdf](#).

Middleton, N., Thomas, D. (eds) (1997). *World Atlas of Desertification*, Arnold, London.

Millenium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being, Desertification - Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.

Napoli, R., Vannino, S. (2011). Valutazione del rischio di salinizzazione dei suoli e di intrusione marina nelle aree costiere delle regioni meridionali in relazione agli usi irrigui, INEA.

Pausas, J.G., Verdú, M. (2008). Fire reduces morphospace occupation in plant communities. *Ecology* 89, 2181–2186. doi: 10.1890/07-1737.1.

Perini, L., Salvati, L., Zitti, M., Sorrenti, S., Ceccarelli, T. (2008). *La desertificazione in Italia. Processi, indicatori, vulnerabilità del territorio*. Bonanno Editore, Roma-Acireale, 192 pagine + DVD-datawarehouse + 4 mappe poster in allegato. ISBN 88-7796-422-7.

Quaranta, G., Salvia, R. (2005). ManPrAs tool. In: Brandt, J. (Editor). [Version date as given on the "index" page]. *DIS4ME: Desertification Indicator System for Mediterranean Europe*.

Quaranta, G., Salvia, R. (2005). *Riqualificazione e gestione del territorio, lotta alla desertificazione e sviluppo sostenibile - Buone pratiche per i territori rurali*, (a cura di), Franco Angeli.

Quaranta, G., Salvia, R. (2006). La valutazione dell'impatto delle pratiche agricole sulla conservazione del suolo. Uno strumento a supporto dell'implementazione della cross-compliance e delle misure di sviluppo rurale. In: "Agricoltura e mercati in transizione, Atti del XLIII Convegno di Studi Sidea, Assisi, 7-9 settembre 2006" Antonio Boggia e Gaetano Martino (a cura di), Franco Angeli.

Salvati, L., Bajocco, S. (2011). Land Sensitivity to desertification across Italy, *Applied Geography* 31, (1), 223-231. doi: 10.1016/j.apgeog.2010.04.006.

Sciortino, M., Caiaffa, E., Fattoruso, G., Donolo, R., Salvetti, G. (2009). Climate and desertification: indicators for an assessment methodology, *Advances in studies on desertification: contributions to the International Conference on Desertification in memory of professor J. Thorns*, ISBN 978-84-8371-888-9, pag. 427-430.

Sciortino, M., Bucci, M., Caiaffa, E., Casali, O., Donolo, R.M., Fattoruso, G., Salvetti, G. (2007). Water resources assessment in dry lands: a case study. Poster session, 8th Conference of the Parties, UNCCD, (3-14 September 2007, Palacio de Congresos, Madrid, Spain).

Sommer, S., Zucca, C., Grainger, A., Cherlet, M., Zougmore, R., Sokona, Y., Hill, J. (2011). Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales, *Land Degradation & Development* 22 (2), 184–197. doi: 10.1002/ldr.1084.

UNCCD (2012). Fourth UNCCD reporting cycle 2010–2011, Italy Affected Country Party Report 2012, <http://www.unccd-prais.com/Data/Reports>

Verdú, M., Pausas, J.G. (2007). Fire drives phylogenetic clustering in Mediterranean Basin woody plant communities, *Journal of Ecology* 95 (6), 1316-323. doi: 10.1111/j.1365-2745.2007.01300.x.

# Dissesto idrogeologico

## Sintesi

Gli eventi di dissesto idrogeologico (inondazioni, colate detritiche, frane, erosione, sprofondamenti) che si sono verificati di recente nel Paese hanno riproposto all'attenzione dell'opinione pubblica il tema dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla frequenza e l'intensità di eventi estremi di natura idrologica e geomorfologica. E' evidente che la vulnerabilità del Paese sta subendo profondi cambiamenti, soprattutto nei confronti degli eventi che si estrinsecano su scale temporali ridotte. A ciò concorrono anche l'espansione urbana che ha interessato tutta l'Italia in modo rilevante dal dopoguerra, l'occupazione di aree prima disponibili per l'invaso dei volumi di piena e il progressivo abbandono della funzione di manutenzione e presidio del territorio (ANCE/CRESME, 2012).

I cambiamenti climatici in atto agiscono su due elementi essenziali del clima: le temperature atmosferiche e le precipitazioni, queste ultime in soluzione più diversificata e con diversa incidenza su diverse aree geografiche. L'aumento delle temperature ha effetti che variano in funzione della quota e della latitudine. Alle quote e alle latitudini più basse, l'aumento della temperatura comporta un incremento dell'evapotraspirazione, con effetti prevalentemente (anche se lievemente) stabilizzanti. A quote e latitudini più elevate, prevale il maggiore apporto idrico dovuto alla fusione di neve, ghiaccio e permafrost, oltre che all'innalzamento dell'isoterma zero, con un incremento delle precipitazioni liquide rispetto a quelle nevose. In questo caso, gli effetti del rialzo termico sono prevalentemente destabilizzanti. E' opportuno rilevare come l'ambiente alpino stia sperimentando aumenti delle temperature atmosferiche superiori ai valori medi globali (in analogia con quanto riscontrato per le alte latitudini), ed è importante ricordare come la dinamica dello scioglimento e del movimento delle masse nivali abbia pure subito cambiamenti significativi (Bocchiola et al., 2009).

Gli effetti dei cambiamenti climatici sui fenomeni di dissesto sono eterogenei, sostanzialmente perché diversa è l'azione filtro, ossia la relazione causa-effetto, operata dal bacino idrografico. Gli stessi cambiamenti climatici producono effetti diversi in dipendenza delle caratteristiche dell'area geografica dove si verifica la sollecitazione climatica.

Le premesse descritte si basano su recenti risultati di ricerca scientifica in ambito internazionale che hanno rilevato la necessità che lo studio dell'impatto dei cambiamenti climatici sia condotto analizzando le variazioni ambientali nella loro interezza. E' necessario affiancare allo studio del clima l'analisi dei cambiamenti d'uso del suolo, dei versanti e delle aste fluviali, e dell'assetto urbano. Occorre analizzare il sistema congiunto clima-idrologia-geologia, includendo negli studi d'impatto l'analisi del cambiamento idrologico, ossia il cambiamento del sistema che fa da tramite fra le sollecitazioni climatiche e i fenomeni di dissesto. Ciò richiede un approccio intersettoriale di sintesi, in linea con i recenti orientamenti della comunità scientifica internazionale sulle istanze

emergenti a livello globale per la decade scientifica 2013-2022). Un aspetto al quale occorre conferire la massima attenzione nel futuro è quello degli impatti e delle retroazioni con le dinamiche sociali e le infrastrutture. I cambiamenti climatici e idrologici rendono necessaria e indifferibile l'analisi del rischio connesso alla gestione degli invasi artificiali (dighe e laghi) e delle infrastrutture in genere che interagiscono con le acque e con i versanti. L'Italia possiede i dati, le informazioni e le risorse per compiere un esame critico della situazione del Paese, in tempi compatibili con le esigenze ambientali e sociali. E' indispensabile agire con tempestività, considerata la rapidità con cui i cambiamenti climatici, idrologici e ambientali in genere si stanno verificando, e tenuto conto che gli scenari concordano nell'indicare per il prossimo futuro una prosecuzione dell'andamento attuale (IPCC, 2013).

## **Introduzione**

Gli eventi di dissesto idrogeologico (inondazioni, colate detritiche, frane, fenomeni erosivi, sprofondamenti) che si sono verificati di recente nel Paese hanno sensibilizzato l'opinione pubblica sul tema dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla frequenza e sull'intensità di eventi estremi di natura idrologica e geomorfologica. E' evidente che la vulnerabilità del Paese sta variando significativamente, soprattutto nei confronti degli eventi che si estrinsecano su scale temporali ridotte. Ne sono conferma le alluvioni in Sicilia nel 2009, in Toscana e Liguria nel 2011, in Toscana nel 2012 ed in Sardegna nel 2013.

In Italia, l'andamento dei fenomeni di dissesto idrogeologico negli ultimi cinquanta anni mostra un progressivo aumento dei danni indotti. L'espansione urbana che ha interessato tutto il Paese in modo rilevante dal dopoguerra ha determinato l'antropizzazione di territori fragili, esponendo ad un rischio elevato la popolazione. Inoltre, il mutato stile di vita della popolazione ha determinato un progressivo allontanamento dalle aree interne rurali verso i centri urbani, e il conseguente abbandono della funzione di manutenzione e presidio territoriale che contribuiva a mantenere l'equilibrio del territorio (ANCE/CRESME, 2012). L'urbanizzazione della popolazione ha anche mutato la percezione del rischio da parte della popolazione stessa.

Le evidenze confermano recenti risultati di ricerca scientifica in ambito internazionale che hanno rilevato la necessità che lo studio dell'impatto dei cambiamenti climatici sia condotto analizzando le variazioni ambientali nella loro interezza. E' necessario affiancare allo studio del clima l'analisi dei cambiamenti d'uso del suolo, dei versanti e delle aste fluviali, e dell'assetto territoriale e urbano. Occorre analizzare il sistema congiunto clima-meteorologia-idrologia-geologia, includendo negli studi d'impatto l'analisi del cambiamento idrologico, ossia il cambiamento del sistema che fa da tramite fra le sollecitazioni climatiche e i fenomeni di dissesto. Tale sistema include il bacino idrografico, il suolo, il sottosuolo e i tessuti urbani. L'analisi del sistema ambiente nel suo complesso è la chiave per decifrare l'impatto dei cambiamenti climatici, e per la corretta pianificazione di misure di mitigazione e adattamento.

La situazione descritta richiede un approccio intersettoriale di sintesi, in linea con i recenti orientamenti della comunità scientifica internazionale in merito alle istanze emergenti a livello

globale per il decennio 2013-2022<sup>47</sup>. L'Italia possiede i dati, le informazioni e le risorse per completare un esame critico della situazione del Paese, in tempi compatibili con le esigenze ambientali e sociali. Si tratta di un'operazione non facile ma foriera di benefici che, nell'ambito del dissesto idrogeologico, possono essere ottenuti con provvedimenti compatibili con la situazione economica, sociale e culturale del Paese. E' indispensabile agire con tempestività, considerata la rapidità con cui i cambiamenti climatici e ambientali si stanno verificando, e tenuto conto che gli scenari concordano nell'indicare per il prossimo futuro una prosecuzione dell'andamento attuale (IPCC, 2013).

---

<sup>47</sup> Ad esempio [www.iahs.info/pantarhei](http://www.iahs.info/pantarhei).

## Terminologia

**Un'inondazione** è l'allagamento in tempi brevi di un'area che non è normalmente interessata dal deflusso delle acque.

**Una frana** è un movimento di una massa di roccia, terra o detrito lungo un versante.

**Un'alluvione** è un evento causato da avverse condizioni meteorologiche caratterizzato da piogge intense o prolungate che provocano inondazioni e/o frane.

**Una catastrofe (idrogeologica)** è evento (idrogeologico) con conseguenze gravi. Una calamità (idrogeologica) è un disastro, un evento (idrogeologico) con conseguenze gravissime.

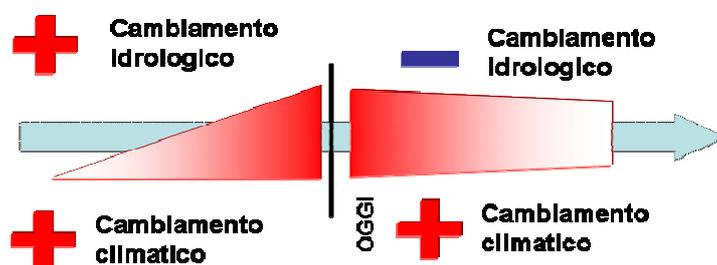
Nella lingua italiana l'**aggettivo "idrogeologico"** è utilizzato per indicare o descrivere un complesso di fenomeni, processi ed effetti relativi a piene, inondazioni, frane, erosioni e sprofondamenti; come in "evento idrogeologico", "dissesto idrogeologico", "rischio idrogeologico", "natura idrogeologica", "vulnerabilità idrogeologica" o "catastrofe idrogeologica". Ciò è in contrasto con l'utilizzo fatto del termine "idrogeologico" nella letteratura internazionale, e in particolare in quella in lingua inglese, e con il significato e l'etimologia del sostantivo "idrogeologia". Nella letteratura internazionale, il sostantivo "*hydrogeology*" (o "*geohydrology*") è utilizzato per indicare la disciplina che studia la distribuzione e il movimento dell'acqua nei suoi e nelle rocce, ossia negli acquiferi. Il termine è composto da "*hydro*" che significa "acqua" e "*geology*" che significa "geologia", ossia lo studio della Terra. Il corrispondente di "*hydrogeology*" nella lingua italiana è il sostantivo "idrogeologia", che è la disciplina, parte della geologia e dell'idrologia, che si occupa degli acquiferi e della distribuzione e del moto dell'acqua nel sottosuolo. Sebbene vi siano strette relazioni fra la distribuzione e il moto dell'acqua nel terreno e i fenomeni di "dissesto idrogeologico", non tutti i fenomeni di dissesto idrogeologico sono legati alla presenza di acqua o alle condizioni idrogeologiche nel terreno (le frane possono essere innescate da fenomeni sismici, attività vulcanica, o azioni termiche), e l'idrogeologia non è la sola (o la principale) disciplina che studia i fenomeni di "dissesto idrogeologico". Nel mondo accademico e in campo applicativo, i processi, i fenomeni e i problemi di "dissesto idrogeologico" sono studiati e affrontati, con molte e proficue sovrapposizioni, dall'idrologia e dall'idraulica ("rischio idrologico" e "rischio idraulico"), dalla geologia, dalla geomorfologia, dalla geotecnica e dalla geo-meccanica ("rischio da frana", "rischio da colata di detrito"), dalla pedologia e dalle scienze agrarie e forestali. Il complesso dei fenomeni e dei problemi di dissesto "idrogeologico" è meglio descritto dal termine "geo-idrologico" o "idro-geomorfologico" ("dissesto geo-idrologico", evento "idro-geomorfologico", vulnerabilità "idro-geomorfologica"). Tuttavia, in continuità con la vasta letteratura nazionale sull'argomento, nel capitolo si utilizza il termine "idrogeologico" per descrivere il complesso di fenomeni, processi ed effetti di natura idro-geomorfologica, fra i quali le piene e le inondazioni, le frane, le colate di detrito, fango o terra, gli sprofondamenti e i fenomeni erosivi.

## Dati e informazioni

### Eventi estremi, calamità e loro effetti

La tipologia, l'estensione e la severità degli impatti (le "conseguenze") causati da eventi estremi di natura idrogeologica dipendono dalle caratteristiche fisiche degli eventi estremi, dalla loro interazione con gli elementi esposti al rischio, e dalla loro vulnerabilità (IPCC, 2012). Gli estremi idrologici, l'esposizione al rischio, e la vulnerabilità degli elementi esposti sono influenzati da numerosi fattori, incluse le variazioni del clima derivanti da cause naturali e antropiche, le variazioni ambientali e lo sviluppo socio-economico (Figura 1.6).

E' difficile separare i contributi dei diversi fattori, come sarebbe necessario fare, per isolare l'impronta dei cambiamenti climatici sugli effetti degli eventi estremi. È necessario conoscere le variazioni delle forzanti del sistema unitamente agli effetti che esse provocano. Da ciò deriva la necessità di una conoscenza, continua e consistente nel tempo e nello spazio, e con un sufficiente dettaglio geografico, degli effetti causati dagli eventi (valutazioni o indicatori di danno). E' importante che la conoscenza non si limiti agli eventi "maggiori" (ossia più intesi e/o più estesi), ma includa anche eventi d'intensità moderata o bassa. Ciò perché in Italia l'impatto cumulato di eventi d'intensità moderata o bassa è significativo, e in grado di condizionare le strategie di adattamento e di mitigazione del rischio.



*Figura 1.6: La figura rappresenta l'aumento del rischio idrogeologico derivante dall'accoppiamento dei cambiamenti climatici e idrologici. Il concetto del cambiamento idrologico è legato alle trasformazioni del territorio non necessariamente legate al cambiamento climatico, quali ad esempio il cambiamento dell'uso del suolo, diverso utilizzo della risorsa idrica, il cambiamento nella concentrazione degli esposti. Invertendo l'attuale tendenza del cambiamento idrologico è possibile pensare di compensare parzialmente l'aumento del rischio.*

In Italia esiste una mole notevole di informazioni storiche relative a fenomeni di dissesto idrogeologico, e in particolare frane e inondazioni. Tali informazioni possono essere utilizzate per analisi della distribuzione geografica e temporale del rischio, anche nel contesto dei cambiamenti climatici. Nel 1989, l'allora Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile, commissionò al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) il censimento delle aree del paese storicamente colpite da frane e da inondazioni nel periodo 1918-1990 (Progetto AVI – Aree Vulnerate Italiane, Guzzetti et al., 1992).

Le notizie storiche e cronachistiche raccolte sono confluite in un archivio digitale contenente oltre 17.000 informazioni riguardanti frane e oltre 7000 informazioni concernenti inondazioni. L'archivio è stato aggiornato fino al 2000, ed è confluito nel Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche in Italia (SICI)<sup>48</sup>, gestito dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) del CNR (Guzzetti & Tonelli, 2004). SICI raccoglie anche parte delle informazioni su frane e inondazioni storiche censite dal Progetto GIANO di ENEA. Nonostante le numerose limitazioni, dovute alla complessità del territorio italiano, alla diversa sensibilità e conoscenza attuale e storica dell'impatto che i fenomeni di dissesto idrogeologico hanno sul territorio, per molte aree del Paese SICI rappresenta la più completa fonte d'informazione su frane ed inondazioni storiche. Per alcune regioni, grazie al lavoro delle Regioni e delle Province (ad esempio, in Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, Trentino-Alto Adige), delle Autorità di Bacino, o di Istituti di Ricerca (IRPI per il bacino del Po, e per la Calabria), sono disponibili serie storiche di informazioni anche più estese e complete, che in molti casi permettono analisi sulla frequenza degli eventi storici (Rossi et al., 2010; Witt et al., 2010). Di recente (gennaio 2014), il CNR IRPI ha aperto il nuovo sito POLARIS<sup>49</sup> che pubblica informazioni storiche e recenti su frane ed inondazioni che hanno prodotto morti, feriti, dispersi, sfollati o senza tetto.

SICI, così come gli altri archivi e cataloghi regionali, sono fondamentali per la determinazione delle politiche di riduzione del rischio, e per la scelta di azioni di adattamento ai cambiamenti climatici. Per questo motivo tali archivi e cataloghi storici devono essere mantenuti e potenziati, anche attraverso meccanismi istituzionali di raccolta e organizzazione delle informazioni che coinvolgano tutti i diversi attori interessati, fra i quali i Comuni, le Regioni e le Province Autonome, il Dipartimento della Protezione Civile, il Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MIPAAF) e il Ministero dello Sviluppo Economico, e i gestori di strutture e infrastrutture (ad esempio, ENEL, ANAS, RFI, Società Autostrade). Per essere più efficace, l'iniziativa deve cooperare con simili iniziative internazionali, pubbliche (ad esempio, DesInventar<sup>50</sup> del programma ISDR delle Nazioni Unite, e EM-DAT<sup>51</sup> del Centre for Research on Epidemiology of Disasters, CRED), o private (ad esempio, NatCat<sup>52</sup> di Munich-Re, e Sigma di Swiss-Re<sup>53</sup>). Le tecnologie informatiche oggi disponibili permettono di reperire informazioni d'evento e di danno in modo rapido e efficace, anche con risorse umane e strumentali limitate. In questo contesto, sono utili anche fonti non ufficiali (social networks, crowd-sourcing), che necessitano tuttavia di indirizzi e di strategie e protocolli per la verifica della qualità dell'informazione raccolta. Per la mappatura degli effetti al suolo prodotti da singoli eventi idrogeologici è possibile avvalersi di tecnologie satellitari, sia passive (ottiche) che attive (radar). In condizioni opportune, e utilizzando immagini ottiche o SAR, è oggi possibile mappare l'estensione delle aree inondate (Martinez & Le

---

<sup>48</sup> [sici.irpi.cnr.it](http://sici.irpi.cnr.it).

<sup>49</sup> [polaris.irpi.cnr.it](http://polaris.irpi.cnr.it).

<sup>50</sup> [www.desinventar.net](http://www.desinventar.net).

<sup>51</sup> [www.emdat.be](http://www.emdat.be).

<sup>52</sup> [www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/georisks/natcatservice/default.aspx](http://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/georisks/natcatservice/default.aspx).

<sup>53</sup> [www.swissre.com/sigma](http://www.swissre.com/sigma).

Toan, 2007; Pulvirenti et al., 2011), mappare e classificare frane prodotte da piogge intense o prolungate, o da terremoti (Guzzetti et al., 2012), definire lo stato di attività di popolazioni di frane in un territorio (Cascini et al., 2010; Cigna et al., 2012), monitorare singoli movimenti franosi (Guzzetti et al., 2009), e per effettuare stime preliminari di danno (Serpico et al., 2012).

### ***Le reti di monitoraggio***

Le reti di monitoraggio sono progettate, dispiegate, operate e mantenute per scopi diversi, fra cui la sorveglianza meteo-idrologica con scopi di allerta e protezione civile. In un contesto di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici, i sistemi d'allarme e d'allerta meteo-idro-geologici, e le previsioni basate sulle informazioni raccolte dalle reti di monitoraggio, contribuiscono a mitigare il rischio (in particolare per la popolazione), e rappresentano azioni di adattamento che aumentano la resilienza dei sistemi sociali, a diverse scale geografiche e temporali. In questo senso, le reti di monitoraggio meteo-idro-geologico al suolo sono essenziali per lo studio e la comprensione del rischio idrogeologico, oltre che per lo studio del clima e dei suoi mutamenti. In particolare, le reti di monitoraggio sono fondamentali per: (i) la caratterizzazione e la comprensione delle cause (le "forzanti") degli eventi estremi, e (ii) il dispiegamento e l'operatività di sistemi previsionali e di preannuncio (sistemi d'allerta) basati sul monitoraggio in "tempo reale" delle forzanti.

I due punti citati richiedono che le reti di monitoraggio abbiano caratteristiche particolari, non necessariamente in accordo con quelle richieste ad una rete per le registrazioni e le analisi climatiche. In particolare, per la caratterizzazione e la comprensione delle cause degli eventi estremi, l'esigenza prevalente è quella di misurare con notevole risoluzione temporale e spaziale i parametri fisici che caratterizzano le forzanti. Nell'area mediterranea, le specificità degli eventi estremi richiedono analisi a più scale geografiche, dalla scala sinottica (Rudari et al., 2005) alla meso-scala (Rudari et al., 2004), fino alla micro-scala (le caratteristiche microfisiche delle strutture precipitanti estreme). Per l'operatività dei sistemi d'allerta, la necessità principale è trasmettere le misure in tempo reale e con un elevato grado di affidabilità. Per entrambe le attività, rivestono sempre maggiore rilevanza le tecniche di misura remote, da terra (radar meteorologici) e da satellite.

Il sistema nazionale di monitoraggio meteo-idrologico, che vede come attori principali le Regioni, ha raggiunto una buona consistenza e un discreto livello di efficienza. Data l'importanza dei sistemi di monitoraggio idro-meteorologico per molteplici impieghi, è necessario continuare a investire per migliorare le capacità di osservazione e misura, e per aumentare l'affidabilità e l'efficacia dei sistemi. Le stazioni meteo-idro-pluviometriche nel sistema nazionale che fa riferimento ai Centri Funzionali (regionali e nazionale) della Protezione Civile, sono stazioni in telemisura che effettuano misure "in continuo" (con tempi di campionamento compresi tra un minuto e un'ora) e le trasmettono in "tempo reale" (con un "tempo di latenza" generalmente di 30 minuti). Per alcune sotto-reti si sta passando a sistemi di trasmissione che riducono il tempo di latenza a cinque minuti. All'inizio del 2012 le stazioni erano più di 4500, e comprendevano oltre 2000 pluviometri, 1130 idrometri, e 3500 sensori di altro tipo (fra i quali termometri, anemometri,

nivometri, piezometri). Molto meno abbondanti sono i sensori per la misura dell'umidità del suolo, del livello della falda, e della pressione nei pori. Tali strumentazioni sono generalmente installate solo all'interno di corpi di frana noti e di particolare rilevanza o pericolosità e, con poche eccezioni (in Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, Umbria), non sono generalmente integrate nei sistemi previsionali. E' necessario installare un numero di sensori ben superiore all'attuale, in particolare per la misura dell'umidità del suolo e della pressione nei livelli più superficiali del terreno (da 0,5 a 5 m), in particolare là dove si origina la maggior parte delle frane superficiali. Per il monitoraggio ad alta e altissima risoluzione possono giocare un ruolo importante l'associazionismo volontario di qualità, come la ormai decennale rete Meteonetwork<sup>54</sup>, e reti private dispiegate per scopi agronomici. Tale patrimonio va valorizzato, e gestito nel rispetto dei ruoli.

Un'importanza fondamentale per la caratterizzazione e la comprensione delle strutture di precipitazione – e in particolare di quelle intense – è rivestita dalla rete radar nazionale. La rete è in corso di completamento, e a pieno regime sarà costituita da 26 radar meteorologici fissi e quattro radar mobili, a copertura dell'intero territorio nazionale. La rete si compone oggi di 24 radar operativi, di cui dieci installati e gestiti dalle Regioni, quattro dell'Aeronautica Militare, due dall'Ente Nazionale di Assistenza al Volo (ENAV), ed otto dal Dipartimento della Protezione Civile. Nel suo complesso la rete è strutturata in modo da garantire il monitoraggio in continuo dei fenomeni atmosferici sull'intero territorio nazionale. Le informazioni elaborate dalle misure radar permettono di monitorare in tempo reale i fenomeni di precipitazione, individuandone l'intensità e lo stato fisico (pioggia, neve, grandine), e di stimare la precipitazione in aree geografiche vaste, fornendo informazioni complementari a quelle ottenute dalla rete convenzionale di monitoraggio al suolo. L'utilizzo integrato delle informazioni di precipitazione permette: (i) una più accurata ricostruzione dei campi di precipitazione, e (ii) un monitoraggio avanzato basato su tecniche di nowcasting.

La gestione e la manutenzione della rete nazionale distribuita (federata/cooperativa) per il monitoraggio meteo-idrologico presenta vantaggi e svantaggi. Da un lato, la dimensione territoriale regionale permette un migliore adattamento della rete alle caratteristiche locali. Si pensi ad esempio alle diversità in termini di processi e di tecniche di monitoraggio fra le aree alpine (Valle d'Aosta) e pianeggianti (la Puglia). Dall'altro, la suddivisione regionale richiede uno sforzo superiore per l'allineamento e la concentrazione dei dati a livello nazionale, e rende più difficile un coordinamento degli investimenti che tenga conto delle esigenze di monitoraggio in un panorama sovra- o transnazionale. Nonostante l'impegno delle Regioni e del Dipartimento della Protezione Civile, la suddivisione regionale della rete osservativa ha reso più difficile l'accesso alle osservazioni (anche in "tempo differito"), in particolare quando l'esigenza è quella di ottenere informazioni sovra-regionali. Il D. L. 59/2012 e la Legge 100/2012 contribuiscono a risolvere il problema istituendo il Servizio Meteorologico Nazionale Distribuito (SMND).

---

<sup>54</sup> [www.meteonetwork.it](http://www.meteonetwork.it)

La rete di monitoraggio meteo-idrologico in “tempo reale” è l’elemento chiave di un moderno sistema di allerta precoce. E’ un’importante ed efficace misura “non-strutturale” di previsione e mitigazione del rischio, in particolare in un territorio complesso e fragile come quello italiano. I modelli previsionali al cuore dei moderni sistemi d’allerta utilizzano i dati ottenuti dalle reti di monitoraggio per la calibrazione e per la validazione dei modelli stessi. Una rete di monitoraggio efficiente è quindi propedeutica a un sistema previsionale e d’allerta efficace. Gli investimenti fatti in tal senso devono essere considerati come misure di adattamento “non strutturali” nel contesto dei cambiamenti climatici, e per questo devono continuare con la manutenzione e il potenziamento della rete.

### *Le informazioni sugli effetti*

I cambiamenti climatici in atto agiscono su due elementi essenziali del clima: (i) le temperature atmosferiche e (ii) le precipitazioni. Mentre le variazioni nel regime pluviometrico hanno effetti più omogenei sull’intero territorio nazionale, l’aumento delle temperature ha effetti che variano in funzione della quota e della latitudine geografica. Alle quote e alle latitudini più basse, l’aumento della temperatura comporta un incremento dell’evapotraspirazione, con effetti prevalentemente (anche se in misura lieve) stabilizzanti. A quote e latitudini più elevate prevale il maggiore apporto idrico dovuto alla fusione di neve, ghiaccio e permafrost, oltre che all’innalzamento dell’isoterma zero, con un incremento delle precipitazioni liquide rispetto a quelle nevose. In questo caso, gli effetti del rialzo termico sono prevalentemente (e più marcatamente) destabilizzanti. E’ opportuno rilevare come l’ambiente alpino stia sperimentando aumenti delle temperature superiori ai valori medi mondiali (in analogia con quanto riscontrato per le alte latitudini), ed è importante ricordare come anche la dinamica della fusione e del movimento delle masse nivali abbia subito cambiamenti significativi (Bocchiola et al., 2009).

Gli effetti del cambiamento climatico sui fenomeni di dissesto idrogeologico sono spiccatamente eterogenei, sostanzialmente perché diversa è l’azione filtro, ossia la relazione causa-effetto, operata dal bacino idrografico. Gli stessi cambiamenti climatici producono effetti diversi in dipendenza delle caratteristiche dell’area geografica nella quale si verifica la sollecitazione climatica. I bacini idrografici di minore estensione sono più sensibili ai cambiamenti subiti dalle precipitazioni di forte intensità e breve durata, mentre i bacini idrografici più estesi hanno maggiore sensibilità nei confronti di cambiamenti nella struttura delle perturbazioni di tipo frontale che producono precipitazioni di più lunga durata. L’innalzamento di temperatura provoca anche effetti indiretti attraverso l’incremento della frequenza degli incendi, che rendono il suolo più vulnerabile all’erosione e al dissesto in generale (Rosso et al., 2007). Queste circostanze evidenziano la necessità di analizzare congiuntamente i cambiamenti climatici e idrologici (Rosso & Rulli, 2002; Brath et al., 2006).

La chiave per decifrare gli effetti dei cambiamenti climatici sui fenomeni di dissesto idrogeologico, e quindi per comprendere, modellare e prevedere gli effetti dei cambiamenti climatici sulle condizioni di pericolosità, vulnerabilità e rischio idrogeologico, risiede in gran parte nell’informazione meteo-idro-geologica, e nel monitoraggio delle “forzanti” degli eventi. E’

importante ricordare che in Italia vi sono alcune fra le più estese e importanti serie di dati meteorologici e idrologici al mondo, che includono le serie osservate di precipitazione e temperatura in assoluto più antiche (Montanari et al., 1996; De Michele et al., 1998; Castellarin et al., 2001; Nanni et al., 2009; Cislighi et al., 2005; Gorni et al., 2008). Si tratta di un patrimonio di valore inestimabile, il cui contenuto informativo è ben noto anche a livello internazionale, e che tuttavia non è facilmente accessibile. A ciò si aggiunge che, allo stato attuale, in Italia non esiste un sistema comune e condiviso per la raccolta sistematica di informazioni sugli impatti che gli eventi estremi hanno sul territorio. Il problema è particolarmente importante per le frane, per le quali non esistono (o sono solo emergenti) sistemi per il rilevamento strumentale spazialmente distribuito (Guzzetti et al., 2012). Un'ulteriore fonte d'informazione è costituita dagli archivi delle Regionali, delle Province e delle Autorità di Bacino ove sono conservati studi di ricostruzione di eventi meteo-idro-geologici estremi ("rapporti d'evento"), ed analisi di situazioni critiche. Come detto, la disponibilità di informazioni storiche affidabili e con un'adeguata copertura spazio-temporale, è indispensabile per determinare come e quanto il quadro del dissesto idrogeologico sia cambiato in Italia, e per quantificare con strumenti di analisi statistica quali cambiamenti siano imputabili a fattori climatici e quali invece a variazioni ambientali o antropiche.

Infine, merita ricordare che la letteratura scientifica idrologica e geomorfologica ha prodotto numerosi contributi, a livello nazionale e internazionale, sull'analisi degli effetti di cambiamenti climatici e idrologici (Buma & Dehn, 1998; Dehn et al., 2000; Burlando & Rosso, 2002; Jasper et al., 2004; Milly et al., 2005; Brath et al., 2006; Tebaldi et al., 2006; Koutsoyiannis et al., 2009; Clague, 2009; Jakob & Lambert, 2009; Bloeschl & Montanari, 2010; Korup et al., 2011). Nel loro complesso, questi studi forniscono risultati non univoci, a riprova della complessità degli effetti indotti dal cambiamento climatico, per effetto delle specificità climatiche, fisiografiche e ambientali nelle diverse realtà geografiche. Le informazioni recate dalle conoscenze scientifiche, che nel nostro Paese sono particolarmente avanzate, anche grazie allo sforzo congiunto dell'Accademia, degli Istituti di Ricerca, delle Regioni, e dagli Enti preposti al monitoraggio, si rivelano difficili da sintetizzare ma molto importanti per capire quali siano le realtà maggiormente sensibili al cambiamento climatico e ambientale in atto.

## **Rischio idrogeologico e cambiamenti climatici**

### *Analisi dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla pericolosità, la vulnerabilità e il rischio idrogeologico*

La pericolosità, la vulnerabilità e il rischio idrogeologico sono generalmente analizzati sulla base della consolidata "equazione del rischio", utilizzata per diversi fenomeni naturali. Nel seguito sono analizzati gli effetti diretti e indiretti, e i meccanismi di retroazione (feedback) dei cambiamenti climatici sulla pericolosità e la vulnerabilità idrogeologica, che concorrono alla formazione del rischio idrogeologico. Va considerato che la letteratura nazionale e internazionale sull'argomento è limitata, e che le criticità e le incertezze informative e modellistiche sono notevoli, e non completamente note.

## ***La trasformazione afflussi-deflussi e la funzione di filtro del bacino idrografico***

E' stato menzionato come gli impatti dei cambiamenti climatici sui fenomeni di dissesto idrogeologico dipenda dalle caratteristiche del bacino idrografico. Infatti, la trasformazione afflussi-deflussi rappresenta il filtro della sollecitazione meteorologica: una funzione di trasformazione spiccatamente non lineare che riceve in ingresso le variabili meteorologiche rilevanti e produce in uscita le variabili idrologiche di interesse. Il bacino idrografico può amplificare o ammortizzare i cambiamenti climatici, in dipendenza anche della pressione antropica subita. Il sistema idrologico rappresenta una delle interfacce più significative fra l'ambiente ed il tessuto sociale, producendo effetti legati non solo all'approvvigionamento idrico, ma anche e soprattutto ai fenomeni di dissesto, nonché effetti diretti sulla produzione idroelettrica e quindi sul tessuto industriale. Il "bacino idrografico" è spesso assunto stazionario, ossia un'appendice che non modifica le caratteristiche della propria risposta al variare delle condizioni climatiche. I recenti sviluppi della ricerca dimostrano come l'assunzione non sia corretta: il bacino idrografico risponde ai cambiamenti che subisce trasformandosi a sua volta, con dinamiche complesse, di difficile interpretazione ma rilevanti in termini di effetti sull'organizzazione sociale. E' indispensabile analizzare i cambiamenti ambientali nel loro complesso, non limitandosi al sistema clima.

In generale, il bacino idrografico è sensibile alle variazioni che si articolano su tempi compatibili con quelli caratteristici di risposta del bacino stesso. Per analizzare le conseguenze possibili è importante distinguere gli effetti a seconda della variabile meteo-climatica interessata dal cambiamento. Le forzanti che hanno maggiore effetto sui dissesti idrogeologici sono la temperatura e la pioggia. La prima può produrre effetti significativi nei confronti della fusione nivale, soprattutto qualora questo sia associato all'accadimento di pioggia su neve, mentre la seconda è associata al verificarsi di piene e/o frane prodotte da piogge intense o prolungate.

In merito alla temperatura, Allamano et al. (2009) hanno dimostrato che il riscaldamento globale possa accrescere significativamente il rischio di piena nelle Alpi. Con riferimento al regime delle piogge, recenti ricerche hanno evidenziato che in tutto il Paese è in corso una lieve diminuzione delle precipitazioni annuali totali, una diminuzione significativa del numero dei giorni piovosi, ed un prevalente aumento dell'intensità delle precipitazioni, in misura variabile da regione a regione, ma in generale più marcato al nord ed al centro (Lionello et al., 2009; Cislighi et al., 2008; Gorni et al., 2008). Parimenti, le tendenze future del regime delle precipitazioni, stimate utilizzando simulazioni modellistiche che prefigurano situazioni di difficile interpretazione, sembrano confermare che l'attuale tendenza delle precipitazioni a concentrarsi in un numero minore di eventi estremi di maggiore intensità possa estendersi anche nel futuro (Lionello et al., 2009). E' da sottolineare il fatto che una variazione della posizione dello zero termico può indurre conseguenze molto significative, alterando anche significativamente l'area contribuente al deflusso. Lo stesso evento che avviene in un contesto freddo piuttosto che caldo può produrre conseguenze radicalmente diverse.

Le evidenze scientifiche sembrano quindi indicare che i sistemi più vulnerabili ai cambiamenti siano i bacini idrografici alpini, più in generale di alta quota, e i bacini di piccole dimensioni

caratterizzati da una risposta rapida, come peraltro gli eventi recenti del 2011 e 2012 sembrano confermare. Detti bacini subiscono anche importanti variazioni del regime del trasporto solido e sedimentologico, che possono innescare fenomeni di dissesto in alveo e versante. Occorre anche considerare che i fenomeni di perturbazione descritti sono sensibili alla stagionalità della modificazione climatica.

Le situazioni più preoccupanti sono quelle caratterizzate da una ridotta capacità di deflusso e da versanti caratterizzati da condizioni di criticità, nelle regioni dove gli effetti del cambiamento climatico si manifestano con maggiore incisività. Sono da considerare con particolare attenzione le zone dove il cambiamento climatico si sovrappone a un cambiamento idrologico rilevante, e in particolare le aree soggette a modifiche di uso e/o copertura del suolo, le urbanizzazioni in aree interessate da dissesti, e i restringimenti delle aree di pertinenza fluviale. La letteratura scientifica e gli eventi recenti dimostrano chiaramente come la sovrapposizione delle due perturbazioni, climatica e idrologica, vada considerata con la massima attenzione. A titolo di esempio, si può citare il recente studio di Di Baldassare et al. (2010), finalizzato ad analizzare le cause dell'incremento dei danni causati da inondazioni fluviali nel continente africano. Gli autori hanno analizzato nel dettaglio l'evoluzione del clima negli ultimi decenni e le tendenze demografiche recenti, e hanno concluso che le perdite maggiori si sono localizzate nelle zone urbanizzate di recente, dove è stato tolto spazio agli habitat fluviali. Risultati simili sono riportati a livello globale nel Global Assessment Report (GAR)<sup>55</sup> redatto dalla United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR).

In Italia, un aspetto importante e spesso trascurato è l'impatto dei cambiamenti sulla gestione degli invasi. I cambiamenti climatici determinano la necessità di rivedere le politiche di gestione delle dighe, e in particolare quelle ad uso plurimo. Le grandi dighe di competenza del Servizio Nazionale Dighe sono più di 550, e sono potenzialmente in grado di invasare complessivamente 13,2 miliardi di metri cubi d'acqua. Esse sono state realizzate prevalentemente nel corso del secolo scorso (più di 80% sono state costruite prima del 1970). L'ufficiosità degli scarichi di sicurezza è stata valutata con criteri molto antichi e, in molti casi, è insufficiente a garantire lo smaltimento delle piene secondo i moderni criteri stabiliti dal nuovo regolamento dighe, già da tempo presentato in sede ministeriale ma tuttora non adottato. Inoltre, la presenza delle dighe ha prodotto un aumento virtuale della sicurezza idrologica. La sensazione di fittizia sicurezza, sviluppatasi per un lungo arco di tempo in molte zone vallive del paese, ha talmente diminuito il calibro di alcune reti idrografiche da rendere addirittura molto pericolosa la manovra di scarico a pieno regime delle opere di accumulazione, tramite l'apertura degli scarichi profondi, di alleggerimento e di fondo. Oltre alle conseguenze sul rischio d'inondazione, il fenomeno può limitare la possibilità di operare rilasci controllati, provocando piene artificiali a scopo di restauro e conservazione dell'ecosistema fluviale. La gran parte delle dighe sottende piccoli bacini (più del 50% delle dighe sottende un bacino idrografico di meno di 50 km<sup>2</sup>) e questa circostanza preoccupa

---

<sup>55</sup> [www.unisdr.org/we/inform/gar](http://www.unisdr.org/we/inform/gar).

ulteriormente in caso di intensificazione dell'intensità delle precipitazioni, di rapide oscillazioni dello zero termico, e di vulnerabilità rispetto alle frane di media e grande dimensione.

Casi particolari di fenomeni di dissesto con una limitata incidenza spazio-temporale, ma emblematici della portata e degli effetti dei cambiamenti climatici in atto, sono le piene improvvise ("outburst flood") che si possono generare in ambiente glaciale per un eccesso di disponibilità idrica dovuta a processi direttamente correlabili al riscaldamento del clima. Un esempio recente (2003) è rappresentato dall'emergenza del "Lago Effimero", che ha visto impegnato il Dipartimento della Protezione Civile in un intervento per lo svuotamento di un lago di  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, formatosi sulla superficie del Ghiacciaio del Belvedere in valle Anzasca, sul versante est del Monte Rosa. L'invaso aveva raggiunto livelli di guardia nel corso della calda estate 2003, per effetto della notevole fusione nivo-glaciale, minacciando di inondare l'abitato di Macugnaga (VB).

Situazione particolare è anche quella degli ambienti carsici, caratterizzati da peculiari elementi geologici, idraulici e idrogeologici che determinano la possibilità di formazione di vuoti sotterranei (condotti carsici, grotte) anche di grandi dimensioni, e la diretta e rapida connessione idraulica tra la superficie e il sottosuolo profondo. Ciò aumenta la fragilità e la vulnerabilità degli ambienti carsici (Parise & Gunn, 2007). La principale conseguenza negativa della connessione diretta e rapida fra superficie e sottosuolo risiede nella maggiore possibilità d'inquinamento delle risorse idriche. Poiché un'aliquota rilevante delle acque potabili in Italia deriva da acquiferi carsici, si comprende facilmente l'importanza del problema. In ambito carsico, la non corrispondenza tra spartiacque superficiali dei bacini idrografici e sotterranei rende ancor più complessa l'analisi dei fenomeni e della loro dinamica alla scala del bacino idrografico. I cambiamenti climatici influiscono sulla disponibilità di risorse idriche sotterranee, e possono indurre movimenti significativi della tavola d'acqua freatica. A causa della minore disponibilità di risorse idriche, l'incremento delle attività di emungimento può essere all'origine di squilibri nella circolazione idrica nel sottosuolo, con possibilità di occorrenza di eventi di sprofondamento ("sinkhole"). Lo sviluppo di veri e propri sinkhole fields, registrato negli ultimi decenni sulle sponde del Mar Morto, in Giordania e Israele, ne è l'esempio più evidente (Yechieli et al., 2006). La risposta dei bacini carsici a eventi concentrati di pioggia intensa è particolarmente preoccupante per la formazione di piene improvvise (flash floods). La vulnerabilità alle flash floods è maggiore in aree carsiche, anche a causa d'interventi di pianificazione non coerenti con le peculiarità idrogeologiche delle aree carsiche stesse. Ne sono testimonianza i numerosi eventi occorsi negli ultimi decenni in Puglia (Aprile-Maggio 1996 nel tarantino; Ottobre 2005 a Bari e dintorni; Marzo 2011 nella parte occidentale della regione) e in Basilicata.

### *La stabilità dei versanti e le colate detritiche*

Crozier (2010) ha affrontato in modo sistematico il tema del possibile impatto dei cambiamenti climatici sulla franosità. Pur centrato su esempi prevalentemente neozelandesi, l'approccio proposto dall'autore è sufficientemente generale da essere applicabile all'area mediterranea, e all'Italia in particolare. Crozier (2010) parte dalla definizione del "fattore di sicurezza" per stabilire quali siano le variabili principali che condizionano la stabilità di un pendio, e per determinare se,

come e quanto il clima, e i suoi cambiamenti, influenzino la stabilità dei pendii. Le condizioni di stabilità/instabilità di un pendio sono rappresentate in modo semplice dal fattore di sicurezza  $FS$ , il rapporto fra le forze resistenti (stabilizzanti) e le forze destabilizzanti in un pendio. Quando il fattore di sicurezza è maggiore di uno ( $FS > 1,0$ ), le forze resistenti superano le forze destabilizzanti e il pendio è stabile. Un fattore di sicurezza pari all'unità ( $FS = 1,0$ ) indica la condizione meta-stabile di equilibrio fra le forze stabilizzanti e quelle destabilizzanti. Quando ciò accade, il pendio è considerato in condizioni di rottura. Valori di  $FS < 1,0$  corrispondono ad una condizione fisica (irrealistica) in cui le forze destabilizzanti superano le forze resistenti, e sono presi come una indicazione dell'instabilità del pendio. I fattori di stabilità/instabilità dei pendii che possono essere influenzati dal clima e dai suoi cambiamenti includono la densità del materiale, la coesione, l'angolo d'attrito interno del materiale, e la pressione esercitata dall'acqua sulla superficie di rottura.

Il clima influisce su diversi fattori che controllano la stabilità di un pendio. Le influenze possono essere di breve periodo (per tempi compresi fra alcuni secondi e diversi mesi) e di lungo periodo (per tempi compresi da alcuni anni a diverse migliaia di anni). Nel breve periodo, la coesione è influenzata dalla suzione, a sua volta controllata dal contenuto d'acqua nel pendio; la densità del materiale è influenzata dalla quantità d'acqua nel versante, che controlla il peso del materiale; la pressione esercitata dall'acqua, che dipende dalla quantità di acqua presente nel versante e dalle condizioni idrauliche locali (presenza di falde in pressione), e le forze di attrito, che dipendono dalla forza di gravità, possono essere parzialmente o totalmente annullate da una forza esterna, ad esempio un terremoto. Nel lungo periodo, la coesione e l'angolo d'attrito possono variare a seguito di cambiamenti climatici che inducono o producono processi di alterazione (weathering) fisica o chimica, con conseguente riduzione delle caratteristiche di resistenza meccanica dei materiali, e maggiore propensione al dissesto (Calcaterra & Parise, 2010).

Gli effetti del clima sulla stabilità dei pendii possono essere di tipo diretto e indiretto. Gli effetti diretti sono quelli dovuti a cambiamenti che condizionano direttamente le variabili che controllano la stabilità dei pendii, e in particolare le forze resistenti e le forze destabilizzanti, nel breve e nel lungo periodo. Gli effetti indiretti sono quelli connessi a cambiamenti che condizionano variabili e fattori che a loro volta controllano, condizionano o influenzano la stabilità dei pendii. Fra questi vi sono ad esempio la copertura e l'uso del suolo, le pratiche agricole, la presenza di permafrost, e la distribuzione e l'abbondanza della popolazione. La suddivisione fra gli effetti diretti e quelli indiretti, come pure fra gli effetti di breve e di lungo periodo, è labile e concepita esclusivamente a beneficio della discussione.

**Effetti diretti.** L'acqua presente in un pendio influenza, e in molti casi controlla, le condizioni di stabilità del pendio. Le variazioni spaziali e temporali del contenuto in acqua dei materiali, e delle pressioni esercitate dall'acqua, sono fattori decisivi per la stabilità di un pendio. Ogni condizione o fattore esterno che cambi la quantità e la distribuzione spaziale e temporale dell'acqua, e delle forze da essa esercitate, influisce sulle condizioni di stabilità di un pendio. Nel breve periodo, ad esempio, l'incremento del contenuto d'acqua nel mezzo induce la diminuzione, nella zona vadosa, dell'aliquota di coesione funzione dalla suzione e al contempo, l'aumento dei valori del peso

dell'unità di volume del materiale e della pressione esercitata dall'acqua che comportano, come effetto integrale, una riduzione del fattore di sicurezza. Nel lungo periodo, le forzanti atmosferiche possono indurre o produrre processi di alterazione (weathering) fisica o chimica dei materiali con conseguente riduzione delle caratteristiche di resistenza meccanica dei materiali (coesione e angolo di attrito), e maggiore propensione al dissesto (Calcaterra & Parise, 2010). Le precipitazioni, prevalentemente pioggia o neve, sono la principale origine dell'acqua in un versante. Ogni variazione nella quantità, intensità e durata delle piogge, può avere quindi un'influenza sulle condizioni di stabilità dei pendii. Non è tuttavia detto che le variazioni del regime pluviometrico corrispondono necessariamente a condizioni di maggiore instabilità, in particolare per le frane di scivolamento profonde (Buma & Dehn, 1998; Dehn et al., 2000), o che a una maggiore o minore quantità di precipitazione corrisponda necessariamente un aumento o una diminuzione della franosità per tutte le tipologie di movimenti di versante (Cruden & Varnes, 1996).

La risposta idraulica di un versante, e quindi l'incremento dei valori di pressione neutra, è influenzata dalle proprietà idrauliche dei terreni. In particolare, i terreni a grana grossa, caratterizzati da valori di permeabilità idraulica elevati ( $> 10^{-5}$  m/s), permettono a eventi meteorici anche intensi (dell'ordine di decine o centinaia di millimetri l'ora) di infiltrarsi completamente e produrre velocemente significativi incrementi di pressione nel mezzo. Per questo motivo, sono gli eventi intensi in intervalli temporali limitati i maggiori responsabili dei fenomeni di frana nei terreni a grana grossa. All'opposto, nei terreni a grana fine, i bassi valori di permeabilità ( $< 10^{-8}$  m/s) comportano ridotti valori dell'aliquota di pioggia infiltrata, e lenti incrementi di pressione neutra nel mezzo. Per tale motivo, i movimenti di versante in terreni a grana fine sono controllati da valori significativi delle cumulate di pioggia in intervalli temporali dell'ordine di alcune settimane o mesi, in funzione delle caratteristiche locali, morfologiche, litologiche e di copertura del suolo. Per tali (lungi) intervalli temporali, i valori di pressione neutra sono influenzati anche dai processi di evapotraspirazione. Nei pendii caratterizzati da terreni con proprietà idrauliche intermedie ( $10^{-7} - 10^{-6}$  m/s), le condizioni di stabilità/instabilità sono condizionate dalla presenza contemporanea di un potenziale evento meteorico d'innescò e di un accumulo rilevante di precipitazioni antecedenti. Le caratteristiche d'intensità, durata e cumulata di pioggia capaci di innescare la rottura del pendio, e la finestra temporale antecedente significativa per l'instabilità, sono funzione delle caratteristiche morfologiche e litologiche (idrauliche e meccaniche) locali. Esse variano anche nel tempo per una stessa area, e andrebbero a loro volta considerate elementi dinamici la cui variabilità dipende anche dai caratteri geometrici e idrogeologici del pendio modificato dall'occorrenza di un evento di frana.

**Effetti indiretti.** La franosità, e in particolare quella a carattere superficiale, dipende dalla tipologia di copertura e di uso del suolo e dei loro cambiamenti, di breve e lungo periodo, perenni, temporanei (incendi, scavi), o ciclici (stagionali) (Glade, 1998). I cambiamenti climatici influenzano in modo diretto e indiretto le condizioni e i cambiamenti di uso e di copertura del suolo. Un clima diverso dall'attuale comporta cambiamenti della densità e della tipologia della vegetazione. La presenza di una copertura vegetale svolge un duplice ruolo nel miglioramento delle condizioni di stabilità dei versanti. Da un lato riduce il contenuto d'acqua medio nel suolo attraverso i processi

di evapotraspirazione e di intercettazione della precipitazione (con la conseguente riduzione della pressione neutra). Dall'altro lato, gli apparati radicali forniscono un'aliquota aggiuntiva di resistenza a taglio, soprattutto nei primi metri del sottosuolo (Sidle & Ochiai, 2006). In virtù di quanto detto, nelle aree percorse da incendi, la mancata intercettazione di un'aliquota di pioggia da parte della vegetazione determina un incremento nell'erosione superficiale e lo sviluppo di fenomeni franosi superficiali (Cannon et al., 2001, 2010; Parise & Cannon, 2012). L'intensità e la tipologia dei cambiamenti condizionano l'impatto degli stessi sulla franosità in modo non lineare, semplice, o univoco. Fra i cambiamenti indiretti vi sono quelli connessi al tipo di coltura e delle pratiche agricole, all'estensione della copertura boschiva/forestale e dal suo stato, condizionati da fattori economici, a loro volta dipendenti dai cambiamenti climatici.

Un cambiamento nel regime delle precipitazioni, e in particolare dell'intensità della precipitazione, condiziona la franosità in aree nelle quali oggi (e nel recente passato) la franosità superficiale non è (o non è stata) particolarmente sviluppata, o attiva. È il caso dell'Italia centrale, dove affiorano litologie argillose nelle quali la franosità superficiale è stagionale e limitata dall'elevato contenuto in argilla dei suoli e del substrato. In queste aree, intensità di pioggia maggiori potrebbero essere sufficienti a innescare frane superficiali, in particolare all'inizio della stagione più piovosa (fra settembre e ottobre), quando i macro-pori costituiti dalla fratturazione stagionale delle argille sono ancora aperti e beanti. Se la stagione secca si prolunga, l'entità e la frequenza delle fessurazioni superficiali aumenta, e gli effetti prodotti da eventi meteorici intensi all'inizio della stagione piovosa possono risultare in un elevato numero di frane. Situazione analoga si ha in aree percorse da incendi. La mancata intercettazione di un'aliquota di pioggia da parte della vegetazione determina un incremento nell'erosione superficiale e lo sviluppo di fenomeni franosi superficiali (Cannon et al., 2001, 2010; Parise & Cannon, 2012).

Sempre in Italia centrale, lungo la catena appenninica, fra il 1930 e il 1960 sono stati installati complessi sistemi di briglie in molti bacini di ordine minore. Oggi, le briglie intrappolano quantità rilevanti di materiale grossolano (detrito sciolto e a granulometria eterogenea), il risultato di eventi di colata detritica e di fenomeni torrentizi. Nelle stesse aree sono stati realizzati estesi interventi di rimboschimento, prevalentemente mediante conifere. L'effetto combinato della capacità di contenimento delle briglie e della minore capacità di erosione dell'acqua piovana indotta dalla presenza delle coperture boschive ha ridotto la frequenza e l'intensità dei fenomeni di colata detritica (Guzzetti & Cardinali, 1991; Parise & Wasowski, 1999) senza tuttavia eliminarle completamente. Un aumento dell'intensità di pioggia, e del numero e dell'intensità degli eventi estremi potrebbe riattivare i processi di colata di detrito, causando il crollo di una o più briglie. Il possibile effetto domino provocherebbe eventi di magnitudo (volume) superiori a quelli registrati storicamente, per la grande quantità di materiale presente in alveo. La scarsa o nulla manutenzione dei boschi, con una grande quantità di materiale vegetale presente anche in alveo, farebbe peggiorare la situazione contribuendo ad aumentare la magnitudo potenziale degli eventi di colata di detrito. Non sono noti i potenziali effetti dei cambiamenti di qualità e stato della vegetazione. Tuttavia, se l'effetto protettivo della vegetazione dovesse venire a mancare (a causa di incendi, cambi di uso del suolo, o attività antropiche) l'erosione locale e areale aumenterebbe,

incrementando ancora la possibilità di colate di detrito. Situazioni analoghe sono riscontrabili in altre parti del Paese, nelle Alpi e negli Appennini.

Le coltri piroclastiche che ricoprono la gran parte dei rilievi della Campania sono state spesso interessate da fenomeni di colata (Pozzano, 1997; Sarno e Quindici, 1998; Cervinara, 1999; Nocera Inferiore, 2005; Ischia, 2006; Casamicciola, 2009). Lo spessore delle coltri, la loro granulometria media e la presenza d'intercalazioni pomicee sono funzione della distanza dai centri eruttivi del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei e della direzione dei venti durante gli eventi eruttivi. L'aliquota di resistenza aggiuntiva (coesione apparente) determinata dalla presenza della suzione all'interno dei depositi, permette alle coltri di mantenere condizioni di stabilità anche su pendenze superiori all'angolo di attrito. L'incremento del contenuto d'acqua indotto dall'infiltrazione comporta l'aumento di peso dell'unità di volume e, a causa della diminuzione della suzione, la riduzione fino all'annullamento della coesione apparente, fino al raggiungimento di condizioni di collasso. Le proprietà idrauliche dei terreni che in termini di permeabilità satura sono intermedie tra quelle dei terreni a grana grossa e fine, rendono significative per l'innescamento delle colate sia le precipitazioni più recenti che quelle antecedenti per periodi fino ad alcuni mesi (Frattini et al., 2004; Pagano et al., 2010).

Le attuali proiezioni climatiche, e in particolare quelle per disponibili l'Italia centro-meridionale, non permettono di individuare tendenze chiare (univoche) per i fenomeni di frana superficiale e di colata. La riduzione media prevista dei valori di precipitazione cumulata annua, e il contemporaneo incremento della temperatura (la principale forzante dei processi di evapotraspirazione), da un lato potrebbero portare a una diminuzione nella frequenza (temporale) delle condizioni idrogeologiche (s.s.) favorevoli allo sviluppo e all'innescamento di fenomeni di instabilità superficiale. D'altra parte, un numero maggiore di stagioni "anomale" caratterizzate da valori elevati di precipitazione cumulata, unitamente a una riduzione nella frequenza degli eventi, potrebbero portare nelle stagioni "anomale" alla concomitanza di precipitazioni cumulate rilevanti e di eventi di pioggia intensi in grado di innescare colate e frane superficiali diffuse.

Damiano & Mercogliano (2011) hanno analizzato i possibili cambiamenti nella risposta idraulica diversanti nelle piroclastiti di Cervinara (AV) interessati dai fenomeni di colata del 1999, al variare della precipitazione. Gli autori hanno modificato le precipitazioni osservate in una stagione di riferimento (2006) sulla base delle indicazioni climatiche disponibili e, utilizzando un approccio fisicamente basato, hanno determinato le conseguenti variazioni nelle condizioni di stabilità dei versanti. I risultati indicano che l'incremento delle cumulate di precipitazione durante la stagione umida porta a una riduzione delle condizioni di stabilità nella coltre, specialmente se gli eventi di pioggia intensi occorrono nella parte finale della stagione umida. Inoltre, a parità di precipitazione cumulata, la riduzione del numero degli eventi di pioggia, e il conseguente aumento d'intensità media delle precipitazioni, induce variazioni rilevanti nelle condizioni di stabilità solo negli strati più superficiali del terreno.

Nell'Appennino, l'incremento della temperatura e la diminuzione dei valori di precipitazione cumulata stagionale (Coppola & Giorgi, 2010) potrebbero portare ad una riduzione dei livelli

piezometrici. Ciò indurrebbe una riduzione della suscettibilità dei versanti ai movimenti profondi, e una maggiore stabilità delle frane profonde e lente (Bertini, 1984) che caratterizzano molti dei versanti in argilla dell'Appennino (Comegna et al., 2012). Risultati simili sono stati da Buma & Dehn (1998) e Dehn et al. (2000) che hanno studiato gli effetti dei cambiamenti climatici previsti su di frane profonde nella Francia sud-orientale (Barcelonnette) e nelle Dolomiti orientali (Cortina d'Ampezzo).

L'ambiente montano, e quello glaciale e periglaciale nelle Alpi in particolare, rispondono con rapidità al riscaldamento in atto, soprattutto per la presenza della criosfera (neve, ghiaccio, permafrost) che è particolarmente sensibile alle variazioni di temperatura. Nell'Alpi, sono numerose le segnalazioni di eventi connessi al rialzo termico accelerato in atto. In questi ambienti, il segnale climatico può essere distinto con maggiore chiarezza, in quanto l'acqua necessaria all'innescare dei fenomeni d'instabilità è fornita oltre che dalle precipitazioni, anche (e talora soltanto) dalla fusione della neve e del ghiaccio. Nelle Alpi, le frane di crollo e le colate detritiche sono dissesti documentati in crescita (Ravanel & Deline, 2010; Huggel et al., 2012). La maggiore frequenza delle frane di crollo è dovuta a una pluralità di processi correlati al riscaldamento ambientale, fra cui: (i) la fusione del permafrost, che agisce da "collante" all'interno delle fratture, (ii) il rilascio tensionale, conseguente alla contrazione delle masse glaciali, e (iii) la maggiore esposizione all'azione degli agenti atmosferici (sbalzi di temperatura, precipitazioni) al mancare della copertura nivo-glaciale. I crolli che si producono per effetto dei processi citati hanno dimensioni generalmente contenute (qualche decina o centinaio di m<sup>3</sup>), ma esistono esempi di crolli di volumi superiori a 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (quali le frane della Thurwieserin Alta Valtellina nel 2004 e del Monte Rosa nel 2007). Più complesso è il discorso che riguarda le colate detritiche, per la varietà delle condizioni predisponenti e delle cause innescanti. Se si considerano le colate detritiche come il risultato della disponibilità congiunta di detrito e acqua, in molti bacini alpini, ed in particolare quelli con testate che ospitano (o hanno ospitato nel recente passato) masse glaciali, vi sono le condizioni per un incremento della frequenza e del volume dei fenomeni. La forte contrazione dei ghiacciai alla testata dei bacini, e la degradazione del permafrost nei depositi e negli ammassi rocciosi, rendono disponibili quantità addizionali di detrito, creando le premesse per un aumento della frequenza e del volume delle colate detritiche. All'accresciuta disponibilità detritica si somma l'aumento della frequenza di eventi di precipitazione breve e intensa, che possono innescare le colate detritiche. In aggiunta, in occasione di rialzi termici pronunciati, le masse nivo-glaciali e il permafrost possono fornire apporti idrici straordinari in grado di innescare fenomeni di colata detritica anche in assenza di precipitazioni. In questo caso si tratta solitamente di eventi di volume limitato, che tuttavia possono rivelarsi particolarmente insidiosi perché avvengono in assenza di precipitazioni. Come per le piene, anche per le colate detritiche si sta ampliando la finestra temporale durante la quale nel corso dell'anno si verificano gli eventi. E' infine opportuno segnalare come alcuni bacini alpini mostrino una diminuzione degli eventi di colata detritica. In alcuni casi questo comportamento potrebbe essere imputato a una diminuzione del numero di cicli di gelo/disgelo, con conseguente ridotta produzione di detrito disponibile per il trasporto in alveo; oppure alla stabilizzazione di fenomeni franosi responsabili dell'apporto detritico all'asta torrentizia.

## ***Eventi idrogeologici recenti: evidenze di cambiamenti climatici e ambientali***

Negli ultimi 60 anni, il Paese ha assistito ad un cambiamento idrologico senza precedenti nella storia recente. La trasformazione dell'uso del suolo, che si traduce in cambiamento idrologico, è in grado di produrre impatti rilevanti sugli eventi estremi, e sulle loro conseguenze (Brath et al., 2006). L'impatto maggiore è dovuto a interventi antropici lungo le aste fluviali, e in particolare all'urbanizzazione che ha ridotto localmente lo spazio di espansione naturale degli alvei. Un grande impatto, per l'estensione e la rilevanza del fenomeno e delle sue conseguenze, è quello indotto dalle mutate pratiche agricole e forestali (campi più estesi, arature più profonde, rimodellazione sistematica dei versanti, abbandono di aree coltivate) che in più punti favoriscono la franosità, superficiale e profonda, e diversi fenomeni erosivi. Rilevante è il ruolo della viabilità urbana e extra-urbana, e della scarsa o totale assenza di manutenzione delle opere di drenaggio delle acque superficiali lungo le strade, con conseguenze per l'innescò e la magnitudo (volume) delle colate di detrito e di fango. Nelle aree carsiche è rilevante l'effetto dovuto alla rimozione del materiale roccioso dai primi metri del terreno e nella sua frantumazione. Lo "spietramento" determina la distruzione dell'epicarso (Williams, 2008), con conseguenze in termini di ristagno delle acque in superficie in occasione di eventi meteorici intensi, e di sviluppo di fenomeni di erosione anche su pendenze molto basse.

All'effetto combinato di cambiamenti climatici e idrologici, che cambia la frequenza degli eventi estremi, si aggiunge un incremento generale della vulnerabilità del territorio a seguito dell'urbanizzazione in zone a rischio. Il modello insediativo dispersivo che si è imposto nel nostro paese dagli anni 70 dello scorso secolo, facilitato dalla progressiva perdita di ruolo della pianificazione, ha favorito un aumento dell'edilizia privata. Poiché una misura del rischio idrologico è data dal prodotto della probabilità degli eventi per la vulnerabilità degli elementi a rischio, è chiaro come la congiuntura di una maggiore frequenza degli eventi combinata ad una maggiore vulnerabilità del territorio possa indurre eventi calamitosi, il più delle volte verificatisi in zone di cui era nota la condizione di rischio idrogeologico elevato.

Secondo un'indagine elaborata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare le aree ad elevata criticità idrogeologica interessano il 9,6% circa della superficie territoriale del Paese, pari a più di 29.500 km<sup>2</sup>, e l'82% dei comuni italiani (6631 comuni). Dalla superficie esposta a elevata criticità idrogeologica, si stima che la popolazione potenzialmente esposta a rischio sia pari a 5,8 milioni di persone, il 10% della popolazione nazionale, e gli edifici interessati siano circa 1,3 milioni. Questi dati evidenziano una situazione critica che con ogni probabilità è destinata a esacerbarsi a causa delle tendenze climatiche future.

La storia recente italiana ha purtroppo proposto evidenze di criticità del territorio dal punto di vista del dissesto idrogeologico. Gli eventi più recenti sono occorsi nel 2011 e nel 2012, con effetti drammatici in Liguria, in Toscana e in Sicilia (Silvestro et al., 2012). Limitando l'analisi al 2011, nelle regioni dell'Italia centrale, l'autunno fu inizialmente caratterizzato da temperature superiori alla media e da precipitazioni ridotte. Nel mese di ottobre, inizialmente caldo, si verificò un ingresso di aria fredda dalle regioni artiche che riportò le temperature alle medie stagionali. Nella

seconda metà del mese, un ingresso di aria fredda di provenienza nord-Atlantica si spostò sulle regioni settentrionali causando forti temporali. La prima perturbazione, con precipitazioni caratterizzate da cumulate giornaliere comprese fra 300 e oltre 500 mm in Lunigiana e in Liguria di Levante, causò esondazioni. Una seconda perturbazione entrò sulle regioni occidentali nei primi giorni di novembre. Il 4 novembre si verificò un intenso temporale che rimase attivo da mattina a sera dando luogo alla drammatica alluvione di Genova. La città fu allagata con conseguenze disastrose. I problemi maggiori occorsero all'inizio del tratto "tombato" del Rio Fereggiano. La "tombatura" causa una riduzione della capacità di deflusso, con il risultato che le portate idriche in eccesso si riversano lungo le strade e le aree urbane. Vale la pena ricordare che "tombature" e altre situazioni in cui la viabilità si è sovrapposta (o sostituita) agli alvei fluviali non sono limitate a Genova o alla Liguria, ma sono comuni in altre parti del Paese. Ne sono un esempio gli "alvei-strada" dell'area Vesuviana (Calcaterra et al., 2003). Una successiva irruzione di aria fredda causò piogge intense che produssero alluvioni in Sicilia nei giorni 22 e 23 novembre. I centri più colpiti furono Messina, Barcellona Pozzo di Gotto, Milazzo, Villafranca Tirrena e Saponara.

Gli eventi catastrofici occorsi in, Lunigiana, Liguria di Levante, Genova e in Sicilia nord-orientale ed anche in Sardegna sono stati causati da precipitazioni di forte intensità che hanno prodotto condizioni idrologiche incompatibili con la configurazione della rete idrografica. La forte antropizzazione, ha ridotto l'efficienza della rete idrografica, e ha ridotto la resilienza del territorio e della società ad eventi estremi che si verificano con sempre maggiore frequenza in Italia. In tutto il Paese sono numerose le situazioni critiche, note anche grazie alle mappe del rischio idraulico redatte dalle Autorità di Bacino nell'ambito dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI). Ciò suggerisce possibili margini di miglioramento per le strategie di prevenzione, mitigazione e adattamento.

## Verso l'identificazione delle azioni di adattamento

### Il quadro normativo sul dissesto idrogeologico

In materia di rischio idrogeologico, il quadro normativo italiano è complesso e articolato. In questa sezione identifichiamo in modo non esaustivo i principali elementi legislativi che affrontano il tema del rischio idrogeologico tenendo in considerazione le variazioni indotte dai cambiamenti climatici.

Per quanto riguarda la gestione della risorsa idrica e il rischio di alluvione, esistono due strumenti normativi europei di riferimento. Il primo è la *Water Framework Directive 2000/60/EC* (WFD), recepita in Italia dal D. Lgs. 152/2006. La WFD, e il relativo decreto di recepimento, normano i parametri che descrivono lo stato ambientale dei bacini idrografici. La direttiva evidenzia la necessità di una gestione straordinaria della risorsa idrica in caso di condizioni idrologiche estreme (siccità, alluvioni), ammettendo deroghe ai vincoli imposti dalla direttiva stessa, e incoraggiando l'adozione di "piani di gestione straordinaria" in caso di eventi estremi. Per quanto riguarda le alluvioni, l'incoraggiamento diventa un obbligo con la *EU Floods Directive 2007/60/CE* (EFD) che istituisce un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvione, recepita in Italia dal D. Lgs. 49/2010 che assegna alle Autorità di Bacino distrettuali la competenza per l'individuazione delle zone a rischio potenziale di alluvioni, per la redazione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, e del Piano di Gestione delle alluvioni. La direttiva e il relativo decreto si inseriscono in un quadro legislativo riguardante la gestione delle alluvioni in Italia già ben sviluppato e avanzato. Di fatto la EFD sancisce, con poche variazioni, ciò che era già previsto nella Pianificazione di Bacino per la redazione dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) (Legge 267/1998). Un elemento di spicco della EFD rispetto alle norme nazionali è il riferimento diretto al cambiamento climatico che deve essere esplicitamente tenuto in considerazione nelle procedure di valutazione del rischio previste dalla direttiva stessa.

Per le frane, non esistono strumenti normativi europei simili alla *Water Framework Directive* e alla Direttiva Europea Alluvioni. La *Soil Thematic Strategy* dell'Unione Europea fa riferimento ai problemi di erosione, in particolare per i loro effetti sull'agricoltura, ma non considera la franosità. La negoziazione di una *EU Soil Framework Directive*, che potrebbe (e dovrebbe) considerare anche i fenomeni franosi, è iniziata nel 2007, è continuata fino al 2010, e si è successivamente arenata per mancanza di un consenso politico. A livello nazionale il quadro normativo è più frammentato rispetto a quello delle piene e delle inondazioni. La Legge 267/1998 ha imposto alle Regioni e alle Autorità di Bacino di individuare le aree a rischio da frana, e a classificare le stesse in base ai livelli di rischio. La stessa legge prevedeva che fossero prese misure di protezione civile nelle aree a rischio da frana. Le attività condotte in ottemperanza alla Legge 267/1998 e per la redazione dei PAI hanno incrementato, in qualche Regione anche in modo rilevante, il quadro conoscitivo sulle condizioni di rischio da frana. Se esiste un certo grado di omogeneità nei criteri classificativi per le aree considerate dalle zonazioni previste della Legge 267/1998, che nel complesso coprono una percentuale assai ridotta del territorio nazionale, l'applicazione dei criteri non è per nulla omogenea sul territorio nazionale, con differenze evidenti anche all'interno di una stessa Regione. Per le parti del territorio non coperte delle suddette zonazioni non esistono sistemi di classificazione, regole o norme d'uso del territorio comuni e condivise.

## ***I costi socio-economici dei danni***

La valutazione del “costo socio-economico” degli eventi idrogeologici è un problema concettualmente e operativamente aperto, e di non semplice approccio e soluzione. La valutazione è ancora più complessa se si considerano i cambiamenti climatici e ambientali in atto o previsti. La complessità della valutazione è legata a diversi fattori, descritti nel seguito.

La maggior parte delle valutazioni disponibili è basata sull'esame di eventi storici. L'utilizzo di informazioni storiche per la valutazione del danno, e dei costi (ex post) associati, presenta problemi legati alla difficoltà (o impossibilità) ad attualizzare gli impatti e i costi, in particolare per gli eventi più lontani nel tempo, per i cambiamenti sociali ed economici occorsi (Guzzetti et al., 2004). Inoltre, le valutazioni disponibili comprendono essenzialmente i costi di bilancio pubblico (ANCE/CRESME, 2012), e sono parziali perché non considerano, ad esempio, le sospensioni fiscali e contributive. Le stime non considerano tutte le perdite di capitale e di valore aggiunto (ad esempio, le interruzioni di attività), e non coprono il “valore economico” dovuto alla perdita di vite umane, e le perdite di capitali naturali privi di prezzo (ad esempio, i costi non monetari per danni alla salute, ai beni culturali, ai beni ambientali). Le valutazioni non distinguono tra costo del danno in assenza di un intervento, costo di ripristino, e costo di messa in sicurezza o di prevenzione. I costi non considerano le perdite di valore aggiunto o di consumo. Rilevante è il fatto che le valutazioni non sono condotte in termini di “costo opportunità” delle risorse pubbliche e/o private impiegate, e non misurano i costi rispetto ad un controfattuale (ad esempio la perdita di consumo a seguito del disastro rispetto al consumo in assenza del disastro, o il consumo prima del disastro).

Nella valutazione dei costi va considerato che il dissesto idrogeologico si sostanzia in fenomeni anche molto diversi (inondazioni, colate detritiche, frane, erosione, sprofondamenti) caratterizzati da fattori d'innescio differenti, ed operanti a differenti scale temporali e geografiche. Ciò complica ogni tentativo di aggregazione e/o generalizzazione necessario per una stima economica complessiva dei costi del dissesto. Le correlazioni e i legami funzionali tra cambiamenti climatici ed effetti sulle modalità di distribuzione spazio temporale dei fenomeni di dissesto non sono chiare dal punto di vista metodologico e bibliografico, mancando uno stato dell'arte specifico e dettagliato per le diverse casistiche. Si parla spesso (o quasi esclusivamente) di “scenari” di danno (e di costo) piuttosto che di modelli previsionali.

Per la valutazione economica dei danni è problematico attribuire in modo univoco alla forzante climatica i costi del dissesto idrogeologico, passati (misurati) o futuri (previsti). In altre parole, è difficile determinare quanta parte dei costi associati a eventi passati o a scenari futuri di dissesto dipendano dalla variabilità climatica (ad esempio, a causa dell'aumento della frequenza e dell'intensità dei fattori scatenanti), e quanto dal variare delle condizioni socio-economiche (ad esempio, una maggior densità di popolazione, di infrastrutture, di ricchezza immobilizzata nelle zone a rischio, uso del suolo in presenza di buone o cattive pratiche). Il problema dell'attribuzione dei costi si trasferisce inevitabilmente alla valutazione dei costi di una strategia di adattamento. La maggior parte degli interventi per prevenire i danni attesi dai fenomeni di dissesto prescinde da

considerazioni o ipotesi sul cambiamento climatico. Ossia, interviene per limitare i danni derivanti da una vulnerabilità già presente e accertata. Il cambiamento climatico, se considerato nel disegno e nella realizzazione degli interventi, contribuisce a determinare l'intensità piuttosto che l'esistenza degli interventi. Nella pratica, le fonti disponibili non consentono di definire quanto il costo di un intervento già pianificato dipenda dal cambiamento climatico, e quanto da altri fattori naturali, ambientali e socio-economici preesistenti.

Ciò premesso, la distribuzione spaziale del dissesto idrogeologico è oggi (e non da oggi) un elemento d'indubbia criticità. Sommando le informazioni presenti nei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) prodotti dalle Autorità di Bacino e dalle Regioni, l'estensione complessiva delle aree a criticità idrogeologica in Italia risulta essere pari al 9,8% del territorio, di cui il 6,8% coinvolge direttamente zone con beni esposti (centri urbani, infrastrutture, aree produttive, ecc.). L'Annuario dei Dati Ambientali di ISPRA (2008) evidenzia come il 10% del territorio nazionale sia classificato a elevato rischio per alluvione e frana, e che più dell'80% dei Comuni è interessato da almeno un'area a forte criticità idrogeologica. Il rapporto "Ecosistema Rischio 2008 - Monitoraggio sulle attività delle amministrazioni comunali per la mitigazione del rischio idrogeologico", curato dal Dipartimento della Protezione Civile e da Legambiente, evidenzia come il rischio da frana e da alluvione interessa 5581 comuni (il 69% del totale), di cui 1700 a rischio da frana (21%), 1285 a rischio da alluvione (16%), e 2596 a rischio sia da frana che da alluvione (32%). Le Regioni con la più alta percentuale di Comuni classificati a rischio (100% del totale) sono la Calabria, l'Umbria e la Valle d'Aosta, seguite da Marche (99%) e Toscana (98%).

Per quanto riguarda gli effetti diretti sulla popolazione, analisi recenti effettuate utilizzando un catalogo storico di eventi di frana e d'inondazione che hanno prodotto vittime (Guzzetti et al., 2005, Salvati et al. 2010, 2012)<sup>56</sup> hanno permesso di definire e confrontare i tassi di mortalità annuali (mortalità = numero di vittime (morti e dispersi) / 100.000 persone), per frana e per inondazione, nel periodo 1861-2011, in diverse aree climatiche in Italia. In sintesi, l'analisi ha mostrato come, nel periodo esaminato: (i) la mortalità media per frana sia stata maggiore della mortalità media per inondazione, (ii) per la maggior parte delle zone climatiche, il periodo peggiore (mortalità più elevata) sia stato quello compreso tra il 1910 e il 1960, sia per le frane sia per le inondazioni, (iii) nel periodo più recente (dal 1960 al 2011) si è verificata una diminuzione della mortalità, sia da frana che da inondazione, e (iv) le aree alpine di montagna a clima temperato freddo mostrano un comportamento generalmente opposto a quello delle altre zone climatiche. Sono anche possibili stime economiche legate alla perdita di vite umane. Tali stime sono tuttavia condizionate ad una definizione unica e condivisa del valore economico della vita umana oggi mancante, basata ad esempio sulla stima della mancata produzione o sul valore statistico della vita (Zoboli, 2010).

Per quanto riguarda i costi economici delle calamità naturali, e in particolare delle calamità idrogeologiche esistono diverse fonti, che permettono stime differenti. Il database internazionale

---

<sup>56</sup> polaris.irpi.cnr.it.

sugli eventi catastrofici EM-DAT<sup>57</sup>, per il periodo 1951 - 2012 stima i costi associati a eventi idrogeologici in Italia in circa 18 miliardi di Euro, di cui quasi 17 miliardi di Euro imputabili a eventi alluvionali, e i rimanenti a singoli fenomeni franosi.

Stime più recenti, e più accurate, sono state pubblicate nel 2012 dall'Agencia Nazionale dei Costruttori Edili (ANCE) e dal Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio (CRESME) (ANCE/CRESME, 2012). Secondo le analisi di ANCE/CRESME, basate anche sull'analisi di stime e cataloghi preesistenti (Catenacci, 1994), nei 68 anni fra il 1944 e il 2011 il danno complessivo prodotto da terremoti, frane e alluvioni in Italia supera 240 miliardi di Euro con una media di 3,5 miliardi di Euro l'anno. Le calamità idrogeologiche hanno contribuito per 61,5 miliardi di Euro (2011), 0,9 miliardi di Euro l'anno, equivalenti a circa il 25% del danno complessivo. Secondo ANCE/CRESME (2012) nel periodo 1991 - 2012 sono i finanziamenti pubblici erogati per interventi di mitigazione del rischio idrogeologico ammontano a 9,8 miliardi di Euro (Tabella 1.6).

<b>Fonte</b>	<b>Periodo</b>	<b>Finanziamenti (miliardi di Euro)</b>
L. 183/89	1991 - 2003	3,4
D.L. 180/98	1998 - 2008	2,4
AP-MATTM	2010 - 2011	2,1
Regioni, Province	1999 - 2011	1,8
"Otto per Mille"	1999 - 2010	0,1
<b>Totale</b>	<b>1991 - 2011</b>	<b>9,8</b>

**Tabella 1.6:** Finanziamenti pubblici erogati per la mitigazione del dissesto idrogeologico nel periodo 1991 - 2012  
(Fonte: ANCE/CRESME, 2012).

I finanziamenti pubblici per il ripristino post-evento e per la mitigazione del rischio idrogeologico sono cresciuti in modo rilevante negli ultimi anni, ponendo chiari problemi di sostenibilità economica. Secondo i dati rilevati da ISPRA, negli ultimi 50 anni, i principali eventi alluvionali hanno avuto un costo diretto riconoscibile in termini di Prodotto Interno Lordo (PIL), e elevato in valore assoluto. Se dopo gli episodi particolarmente catastrofici del 1951 (Polesine), 1966 (alluvione di Firenze) e del 1972, l'impatto si è mantenuto sotto al 0,5% del PIL, dalla fine degli anni '80 dello scorso secolo il valore non è diminuito, a conferma della permanente e diffusa vulnerabilità del territorio. Nel periodo 1951-2011, la spesa totale per sopperire ai danni prodotti da calamità idrogeologiche ha superato 16 miliardi di Euro, una media di 320 milioni di Euro l'anno.

Il Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo (ReNDiS)<sup>58</sup> raccoglie informazioni sulle spese pubbliche per le misure di riduzione del rischio geologico e idraulico finanziate dal

<sup>57</sup> [www.emdat.be/](http://www.emdat.be/)

MATTM nel quadro della Legge 267/98. Nel periodo di 15 anni compreso fra il 1998 e il 2012 sono state finanziate 4710 opere, con un costo complessivo superiore a 4 miliardi di Euro (Tabella 2.6). Le opere comprendono interventi strutturali (risagomatura di alvei, costruzione di briglie e muri di sostegno e contenimento), interventi di riqualificazione (creazione di lembi di nuova piana inondabile, la creazione di casse di espansione, ecosistemi filtro e impianti vegetali, l'abbandono "controllato" di opere di difesa spondale per favorirne lo smantellamento naturale e la riattivazione delle dinamiche fluviali naturali) e l'adeguamento dei sistemi di drenaggio nelle aree urbane. A partire dal 2011, ai costi riportati nella Tabella 2.6 vanno aggiunte le risorse disposte dagli Accordi di Programma quadro deliberati dal CIPE, e che ammontano a circa 2 miliardi di Euro. Dal 2009 al 2011 infine, i fondi stanziati attraverso ordinanze di protezione civile emanate a seguito di emergenze idrogeologiche (aggiuntivi a quelli elencati nella Tabella 2.6) ammontano a più di 1 miliardo di Euro (Legambiente & DPC, 2010), il 60% dei quali è stato utilizzato per far fronte ai danni prodotti da calamità idrogeologiche in Sicilia (circa 290 milioni di Euro per gli eventi di Messina del 2009 e del 2011) e in Veneto (300 milioni di Euro), e il 20% per far fronte agli eventi in Liguria e in Toscana. In totale, l'80% delle risorse stanziato nel periodo 2010-2012 è servito per intervenire nelle Regioni colpite dagli eventi più gravi, in Liguria, Toscana, Veneto e Sicilia. Va notato che le stime di danno prodotte dai Comuni colpiti in queste quattro Regioni, e riportate dai censimenti realizzati dai Commissari delegati per le emergenze, assomma a circa 2,2 miliardi di Euro, il triplo delle risorse erogate a seguito delle emergenze.

Va considerato che ci sono costi non evidenti del dissesto idrogeologico. In Italia si paga un'accisa, ossia un'imposta sulla fabbricazione e la vendita dei carburanti. L'accisa si compone di voci introdotte anche per far fronte a disastri naturali, inclusi la frana e l'inondazione del Vajont del 1963, l'alluvione di Firenze del 1966, e le alluvioni in Liguria e Toscana del 2011. Nel triennio 2010 - 2012, la porzione dell'accisa relativa alle catastrofi idrogeologiche è stata pari a 2,4 miliardi di Euro, circa 1/3 dei costi stimati da ANCE/CRESME (2012) nello stesso periodo (7,5 miliardi di Euro).

<i>Regione</i>	<i>Numero di interventi</i>	<i>Fondi (milioni di Euro)</i>
Abruzzo	144	117,9
Basilicata	214	102,6
Calabria	449	391,3
Campania	287	384,1
Emilia - Romagna	300	277,9
Friuli-Venezia Giulia	72	87,2
Lazio	275	303,8
Liguria	115	113,2
Lombardia	478	422,0
Marche	248	148,0
Molise	74	53,0

<sup>58</sup> [www.rendis.isprambiente.it](http://www.rendis.isprambiente.it)

Piemonte	458	243,6
Puglia	212	314,9
Sardegna	98	148,9
Sicilia	407	608,2
Toscana	528	410,0
Trentino - Alto Adige	61	38,5
Umbria	90	100,8
Valle d'Aosta	29	31,1
Veneto	171	175,3
<b>Totale</b>	<b>4710</b>	<b>4472,3</b>

**Tabella 2.6:** Importi finanziati dal MATTM nel periodo 1998 - 2012 nel quadro del D. L. 180/98 (Fonte: ISPRA ReNDiS<sup>59</sup>).

Determinare quanto i costi per il ripristino e per la mitigazione del dissesto idrogeologico possano cambiare in futuro, e quanto i costi potranno essere imputati ai cambiamenti climatici, è estremamente complesso. Allo stato l'unica fonte informativa a nostra conoscenza è il tender della Commissione Europea, Direttorato Generale Ambiente, ClimWatAdapt<sup>60</sup> che propone una stima dei costi diretti e indiretti per l'Europa, e per le singole nazioni, degli eventi alluvionali fluviali nei prossimi 50 anni (ma non di altri eventi idrogeologici: colate detritiche, frane, erosione, sprofondamenti). La stima dei costi diretti è effettuata applicando il modello idrologico LISFLOOD (Feyen & Dankers, 2009) che quantifica ad elevata risoluzione spaziale aggregabile a diversi livelli la variazione in frequenza e magnitudo degli eventi alluvionali con un periodo di ritorno di 100 anni nei prossimi 50 anni. Ciò avviene perturbando le forzanti del modello con i risultati prodotti da undici diversi modelli climatici regionali nello scenario A1B dell'IPCC. Successivamente, i dati delle superfici inondate sono combinati con proiezioni a livello di unità territoriali di livello NUTS2<sup>61</sup> della popolazione e della densità di valori economici immobilizzati, per stimare una funzione di danno specifica per le NUTS2. Per l'Italia, si stima un potenziale danno diretto atteso dalle alluvioni fluviali nel 2050 di 1,6 miliardi di Euro, assumendo che il livello di protezione sia mantenuto ai livelli attuali. In 50 anni, ciò configura il triplicarsi dei dati stimati dal modello per i danni attuali (534 milioni di Euro). Tra i costi diretti non sono considerati gli impatti potenziali sulla popolazione in termini di costi per la salute, "displacement costs", e perdite di ore lavorate. Lo studio isola i costi dovuti alla componente climatica. Degli 1,6 miliardi di Euro, circa 1/3 (550 milioni di Euro) derivano dalle mutate condizioni climatiche, e il resto è da imputare alle dinamiche di crescita economica che aumenta la dotazione infrastrutturale e abitativa nelle aree esposte. Il risultato conferma che, ammesso sia possibile attribuire correttamente ai cambiamenti

<sup>59</sup> [www.rendis.isprambiente.it](http://www.rendis.isprambiente.it).

<sup>60</sup> [www.climwatadapt.eu/](http://www.climwatadapt.eu/)

<sup>61</sup> [http://it.wikipedia.org/wiki/Nomenclatura\\_delle\\_unit%C3%A0\\_territoriali\\_statistiche](http://it.wikipedia.org/wiki/Nomenclatura_delle_unit%C3%A0_territoriali_statistiche)

climatici la variazione dei costi del dissesto idrogeologico, la maggior parte dei costi deriva da vulnerabilità preesistenti (vd. casella di approfondimento). Il tender propone infine una valutazione dell'impatto indiretto sul PIL, che misura gli effetti indotti dagli eventi alluvionali sulla capacità produttiva. Questi considerano una temporanea minor produttività del capitale fisico, dei terreni agricoli e della forza lavoro. L'impatto, seppur più contenuto, rimane comunque rilevante in termini assoluti, ammontando, nel 2050, ad un totale di 457 milioni di Euro, 155 dei quali imputabili ai cambiamenti climatici.

Data la scarsa evidenza quantitativa, è oggi azzardata qualsiasi ipotesi di analisi costi/benefici. Tuttavia, utilizzando i dati del modello LISFLOOD<sup>62</sup>, ipotizzando un andamento dei danni lineare dal 2012 al 2050, e partendo da un valore conservativo al ribasso di 500 milioni di Euro per raggiungere gli 1,6 miliardi di Euro nel 2050, il valore cumulato non scontato nel periodo ammonta a circa 40 miliardi di Euro, una cifra vicina al fabbisogno necessario per la realizzazione degli interventi per la sistemazione complessiva delle situazioni di dissesto nell'intero territorio nazionale (44 miliardi di Euro, di cui 27 miliardi per il Centro-Nord, 13 miliardi per il Mezzogiorno, e 4 miliardi per le coste). In altre parole, la prevenzione dei soli episodi alluvionali porterebbe dei benefici comparabili ai costi. Considerata l'aleatorietà delle stime disponibili, l'analisi prescinde da complicazioni relative a tassi di attualizzazione delle spese future e alle diverse dinamiche temporali degli interventi di prevenzione e dei danni attesi. Si ipotizza inoltre che i 44 miliardi di Euro, una volta spesi portino ad una riduzione a zero del danno atteso da dissesto idrogeologico.

---

<sup>62</sup> <http://floods.jrc.ec.europa.eu/lisflood-model.html>

### Dissesto idrogeologico ad Ancona: Il progetto LIFE ACT

Il progetto LIFE ACT – *Adapting to Climate Change in Time* (Capriolo et al., 2011a, 2011b) propone una stima dei costi di messa in sicurezza del territorio del Comune di Ancona in uno scenario di cambiamento climatico, da qui al 2100, contro il dissesto idrogeologico rappresentato da fenomeni franosi superficiali e profondi di tipo lento. La superficie antropizzata attualmente in frana corrisponde a circa il 2,5% del territorio comunale (2,5 km<sup>2</sup>). Il dato è stato ricavato intersecando in un GIS le frane cartografate dal progetto IFFI con la mappatura del territorio urbanizzato (continuo e discontinuo) ottenuta dal *Corine Land Cover*. Il costo medio di ripristino e messa in sicurezza è stimato in un minimo di 50 e un massimo di 70 Euro per m<sup>2</sup>, per un totale di 125-175 milioni di Euro al 2011. Le stime sono desunte da un ventaglio di interventi, dalla pulizia della vegetazione, al drenaggio e raccolta acque, alla protezione antierosiva, alle opere di rinaturalizzazione. I valori minimi e massimi sono stati desunti dai prezziari regionali per le lavorazioni previste, e verificati su casi reali interrogando il Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo (ReNDiS) di ISPRA ([www.rendis.isprambiente.it/](http://www.rendis.isprambiente.it/)). Lo scenario futuro ipotizza un aumento della superficie antropizzata in frana da qui al 2100 di 0,5 km<sup>2</sup> aggiuntivi di territorio. Tale incremento è dovuto alla forzante climatica in quanto le frane sono imputabili ad un probabile aumento di precipitazione del 10% al 2100. La spesa aggiuntiva oscilla quindi tra 25 e 35 milioni di Euro al 2100. Lo studio evidenzia come la parte di spesa imputabile alla forzante climatica costituisca solo 1/5 dei costi totali di messa in sicurezza.

## Incertezze e incognite

Le analisi climatiche, meteorologiche, idrologiche e geomorfologiche sono spesso effettuate utilizzando modelli matematici di simulazione. I modelli servono per la previsione degli eventi a differenti scale geografiche e temporali, e per ricavare variabili di progetto per la pianificazione di interventi di mitigazione e di strategie di adattamento. Tali analisi (e i modelli sui quali si basano) sono affette da incertezze dovute a molteplici cause.

La prima causa rilevante d'incertezza è dovuta al margine di errore con il quale i dati sono osservati, che spesso non è trascurabile, soprattutto in riferimento ai dati di precipitazione e deflusso fluviale. Nel caso dei dati di precipitazione le incertezze maggiori sono legate al calcolo del valore medio areale, a causa della forte eterogeneità dei campi di precipitazione stessi. L'incertezza può essere ridotta con l'impiego di strategie e metodi avanzati di monitoraggio. Nel caso dei deflussi fluviali, l'incertezza è dovuta a molteplici cause che fanno sì che l'incertezza nelle osservazioni di routine raggiunga livelli ragguardevoli (Di Baldassarre & Montanari, 2009). Anche in questo caso, l'integrazione di diversi metodi di monitoraggio può portare benefici rilevanti, così come l'impiego di tecnologie avanzate<sup>63</sup>. Una seconda causa d'incertezza è dovuta all'approssimazione insita nei modelli di previsione climatica. La letteratura ha proposto diversi metodi di valutazione dell'incertezza, ma i risultati ottenuti sono ancora indicativi. A causa della natura del problema, più che di vere e proprie stime di incertezza si tratta di valutazioni di

---

<sup>63</sup> [www.iahs.info/pantarhei](http://www.iahs.info/pantarhei)

consenso modellistico. Una terza causa d'incertezza è dovuta all'inesatta schematizzazione dei processi idrologici operata dai modelli matematici di simulazione. E' opinione diffusa che l'incertezza dei modelli idrologici sia più contenuta rispetto a quella dei modelli climatici, che operano a scale temporali e spaziali più estese. Tuttavia, la letteratura idrologica è ben chiara nell'evidenziare i limiti dei modelli di simulazione, che in molti casi riescono solo a dare indicazioni di primissima approssimazione. Alcuni ricercatori concordano nell'identificare una quarta causa d'incertezza nel carattere tipicamente ed intrinsecamente non deterministico dei processi idrologici (e, per analogia, dei processi climatici). Di fatto, detti processi sono intrinsecamente caratterizzati da casualità che rendono impossibile una rappresentazione deterministica (esatta) (Montanari & Koutsoyiannis, 2012). Questa circostanza, se confermata, rende evidente la necessità di impostare la modellazione matematica, a supporto dell'analisi delle situazioni di dissesto e delle strategie di adattamento, su base probabilistica, per pervenire ad una stima oggettiva dell'incertezza.

Il risultato delle incertezze di cui sopra è la definizione a meno di un margine di errore sia dei cambiamenti climatici che delle analisi idrologiche conseguenti. Detta evidenza pone un problema operativo ben noto e di non facile trattamento nella pianificazione delle strategie di mitigazione. E' opinione diffusa nella letteratura che l'incertezza debba essere stimata e resa nota in soluzione trasparente, al fine di fornire al decisore un'informazione completa. Tuttavia, la stima d'incertezza rimane un problema scientifico aperto.

La letteratura idrologica ha recentemente proposto alcuni schemi teorici a supporto della stima d'incertezza (Liu et al., 2009; Montanari & Koutsoyiannis, 2012). Detti schemi si propongono di pervenire alla stima della distribuzione di probabilità della variabile idrologica prevista mediante integrazione numerica delle diverse fonti d'incertezza. L'integrazione è effettuata per simulazione, ricorrendo quindi ad una procedura che, seppur non complessa in principio, richiede l'impiego di notevoli risorse di calcolo. Il problema fondamentale è la caratterizzazione delle diverse fonti d'incertezza, fra le quali è inclusa la menzionata incapacità del modello di pervenire ad una rappresentazione esatta dei processi coinvolti.

Per quanto concerne i modelli geomorfologici e geologico-tecnici utilizzati per prevedere il possibile innesco di frane, siano essi di tipo empirico come le soglie di pioggia (Guzzetti et al. 2007, 2008), deterministico (Montgomery & Dietrich, 1994; Iverson 2000; Baum et al., 2002; Crosta & Frattini, 2003; Rosso et al., 2006; Simoni et al., 2008) o statistico (Guzzetti et al., 1999; 2005), essi generalmente non considerano l'incertezza associata ai parametri. Questa è certamente una limitazione notevole, che solo di recente è stata affrontata in modo sistematico (Brunetti et al., 2010; Rossi et al., 2010; Peruccacci et al., 2012; Raia et al., 2013).

L'applicazione delle procedure di stima d'incertezza in idrologia e geomorfologia è ancora considerata un esercizio di ricerca scientifica. Tuttavia, la ricerca in questo campo è molto attiva e si stanno producendo software applicativi che risulteranno presto facilmente accessibili agli utilizzatori finali. L'obiettivo è ottenere una stima d'incertezza delle previsioni meteo climatiche e

quindi delle variabili in ingresso ai modelli di previsione, integrarla con l'incertezza dei dati osservati e con l'incertezza dei modelli, esprimendo la variabile prevista in termini probabilistici.

Un aspetto sul quale la ricerca sta ponendo particolare attenzione è l'identificazione di metodi idonei per prendere decisioni, ossia la definizione di strategie di mitigazione del rischio in presenza di incertezza. Infatti, in dipendenza dell'entità dell'incertezza è opportuno prendere decisioni flessibili e adattabili. La tendenza recente è quella di adottare una tecnica di decisione di tipo *bottom-up*: anziché determinare con modelli le variabili di progetto per strategie di mitigazione del rischio, è opportuno procedere con un'analisi delle criticità in essere sul territorio, identificando così le situazioni limite che dovranno essere confrontate con le distribuzioni di probabilità delle variabili di progetto, utilizzando così un approccio prettamente probabilistico.

E' necessario rendere imprescindibile la stima con metodi probabilistici e oggettivi delle incertezze in gioco nell'analisi degli impatti dei cambiamenti climatici. Le ragioni d'incertezza devono essere identificate in modo trasparente e oggettivo. Qualora una soluzione oggettiva non sia possibile, è necessario procedere con metodi basati su di una valutazione esperta. Una volta individuate le incertezze, è necessario operare molteplici stime della variabile di interesse per ogni configurazione possibile, al fine di ottenere un'immagine completa dello spettro delle possibili soluzioni, al fine di pervenirne alla stima della distribuzione di probabilità.

Nella determinazione delle variabili progettuali è inoltre opportuna una riflessione più generale. Attualmente, la pratica ingegneristica e i riferimenti normativi per la progettazione strutturale delle difese da inondazioni si basano sul concetto di "tempo di ritorno". Tale concetto fa implicitamente riferimento alla stazionarietà statistica dei processi considerati nella progettazione. L'ipotesi di stazionarietà deve essere attentamente valutata in un contesto di cambiamento climatico. Mentre numerosi processi di cambiamento possono essere l'espressione di fenomeni stazionari, occorre discernere con particolare attenzione i fenomeni imputabili a non-stazionarietà, per i quali il concetto di tempo di ritorno potrebbe risultare inadeguato. Attualmente, la letteratura scientifica sta proponendo concetti alternativi che possono essere utilizzati anche in presenza di serie non stazionarie. Diversi concetti sono stati avanzati, fra i quali il "tempo di vita di progetto" (Design Life Level), e il derivato "tempo di vita minimo e massimo di progetto" (MinMax Design Life Level), così come l'utilizzo di strumenti per la quantificazione dei cambiamenti, fra i quali i diagrammi di rischio (Risk Plots), i diagrammi a rischio costante (Constant Risk Plots) (Rootzen & Katz, 2012), il fattore di magnificazione decennale (Decadal Magnification Factor), o il concetto di Recurrence Reduction (Villarini et al., 2009). E' necessario considerare attentamente le ipotesi formulate durante il processo di progettazione per la quantificazione del rischio e per il calcolo delle variabili di progetto.

## **Aree maggiormente vulnerabili**

In Italia, esistono aree che più di altre sono vulnerabili ai cambiamenti climatici in atto o atteso. Ciò per ragioni diverse, fra le quali:

- Una maggiore fragilità del territorio, dovuta a concomitanti fattori climatici, meteorologici, morfologici, idrologici, geologici, geomorfologici e pedologici;
- Una maggiore esposizione, dovuta a uno sviluppo elevato degli insediamenti non sempre realizzato in modo consapevole del rischio che tali insediamenti avrebbero concorso a materializzare; e
- La presenza di retroazioni (feedback) positive nelle variazioni osservabili nelle forzanti meteo-idrologiche.

Casi di particolare interesse sono sicuramente: (i) l'ambiente alpino (di montagna), (ii) l'ambiente padano (il bacino del Fiume Po), e (iii) alcune aree costiere dell'Italia meridionale e insulare. I primi due esempi si collegano ai capitoli specificatamente redatti per tali ambienti nel presente rapporto. Le aree montane, e in particolare quelle di alta quota, sono tra le più sensibili ai cambiamenti climatici in atto. Molti dei fenomeni d'instabilità imputabili al cambiamento climatico descritti in precedenza si verificano in aree remote e scarsamente popolate. Tuttavia, esistono diversi motivi per cui tali eventi non debbono essere trascurati. Pur innescandosi in aree remote, alcuni di questi processi sono in grado di coprire notevoli distanze, arrivando a interessare centri abitati o infrastrutture viarie nevralgiche, come nei casi descritti per gli abitati di Macugnaga (VB) e Sonico (BS). In secondo luogo, le vallate alpine sono oggetto di flussi turistici importanti. I processi d'instabilità mettono a rischio l'incolumità della popolazione residente e dei turisti, e possono causare perdite economiche ingenti nelle aree di maggior pregio e sviluppo turistico. Non bisogna dimenticare l'importanza crescente che le vallate alpine sono destinate ad avere in un'ottica di consolidamento dei collegamenti con il resto dell'Europa, che non possono prescindere dall'attraversamento delle Alpi. In ultimo, è opportuno ricordare come nelle aree alpine gli effetti del cambiamento climatico si sommino a una fragilità intrinseca del territorio, anche dal punto di vista socio-economico.

Il bacino del Fiume Po costituisce un ambiente in cui la risorsa idrica e quella territoriale sono estremamente sfruttate, in particolare nella zona Padana. Sebbene l'abbondanza idrica e la forte capacità di regolazione del bacino non lo pongano tra le zone maggiormente vulnerabili ai cambiamenti climatici, la piana del Po – e l'attigua pianura Veneta – ha sofferto negli ultimi anni una sequenza preoccupante di alluvioni seguite da gravi crisi idriche. Tale sequenza di condizioni estreme in una zona in cui sono concentrate le maggiori attività produttive del paese richiede una attenzione particolare, e misure di adattamento efficaci.

Per quanto concerne l'Italia meridionale, negli ultimi anni, oltre ai già citati fenomeni di colata verificatisi in Campania, la Calabria è stata soggetta a ripetuti fenomeni di dissesto e la Sicilia nord-orientale è stata interessata da fenomeni capaci di produrre ingenti danni e vittime (Giampileri, 2007, 2009; Saponara, 2011). L'insacco di tali fenomeni può essere addebitato all'effetto combinato di cause (i) naturali (bacini di modesta superficie con versanti caratterizzati da elevata acclività), (ii) antropiche (abbandono delle colture e delle connesse pratiche agricole, estese aree dei versanti privati della copertura vegetale per effetto d'incendi, rete viaria priva di adeguata manutenzione idraulica), e (iii) climatiche legate all'incremento nella frequenza di

fenomeni di precipitazione di tipo convettivo di limitata durata (nell'ordine delle dieci ore) e con intensità medie orarie dell'ordine dei 30 millimetri, o superiori (Foti, 2012).

## **Implicazioni per altri settori**

Le condizioni di rischio idrogeologico producono impatti in altri settori connessi alla gestione e allo sfruttamento delle acque, e alla protezione dalle piene. Un aspetto rilevante è quello legato agli interventi di protezione civile e di messa in sicurezza del territorio, che ha implicazioni sulla gestione dei serbatoi artificiali e, di conseguenza, sulla produzione di energia rinnovabile idroelettrica. I fenomeni di dissesto hanno impatti rilevanti sulla produzione agricola, e sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee. Non trascurabili sono le implicazioni per il settore turistico, giacché alcune tra le aree più vulnerabili sono anche a elevata valenza turistica; basti pensare alle regioni alpine, alla riviera Ligure, o alla penisola Sorrentina. Tuttavia, l'implicazione più significativa si riferisce alle ripercussioni sul tessuto sociale, per la difficoltà connessa alla messa in funzione di strategie di mitigazione e adattamento.

Per preparare un'efficace strategia di adattamento è necessario un coordinamento "orizzontale" tra politiche diverse (territoriali, di bacino, di protezione civile, urbanistiche, paesaggistiche, ambientali, agricole, forestali) e "verticale" tra i diversi livelli di governo del territorio (Stato, Regioni, Province, Autorità di Bacino, Enti territoriali). Alla complessità determinata dalle competenze congiunte si aggiunge l'evoluzione del quadro normativo italiano che, in tema di rapporti tra ambiente, territorio e paesaggio, ha carattere additivo essendo fondato sulla previsione di nuovi strumenti che hanno nel tempo affiancato quelli in vigore, invece di provvedere a un organico percorso di rinnovamento della cornice normativa stessa.

## Bibliografia

- Allamano, P., Claps, P., Laio, F. (2009). Global warming increases flood risk in mountainous areas. *Geophysical Research Letters*, 36, L24404, doi:10.1029/2009GL041395.
- ANCE/CRESME (2012). Lo stato del Territorio Italiano 2012 - Insediamento e rischio sismico e idrogeologico. Primo Rapporto ANCE/CRESME. Roma, ottobre 2012.
- Baum, R., Savage, W., Godt, J. (2002). TRIGRS - a Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis. U.S. Geological Survey Open-file Report 424.
- Berti, D., Blumetti, A. M., Brustia, E., Calcaterra, S., Chiarolla, D., Commerci, V., Dessì, B., Gambino, P., Guerrieri, L., Iadanza, C., Lucarini, M., Mazzotta, S., Nisio, F., Triglia, A., Vittori, E., Vizzini, G. (2012). Pericolosità di origine naturale, in *Annuario Dati Ambientali Edizione 2011*.
- Bertini, T., Cugusi, F., D'Elia, B., Rossi Doria, M. (1984). Climatic conditions and slow movements of colluvial covers in Central Italy. In: *Proceedings IV International Symposium on Landslides, Toronto*, 1:367-376.
- Bloeschl, G., Montanari, A. (2010). Climate change impacts—throwing the dice? *Hydrological Processes*, 24, 374-381.
- Bocchiola, D., Medagliani, M., Rosso, R. (2009). Use of a Regional Approach for Long-Term Simulation of Snow Avalanche Regime: a Case Study in the Italian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 41(3), 285-300, 2009.
- Brath, A., Montanari, A., Moretti G. (2006). Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *Journal of Hydrology*, 324, 141-153.
- Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., Guzzetti, F. (2010). Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 447-458.
- Buma, J., Dehn, M. (1998). A method for predicting the impact of climate change on slope stability. *Environmental Geology*, 35(2-3), 190-196.
- Burlando, P., Rosso, R. (2002). Effects of transient climate change on basin hydrology. 1. Precipitation scenarios for the Arno River, central Italy. *Hydrological Processes*, 16, 1151-1175.
- Calcaterra, D., Parise, M. (eds.) (2010). Weathering as a predisposing factor to slope movements. Geological Society of London, *Engineering Geology Special Publication no. 23*, 233 pp.
- Calcaterra, D., Parise, M., Palma, B. (2003). Combining historical and geological data for the assessment of the landslide hazard: a case study from Campania, Italy. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 3, 3-16.
- Cannon, S. H., Gartner, J. E., Rupert, M. G., Michael, J. A., Rea, A. H., Parrett, C. (2010). Predicting the probability and volume of post-wildfire debris flows in the intermountain west, USA. *Geological Society of America Bulletin*, 122, 127-144.
- Cannon, S. H., Kirkham, R. M., Parise, M. (2001). Wildfire-related debris-flow initiation processes, Storm King Mountain, Colorado. *Geomorphology*, 39(3-4), 171-188.
- Capriolo, A., Giordano, F., Mascolo, R.A., Spizzichino, D. (2011a). Climate change and adaptation policies in the euro Mediterranean area: proposed strategies in the life act (Adapting to Climate change in Time) PROJECT. In: *Le modificazioni climatiche e i rischi naturali*. Polemio, M. (ed.), ISBN 9788890508806, CNR IRPI, Bari, 173-176.
- Capriolo, A., Giordano, F., Mascolo, R. A., Spizzichino, D. (2011b). The Impacts of Climate Change in Patras, Bullas and Ancona, Life Project ACT - Adapting to Climate Change in Time n. LIFE08 , Rapporto Tecnico Anno 2011 n. 6.

- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M., Salvati, P. (2002). A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2(1-2), 57-72, doi:10.5194/nhess-2-57-2002.
- Cascini, L., Fornaro, G., Peduto, D. (2010). Advanced low-and full-resolution DInSAR map generation for slow-moving landslide analysis at different scales. *Engineering Geology*, 112, 29-42, doi:10.1016/j.enggeo.2010.01.003.
- Castellarin, A., Brath, A., Montanari, A. (2001). At-site and regional assessment of the possible presence of non-stationarity in extreme rainfall in northern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B*, 26, 705-710.
- Catenacci, V. (1992). Il dissesto geologico e geoambientale in Italia dal dopoguerra al 1990. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Servizio Geologico Nazionale*.
- Cigna, F., Bianchini, S., Casagli N. (2012). How to assess landslide activity and intensity with Persistent Scatterer Interferometry (PSI): the PSI-based matrix approach. *Landslides*, doi:10.1007/s10346-012-0335-7.
- Cislaghi, M., De Michele, C., Ghezzi, A., Rosso, R. (2005). Statistical assessment of trends and oscillations in rainfall dynamics: analysis of long daily Italian series. *Atmospheric Research*, 77, 188-202.
- Clague, J. J. (2008). Climate change and slope stability. In Sassa, K., Canuti, P. (eds.), *Landslides; Disaster Risk Reduction*. Springer, Berlin, 557-572.
- Comegna L., Picarelli L., Bucchignani E., Mercogliano P. (2012). Potential effects of incoming climate changes on the behaviour of slow active landslides in clay Landslides, doi:10.1007/s10346-012-0339-3.
- Coppola, E., Giorgi, F. (2010). An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations. *International Journal of Climatology*, 30:1 11–32.
- Crosta, G., Frattini, P. (2003). Distributed modeling of shallow landslides triggered by intense rainfall. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 81-93.
- Crozier, M. J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, 124(3-4), 260-267, doi:10.1016/j.geomorph.2010.04.009.
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. In: Turner, A. K., Schuster, R. L. (eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation, Special Report 247*. Transportation Research Board, Washington D. C., 36-75. ISSN: 0360-859X, ISBN: 030906208X.
- Damiano, E., Mercogliano, P. (2011). Potential effects of climate change on slope stability in unsaturated pyroclastic soils. *Proceedings of the Second World Landslide Forum, 3-7 October 2011, Rome*.
- De Michele, C., Montanari, A., Rosso, R. (1998). The effects of non-stationarity on the evaluation of the critical design storm. *Water Science and Technology*, 37, 187-193.
- De Michele, C., Salvadori, G., Canossi, M., Petaccia, A., Rosso, R. (2005). Bivariate statistical approach to check adequacy of dam spillway. *ASCE Journal of Hydrological Engineering*, 10, 50-57.
- Dehn, M., Bürger, G., Buma, J., Gasparetto, P. (2000). Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. *Engineering Geology*, 55(3), 193-204.
- Di Baldassarre, G., Montanari, A. (2009). Uncertainty in river discharge observations: a quantitative analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 913-921.
- Di Baldassarre, G., Montanari, A., Lins, H., Koutsoyiannis, D., Brandimarte, L., Bloeschl, G. (2010). Flood fatalities in Africa: from diagnosis to mitigation. *Geophysical Research Letters*, 37, L22402, doi:10.1029/2010GL045467.

- Feyen, L., Dankers, R. (2009). Impact of global warming on streamflow drought in Europe. *Journal of Geophysical Research*, 114(D17116), doi:10.1029/2008JD011438.
- Foti, E. (2012). Da Giampileri a Saponara: analisi delle cause scatenanti e delle cause predisponenti in: XII Giornata mondiale dell'acqua. Incontro-dibattito: Cosa non funziona nella difesa dal rischio idrogeologico nel nostro paese? Analisi e rimedi. Accademia dei Lincei (Roma), 23 marzo 2012.
- Frattoni, P., Crosta, G. B., Fusi, N., Dal Negro, P. (2004). Shallow landslides in pyroclastic soils: a distributed modeling approach for hazard assessment. *Engineering Geology*, 73(3-4), 277-295.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, 268-289, doi:10.1016/j.geomorph.2006.09.023.
- Galli, M., Guzzetti, F. (2007). Landslide Vulnerability Criteria: A Case Study from Umbria, Central Italy. *Environmental Management*, 40, 649-664, doi:10.1007/s00267-006-0325-4.
- Glade, T. W. (1998). Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. *Environmental Geology*, 35(2-3), 160-174.
- Gorni, E., Bianchi Janetti, E., Bocchiola, D., Rosso, R. (2008). Cambio climatico nel parco dell'Adamello. Analisi di serie climatiche quarantennali. *L'Acqua*, 5, 47-56.
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., Valigi, D. (2009). Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 279, 222-229, doi:10.1016/j.epsl.2009.01.005.
- Guzzetti, F., Cardinali, M. (1991). Debris-flow phenomena in the Central Apennines of Italy. *Terra Nova*, 3, 619-627, doi:10.1111/j.1365-3121.1991.tb00204.x.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Cipolla, F., Sebastiani, C., Galli, M., Salvati, P. (2004). Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. *Engineering Geology*, 73, 229-245.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1994) The AVI Project: A bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy. *Environmental Management*, 18, 623-633, doi:10.1007/BF02400865.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216, doi:10.1016/S0169-555X(99)00078-1.
- Guzzetti, F., Manunta, M., Ardizzone, F., Pepe, A., Cardinali, M., Zeni, G., Reichenbach, P., Lanari, R. (2009). Analysis of ground deformation detected using the SBAS-DInSAR technique in Umbria, central Italy. *Pure and Applied Geophysics*, 166(8), 1425-1459.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: new tools for and old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, 42-66. doi:10.1016/j.earscirev.2012.02.001.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98(3), 239-267.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark C. P. (2008). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5(1), 3-17, doi:10.1007/s10346-007-0112-1.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72, 272-299, doi:10.1016/j.geomorph.2005.06.002.
- Guzzetti, F., Stark, C. P., Salvati, P. (2005). Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy. *Environmental Management*, 36(1), 15-36, doi:10.1007/s00267-003-0257-1.

- Guzzetti, F., Tonelli, G., (2004). Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4(2), 213-232, doi:10.5194/nhess-4-213-2004.
- Huggel, C., Clague, J. J., Korup, O. (2012). Contemporary Climate Change and Landslide Activity in High Mountains. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37, 77-91.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M., Midgley, P. M. (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, 582 pp.
- ISPRA (2012). *Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo – ReNDiS* (www.isprambiente.it), ISPRA, *Annuario dati Ambientali 2011*.
- Iverson, R. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 36(7), 1897-1910.
- Jakob, M., Lambert, S. (2009). Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia. *Geomorphology*, 107, 275-284.
- Jasper, K., Calanca, P., Gyalistras, D., Fuhrer, J. (2004). Differential impacts of climate change on the hydrology of two Alpine rivers. *Climate Research*, 26, 113-125.
- Korup, O., Gorum, T., Hayakawa, Y. S. (2011). Without power? Landslide inventories in the face of climate change. *Earth Surface Processes and Landforms*, doi:10.1002/esp.2248.
- Koutsoyiannis, D., Montanari, A., Lins, H. F., Cohn, T. A. (2009). Climate, hydrology and freshwater: towards an interactive incorporation of hydrological experience into climate research. *Hydrological Sciences Journal*, 54, 394-405.
- Legambiente, Protezione Civile Nazionale (2010). *Ecosistema rischio 2010: monitoraggio sulle attività delle amministrazioni comunali per la mitigazione del rischio idrogeologico*. Indagine realizzata nell'ambito di "OPERAZIONE FIUMI 2010" campagna nazionale di monitoraggio, prevenzione e informazione per l'adattamento ai mutamenti climatici e la mitigazione del rischio idrogeologico di Legambiente e del Dipartimento della Protezione Civile.
- Lionello, P. et al. (2009). Eventi climatici estremi: tendenze attuali e clima futuro sull'Italia, in: *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità ed impatti*. Castellari, S., Artale, V. (eds.) Bononia University Press.
- Liu, Y., Freer, J., Beven, K. J., Matgen, P. (2009). Towards a limits of acceptability approach to the calibration of hydrological models: Extending observation error. *Journal of Hydrology*, 367, 93-103.
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6), 687-711, doi:10.1002/esp.1064.
- Martinez, J. M., Le Toan, T. (2007). Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 108, 209-223.
- Milly, P.C.D., Dunne, K.A., Vecchia, A.V. (2005). Global Pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438 (7066), 347-350.

- Montanari, A., Koutsoyiannis, D. (2012). A blueprint for process-based modeling of uncertain hydrological systems. *Water Resources Research*, 48, W09555, doi:10.1029/2011WR011412.
- Montanari, A., Rosso, R., Taqqu, M. S. (1996). Some long-run properties of rainfall records in Italy. *Journal of Geophysical Research*, D21, 431-438.
- Montgomery, D., Dietrich, W. (1994). A physically based model for the topographic control of shallow landsliding. *Water Resources Research*, 30(4), 1153-1171.
- Nanni, T., Maugeri, M., Brunetti, M. (2009). La variabilità e le tendenze del clima in Italia nel corso degli ultimi due secoli. In: S. Castellari e V. Artale (eds.) *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bononia University Press.
- Pagano, L., Picarelli L., Rianna G., Urciuoli G. (2010). A simple numerical procedure for timely prediction of precipitation-induced landslides in unsaturated pyroclastic soils. *Landslides*, (7), 273-289.
- Parise, M., Cannon, S. H. (2012). Wildfire impacts on the processes that generate debris flows in burned watersheds. *Natural Hazards*, 61(1), 217-227.
- Parise, M., Gunn, J. (eds.) (2007). *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society, London, Special Publications no. 279, 202 pp.
- Parise, M., Wasowski, J. (1999). Landslide activity maps for the evaluation of landslide hazard: three case studies from Southern Italy. *Natural Hazards*, 20(2/3), 159-183.
- Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Luciani, S., Vennari, C., Guzzetti, F. (2012). Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy. *Geomorphology*, 139-140, 79-90. doi:10.1016/j.geomorph.2011.10.005.
- Pulvirenti, L., Pierdicca, N., Chini, M., Guerriero, L. (2011). An algorithm for operational flood mapping from Synthetic Aperture Radar (SAR) data using fuzzy logic. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 11, 529-540.
- Raia, S., Alvioli, M., Rossi, M., Baum, R. L., Godt, J. W., Guzzetti, F. (2013). Improving predictive power of physically based rainfall-induced shallow landslide models: a probabilistic approach. *Geoscientific Model Development Discussion*, 6, 1367-1426, doi:10.5194/gmdd-6-1367-2013.
- Ravanel, L., Deline, P. (2010). Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: The north side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the 'Little Ice Age'. *Holocene*, 21(2), 357-365.
- Reichenbach, P., Galli, M., Cardinali, M., Guzzetti, F., Ardizzone, F. (2004). Geomorphological mapping to assess landslide risk: concepts, methods and applications in the Umbria Region of central Italy. In: Glade, T., Anderson, M. G., Crozier, M. J. (eds.) *Landslide risk assessment*. John Wiley, 429-468, ISBN: 0-471-48663-9.
- Rootzen, H., Katz, R. W. (2012). Design Life Level: quantifying risk in a changing climate. NCAR Tech. Report, August 29, 2012.
- Rossi, F., Witt, A., Guzzetti, F., Malamud, B. D., Peruccacci, S. (2010). Analysis of historical landslide time series in the Emilia-Romagna Region, Northern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(10), 1123-1137, doi:10.1002/esp.1858.
- Rossi, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Mondini, A. C., Peruccacci S. (2010). Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts. *Geomorphology*, 114(3), 129-142, doi:10.1016/j.geomorph.2009.06.020.
- Rosso, R., Bocchiola, D., Rulli, M. C. (2007). Transient catchment hydrology after wildfires in a Mediterranean basin: runoff, sediment and woody debris: runoff, sediment and woody debris. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 125-140.

- Rosso, R., Rulli, M. C. (2002). An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: 2. Effects of changes in land-use under a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6, 285-294.
- Rosso, R., Rulli, M. C., Vannucchi, G. (2006). A physically based model for the hydrologic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, 42, W06410, doi:10.1029/2005WR004369.
- Rudari, R., Entekhabi, D., Roth, G. (2004). Terrain and Multiple Scale Interactions as Factors in Generating Extreme Precipitation Events. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), 390-404.
- Rudari, R., Entekhabi, D., Roth, G. (2005). Large-Scale Atmospheric Patterns Associated with Mesoscale Features Leading to Extreme Precipitation Events in Northwestern Italy. *Advances in Water Resources*, 28(6), 601-614, doi:10.1016/j.advwatres.2004.11.017.
- Salvati, P., Bianchi, C., Rossi, M., Guzzetti, F. (2010). Societal landslide and flood risk in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 465-483.
- Salvati, P., Bianchi, C., Rossi, M., Guzzetti, F. (2012). Flood Risk in Italy. In: Kundzewicz Z. W. (ed.), *Changes in Flood Risk in Europe*, IAHS, 77-292.
- Serpico, S. B., Dellepiane, S., Boni, G., Moser, G., Angiati, E., Rudari, R. (2012). Information Extraction From Remote Sensing Images for Flood Monitoring and Damage Evaluation. *Proceedings of the IEEE*, 100:10, 2946-2970, doi:10.1109/JPROC.2012.2198030.
- Sidle, R. C., Ochiai, H. (2006). *Landslides – Processes, prediction and land use*. Washington D. C., American Geophysical Union, *Water Resources Monograph* 18, 312 pp.
- Silvestro, F., Gabellani, S., Giannoni, F., Parodi, A., Rebor, N., Rudari, R., Siccardi, F. (2012). A hydrologic analysis of the 4 November 2011 event in Genoa. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 2743-2752.
- Simoni, S., Zanotti, F., Bertoldi, G., Rigon, R. (2008). Modeling the probability of occurrence of shallow landslides and channelized debris flows using GEOTOP-FS. *Hydrological Processes*, 22(4), 532-545.
- Tebaldi, C., Arbalster, J., Hayhoe, K., Meehl, G. (2006). Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*, 79, doi:10.1007/s10584-006-9051-4.
- van Westen, C. J., van Asch, T. W., Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2), 167-184.
- Villarini, G., Serinaldi, F., Smith, J. A., Krajewski, W. F. (2009). On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. *Water Resources Research*, 45, W08417, doi:10.1029/2008WR007645.
- Williams, P. W. (2008). The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. *International Journal of Speleology*, 37:1, 1-10.
- Witt, A., Malamud, B. D., Rossi, M., Guzzetti, F., Peruccacci, S. (2010). Temporal correlation and clustering of landslides. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(10), 1138-1156, doi:10.1002/esp. 1998.
- Yechieli, Y., Abelson, M., Bein, A., Crouvi, O., Shtivelman, V. (2006). Sinkhole “swarms” along the Dead Sea coast: reflection of disturbance of lake and adjacent groundwater systems. *Geological Society of America Bulletin*, 118, 1075-1087.
- Zoboli, R. (2010). Aspetti economici dei terremoti: costi, prevenzione e ricostruzione, in *Atti della XXVII Giornata dell'Ambiente*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 5 giugno 2009, *Atti dei Convegni Lincei* 258, 19-39.

#### **Riferimenti normativi**

Legge 3 agosto 1998, n. 267, Conversione in legge, con modificazioni, del Decreto Legge n. 180 del 11 giugno 1998, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania. Gazzetta Ufficiale n. 183 del 7 agosto 1998.

Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Gazzetta Ufficiale n. 327 del 22 dicembre 2000.

Decreto Legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006. Norme in Materia Ambientale. Supplemento ordinario n. 96 alla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006.

Direttiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2007, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni. Gazzetta Ufficiale n. 288 del 6 novembre 2007.

Decreto Legislativo n. 49 del 23 febbraio 2010, in attuazione della direttiva europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni. Gazzetta Ufficiale n. 77 del 2 aprile 2010.

Testo Coordinato del Decreto Legge 15 maggio 2012, n. 5, Gazzetta Ufficiale, serie generale, n. 113 del 16 maggio 2012, coordinato con la Legge di conversione n. 100 del 12 luglio 2012.

### **Risorse Internet**

<http://climwatadapt.eu/>, EU Project ClimWatAdapt: Climate Adaptation – modelling water scenarios and sectoral impacts.

<http://www.iahs.info/pantarhei>, Pantha Rhei: Science Plan for the decade 2013-2022.

[http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/documentation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/documentation_en.htm), EU Climate Action, Adaptation Strategy Package.

<http://polaris.irpi.cnr.it>, Popolazione a Rischio da Frana e da Inondazione in Italia.

<http://sici.irpi.cnr.it>, Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche in Italia (SICI).

<http://www.desinventar.net>, Disaster Information Management System.

<http://www.emdat.be/>, the International Disaster Database (EM-DAT).

<http://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/georisks/natcatservice/default.aspx>, NatCatSERVICE, a global database of losses due to natural catastrophes.

<http://www.rendis.isprambiente.it/>, Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo (RENDIS).

<http://www.swissre.com/sigma/>, SIGMA.

<http://www.unisdr.org/we/inform/gar>, United Nations Office for Disaster Relief Reduction, Global Assessment Report (UNISDR GAR).

<http://meteonetnetwork.it>, Associazione MeteoNetwork ONLUS.

# Biodiversità ed ecosistemi

## Ecosistemi terrestri

### Sintesi

I cambiamenti climatici in atto stanno influenzando in modo decisivo sia la biodiversità sia i processi ecosistemici degli ambienti terrestri. Tra gli effetti maggiormente evidenti si registrano alterazioni delle tempistiche di eventi naturali ciclici, come l'anticipazione nella fenologia delle piante e un cambiamento degli eventi migratori primaverili degli uccelli, con conseguente rischio di una rapidissima desincronizzazione degli eventi riproduttivi tra i diversi livelli trofici. È stata inoltre osservata in ambiente alpino la migrazione di specie vegetali e animali verso quote maggiori, mentre sia negli ecosistemi alpini sia in quelli mediterranei l'espansione degli arbusti a scapito di alberi è destinata a proseguire nel prossimo futuro. L'aumento di specie in alta quota, facilitato dall'arretramento dei ghiacciai, provocherà una sostanziale perdita di vegetazione autoctona a causa della competizione, con conseguente variazione della distribuzione e dell'estensione delle comunità alpine. I cambiamenti climatici provocano inoltre, in via sia diretta sia indiretta, alterazioni della capacità delle piante e del suolo di assorbire CO<sub>2</sub>. Anche gli impatti dei cambiamenti climatici sulla fenologia e sulla dinamica di alcune specie animali terrestri sono preoccupanti: ad esempio, l'alterazione delle condizioni climatiche sposta l'ubicazione degli areali idonei alla vita di rettili e anfibi in modo così marcato e rapido da rendere impraticabile un loro adattamento (a causa della loro bassa capacità di dispersione).

A livello europeo la perdita di biodiversità entro la fine del XXI secolo è stimata in almeno il 10% di specie animali, ma tale tasso raddoppia per l'ambiente mediterraneo. Fauna e flora diventano anche più vulnerabili alle patologie per (i) diminuzione delle proprie difese, (ii) incremento della sopravvivenza dei vettori biologici di trasmissione, (iii) diversificazione e proliferazione degli agenti patogeni. Tra gli ambienti maggiormente a rischio per gli effetti dei cambiamenti climatici vi sono senza dubbio le aree di alta quota in ambito alpino e gli ambienti mediterranei.

### Introduzione

Il clima è uno dei fattori che maggiormente influiscono sui sistemi naturali determinandone la composizione, la produttività e la struttura. D'altro canto, anche le attività antropiche hanno spesso modificato gli ecosistemi, in particolare quelli terrestri, e causato una perdita di biodiversità. Le principali cause di tale fenomeno sono da ricercarsi principalmente: nella trasformazione dell'uso del suolo e nella degradazione del suolo stesso; nella diminuzione della disponibilità e della qualità dell'acqua; nella perdita di habitat, dovuta sia alla sua diminuzione sia alla sua frammentazione; nello sfruttamento di molte specie e nell'introduzione di specie esotiche. I cambiamenti climatici, inoltre, possono essere in parte considerati come un'aggiuntiva pressione

antropica che modifica gli ecosistemi e la biodiversità. In particolare l'aumento delle concentrazioni di gas serra quali il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) e il metano (CH<sub>4</sub>), la conseguente alterazione della ecofisiologia degli organismi e il conseguente cambiamento climatico saranno, insieme al cambiamento di uso del suolo, le principali cause di perdita della biodiversità in ambiente terrestre (Sala et al., 2000; Thuiller, 2007). I cambiamenti climatici costituiscono dunque una concreta e grave minaccia alla biodiversità globale (Maclean & Wilson, 2011; Thomas et al., 2004) con importanti ricadute non solo in ambito ecologico, ma anche economico e sociale (Chapin et al., 2000). Il presente capitolo esamina più in dettaglio gli impatti di tale fenomeno sulle specie animali e vegetali in ambienti terrestri.

## **Classificazione degli impatti dei cambiamenti climatici globali**

Tra le principali forzanti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi vi sono: l'aumento della temperatura, il cambiamento del regime delle precipitazioni e dei venti, e le variazioni di frequenza e intensità degli eventi estremi. Le specie possono rispondere a tali variazioni sostanzialmente secondo tre modalità (Theurillat & Guisan, 2001): 1) adattandosi alle nuove condizioni, ad esempio attraverso lo spostamento nel tempo delle fasi del ciclo vitale; 2) migrando, in altre parole spostandosi verso latitudini o quote dove le condizioni sono ancora adeguate o lo sono diventate; 3) quando invece il cambiamento ambientale è repentino e/o si prolunga nel tempo tanto da non permettere un adattamento o una migrazione, si può verificare l'estinzione locale e, in caso di cambiamenti su tutto l'areale di distribuzione, l'estinzione globale della specie. L'insieme dei cambiamenti determina impatti di natura complessa e, in ultima analisi, la modificazione del funzionamento degli ecosistemi.

Tralasciando i processi che avvengono su tempi propri dell'evoluzione, quali la selezione di genotipi meglio adattati alle variare condizioni ambientali, gli effetti dei cambiamenti climatici su specie ed ecosistemi possono essere raggruppati nelle seguenti principali categorie (Hughes, 2000; Walther et al., 2002):

- impatti sulla fisiologia e sul comportamento,
- impatti sul ciclo vitale (fenologia),
- impatti sulla distribuzione geografica,
- impatti sulla composizione e sulle interazioni delle specie nelle comunità ecologiche.

La Figura 1.7 schematizza i possibili percorsi causali di queste modifiche di funzionamento. Gli effetti dei cambiamenti climatici avvengono con tempi diversi: brevi per gli impatti sulla fisiologia (giorni-mesi), lunghi per le variazioni di areale (anni-decenni), fino alle scale tipiche dei processi evolutivi.

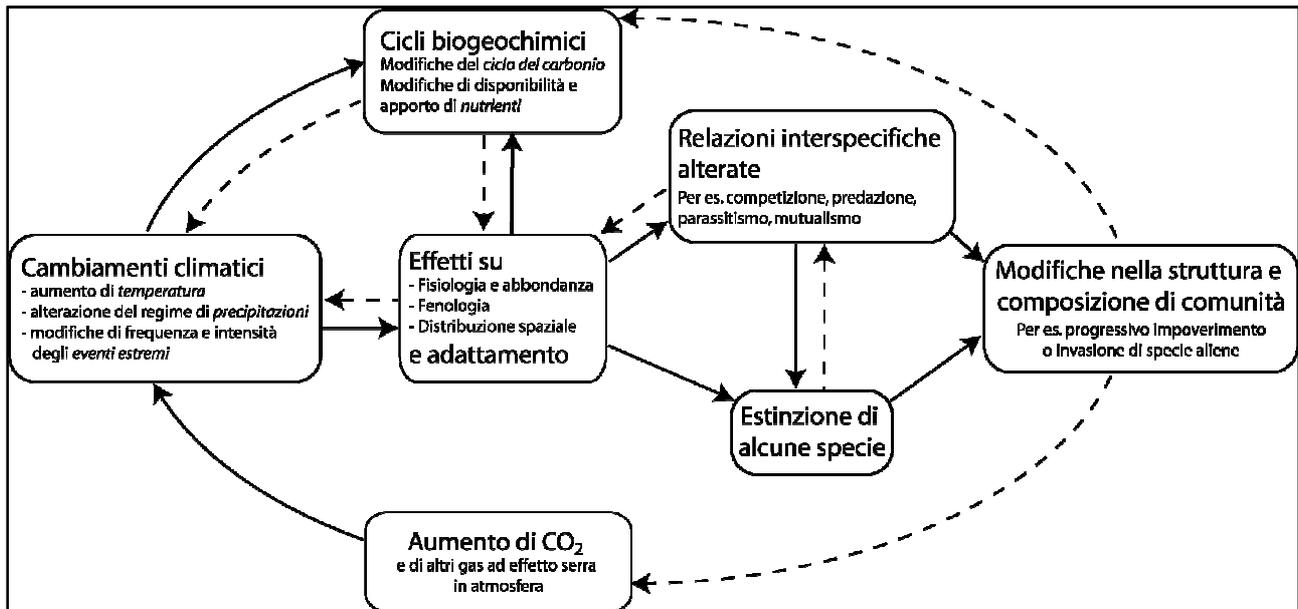


Figura 1.7: Potenziali percorsi causali attraverso cui i cambiamenti climatici possono modificare una comunità ecologica terrestre; le linee tratteggiate rappresentano le principali retroazioni.

### Esempi di tempistiche e percorsi diversi

La scala temporale con cui i cambiamenti climatici modificano l'ecosistema può variare dai giorni, per l'attività microbica nel suolo, all'anno, per il flusso di carbonio nell'ecosistema, alle decine di anni, per la modifica della composizione di una comunità, alle centinaia o addirittura migliaia di anni, nel caso dell'adattamento ed evoluzione di una o più specie o associazioni vegetali (Huntley & Baxter, 2003).

In alcuni casi, come lo spostamento dell'areale di distribuzione di alcune specie di farfalla (Parmesan et al., 1999), i tempi di risposta delle specie sono comparabili con quelli dei cambiamenti climatici stessi, tanto che gli eventi registrati possono essere considerati *fingerprints*, cioè impronte digitali ecologiche, e quindi indizi dei cambiamenti climatici (Parmesan & Yohe, 2003; Root et al., 2003).

Gli ecosistemi glaciali sono indicatori molto efficaci sia dell'entità sia della velocità del cambiamento perché sono ambienti soggetti solo a dinamiche naturali, nelle quali un sistema biologico (vegetazione) e un sistema fisico (ghiacciaio) sono strettamente legati e rispondono allo stesso input (clima). È stato mostrato per le Alpi italiane che le aree proglaciali presentano una risposta analoga e praticamente sincrona del ghiacciaio e della vegetazione ed entrambi i sistemi hanno mostrato una notevole accelerazione delle dinamiche nell'ultimo decennio (Cannone et al., 2008). In particolare, le dinamiche di colonizzazione sono quasi sincrone al trend di ritiro del ghiacciaio, e l'evoluzione nell'ambito delle successioni ecologiche rispecchia il dinamismo glaciale, confermando l'importanza preponderante dei fattori di controllo abiotici, che in ambiti ecologicamente estremi quali le aree di alta quota e in particolare le aree proglaciali sono in sostanza assenti/ininfluenti.

## Impatti osservati dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi terrestri

### *Flora e vegetazione*

Il territorio italiano è caratterizzato da un elevato grado di biodiversità vegetale, grazie alla sua estensione sia latitudinale (con tre differenti regioni biogeografiche - alpina, continentale, mediterranea), sia altitudinale (dall'orizzonte basale a quello nivale). Tra le regioni biogeografiche italiane, gli impatti dei recenti cambiamenti climatici sono stati finora più evidenti principalmente nella regione alpina e in maniera meno accentuata (ma anche meno documentata) in quella mediterranea: i due estremi del gradiente climatico e altitudinale italiano.

Durante il XX secolo il riscaldamento climatico ha prodotto un incremento medio di +0,6 °C su scala globale (IPCC, 2007a); in accordo con quanto osservato per le alpi a livello europeo (Böhm et al., 2001; Beniston, 2006) durante il periodo 1950-2003 la regione alpina italiana e quella mediterranea sono state interessate da un aumento della temperatura dell'aria di +1,2°C, circa il doppio della media globale (Cannone et al., 2007). La combinazione di tali evidenze e degli scenari prospettati dai modelli climatici fa sì che queste aree siano da ritenersi tra le più vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici (IPCC, 2007b).

I siti di alta quota, soprattutto nelle Alpi, sono caratterizzati da un ridotto impatto antropico, perciò in questo contesto le variazioni della componente vegetale possono essere direttamente correlate alle variazioni del clima, senza l'influenza di altri *driver*; in questi ecosistemi le specie presentano adattamenti a condizioni estreme e risultano particolarmente sensibili all'effetto dei fattori climatici (Körner, 1999). Differente è invece la situazione per l'area mediterranea, dove da millenni l'ambiente è modellato e plasmato dall'attività antropica che concorre, quindi, con i cambiamenti climatici a definire la tipologia e l'entità degli impatti.

### *Modifiche di fisiologia, produttività e abbondanza*

Nella regione biogeografica alpina si possono osservare gli impatti dei cambiamenti climatici su fisiologia e produttività degli ecosistemi. Essi sono evidenti in ambienti particolarmente sensibili come ad esempio le vallette nivali, che sono molto vulnerabili a causa della prevista diminuzione dell'entità e della permanenza delle precipitazioni nevose. In questi habitat estremi la ricchezza di specie, la densità e la produzione primaria variano in funzione delle condizioni d'innevamento (Carbognani et al., 2012). La minore durata della permanenza del manto nevoso (che costituisce una fonte importante di approvvigionamento d'acqua durante il periodo estivo per la vegetazione d'alta quota) ha un forte impatto su tali ecosistemi, inducendo variazioni di composizione floristica e di dominanza, in particolare sulla componente briofitica, con un trend osservato anche nei sistemi di vegetazione di tundra artica (Björk & Molau, 2007). Tuttavia, gli effetti dell'anticipo dello scioglimento nivale potrebbero anche essere positivi per alcune specie, perché permetterebbero un allungamento della stagione vegetativa (Rixen & Wipf, 2010), anche se per ora le evidenze scientifiche non permettono di trarre conclusioni univoche. Per quanto riguarda i processi di

crescita, invece, esperimenti di manipolazione effettuati su brughiere subalpine di ericacee hanno dimostrato che l'effetto dell'arricchimento di nutrienti sull'accumulo di biomassa varia in funzione della forma di crescita e delle condizioni di umidità (Brancaleoni et al., 2007); le comunità di ambienti aridi sono più sensibili all'effetto dell'irrigazione, mentre quelle di ambienti umidi all'addizione di nutrienti. L'influenza del riscaldamento globale condiziona non solo la produzione di biomassa, ma anche la performance riproduttiva e, nel lungo termine, potrebbe determinare un cambiamento delle strategie riproduttive degli organismi vegetali (Abeli et al., 2012a).

In ambito mediterraneo, il riscaldamento dell'ambiente influenza la crescita delle piante inducendo variazioni dei tassi di fotosintesi, perdite respiratorie di CO<sub>2</sub> e incremento della fotorespirazione, sebbene le risposte siano specie-specifiche e dipendenti dall'intervallo di temperatura. Com'è più compiutamente documentato nel capitolo "Foreste", lo stress idrico è in grado di ridurre l'attività metabolica, soprattutto quando abbinato alla siccità (Ogaya & Peñuelas 2003). Esso produce inoltre effetti complessi sul metabolismo delle piante, tra i quali la chiusura degli stomi, con conseguente riduzione del tasso di fotosintesi netta. Le specie in grado di mantenere elevati tassi di fotosintesi anche durante il periodo estivo presentano quindi un rilevante vantaggio competitivo (Gratani et al., 2009).

Un fattore aggiuntivo di stress a carico delle specie vegetali indotto dai cambiamenti climatici è l'aumento di ozono troposferico verificatosi nell'ultimo secolo (Kley et al., 1999). L'elevata concentrazione di tale gas serra in atmosfera provoca gravi conseguenze sulla fisiologia delle piante, provocando alterazioni metaboliche con conseguenze sui processi di detossificazione, squilibri nei meccanismi di regolazione del carbonio, perdita di clorofilla e morte cellulare (Renaut et al., 2009).

### *Modifiche del ciclo di vita*

Uno dei più diffusi ed evidenti impatti dei cambiamenti climatici sul ciclo vitale delle piante riguarda l'anticipo di alcune fenofasi.

Per la regione biogeografica alpina, si sta sviluppando un network di osservazione fenologica nelle Alpi Occidentali nell'ambito del progetto Interreg PhenoALP<sup>64</sup> (Cremonese, 2012), all'interno del quale è stato definito un protocollo comune di monitoraggio sia degli ecosistemi forestali, sia della prateria alpina. Le osservazioni effettuate (nel periodo 2009-2011) hanno evidenziato che la fioritura è stata anticipata in occasione di anni più caldi (anche di 20-40 giorni nella primavera del 2011) e come tale fenomeno vari in funzione della forma di crescita. Gli habitat di prateria alpina sono molto sensibili all'impatto delle variazioni di temperatura, come osservato in Valle d'Aosta, dove un aumento/diminuzione di 1 °C della temperatura primaverile ha indotto un anticipo/ritardo di 10 giorni sull'inizio della stagione vegetativa (Colombo et al., 2011). Il

---

<sup>64</sup> [www.phenoalp.eu](http://www.phenoalp.eu).

monitoraggio della fenologia delle specie erbacee, quindi, può essere un buon indicatore sia delle variazioni interannuali del clima, sia del trend di riscaldamento a lungo termine. Anche la rigenerazione da seme gioca un ruolo molto importante nella risposta delle specie alpine ai cambiamenti climatici: il riscaldamento globale può indurre la germinazione dei semi in autunno anziché in primavera e quindi lo sviluppo della plantula in una stagione con condizioni climatiche avverse che possono compromettere la sopravvivenza dei germogli che non vi sono abituati (Mondoni et al., 2012).

Nella regione biogeografica mediterranea l'incremento delle temperature ha indotto effetti sul ciclo vitale delle piante, sia di specie spontanee (Prieto et al., 2009) sia di specie coltivate, con importanti potenziali implicazioni sull'abilità competitiva delle specie e sulla loro capacità di sincronizzarsi con specie ecologicamente correlate. L'alterata manifestazione delle fenofasi, infatti, può condurre a un'asincronia tra fenologia delle specie vegetali e delle specie animali, con impatti sulla struttura e il funzionamento degli ecosistemi, sia in termini di successo riproduttivo per le piante, sia di disponibilità di risorse per le specie animali.

Un altro aspetto dei cambiamenti climatici che ha una rilevante influenza sui cicli vitali degli organismi vegetali è l'incidenza degli eventi climatici estremi, ai quali occorre porre una grande attenzione anche in virtù del fatto che i modelli ne prevedono un'intensificazione nel prossimo futuro (Schär et al., 2004; Easterling et al., 2000a, 2000b; Frich et al., 2002; Beniston et al., 2007). Le ondate di calore e siccità estrema possono influenzare il ciclo vitale delle piante (De Boeck et al., 2011); a seguito dell'ondata di calore del 2003, per esempio, si sono osservati: una riduzione considerevole di produttività primaria, un anticipo della fenologia e scompensi del rapporto tra riproduzione sessuale e vegetativa a livello continentale (Ciais et al., 2005; Gehrig, 2006; Abeli et al., 2012b). L'effetto di questo impatto può essere deleterio (in termini di diversità genica e conseguente resilienza a modificazioni climatiche), in particolare in quelle specie che presentano popolazioni ridotte e isolate tra loro (ad es. *Rhododendron ferrugineum* L., Bruni et al., 2012; Figura 2.7A; *Abies alba* Mill., Piovani et al., 2010). Anche le particolarmente alte concentrazioni di ozono atmosferico rilevate durante l'estate 2003 possono avere influenzato negativamente il successo riproduttivo, poiché elevate quantità di questo gas possono provocare danni alla fisiologia (ad es. diminuzione dell'attività fotosintetica, senescenza precoce, riduzione della produttività) e quindi alla riproduzione sessuale delle specie.

### **Modifiche nella distribuzione delle specie**

Tra i principali impatti osservati dei cambiamenti climatici sulla distribuzione delle specie nella regione biogeografica alpina vi sono: la migrazione delle specie alpine verso quote superiori (Cannone et al., 2007; Parolo & Rossi, 2008; Erschbamer et al., 2006; Pauli et al., 2012), la migrazione verso quote superiori di specie arbustive (Cannone et al., 2007), la risalita di specie arboree con conseguente innalzamento dei limiti della vegetazione arborea (Motta & Nola, 2001; Gehrig-Fasel et al., 2007; Leonelli et al., 2011), la variazione della composizione floristica, dell'estensione e pattern degli schemi di distribuzione spaziale delle comunità vegetali (Cannone et al., 2007; Erschbamer et al., 2011) e infine l'accelerazione degli impatti dei cambiamenti climatici

sul dinamismo e sui processi di colonizzazione delle specie (Cannone et al., 2008). Tali cambiamenti, in combinazione con i trend previsti per i cambiamenti climatici, potranno avere come conseguenza una crescente perdita di biodiversità e un maggiore rischio di estinzione per molte specie nel prossimo futuro. Va aggiunto che in molti ambienti antropizzati, soprattutto in ambito subalpino, è difficile distinguere l'effetto dei cambiamenti climatici da quello dei cambiamenti di uso del suolo. La migrazione di specie verso quote superiori nei sistemi montuosi italiani è stata descritta da numerosi autori. Per le Dolomiti è stato recentemente registrato un considerevole aumento della ricchezza specifica nell'orizzonte alpino superiore e subnivale (rispettivamente 10% e 9%) a fronte di un incremento modesto per l'orizzonte alpino inferiore e la fascia ecotonale subalpina (rispettivamente 3% e 1%): differenze dovute alla risalita di specie delle quote più basse alle altitudini maggiori (Erschbamer et al., 2009). Un processo di questo tipo porta, nel lungo termine, a una "termofilizzazione" delle vegetazioni di quota (Erschbamer et al., 2011; Gottfried et al., 2012), con specie della fascia montana sempre più abbondanti anche nelle zone di culmine. Negli ecosistemi alpini e nivali delle Alpi Retiche, a seguito di una comparazione di dati storici (1954-1958) e recenti (2003-2005), si è osservato un incremento della ricchezza di specie (da 153 a 166), con alcune di esse registrate anche a 430 m più in quota rispetto agli anni '50, corrispondente a un tasso di risalita pari a 23,9 m/decennio (Parolo & Rossi, 2008).

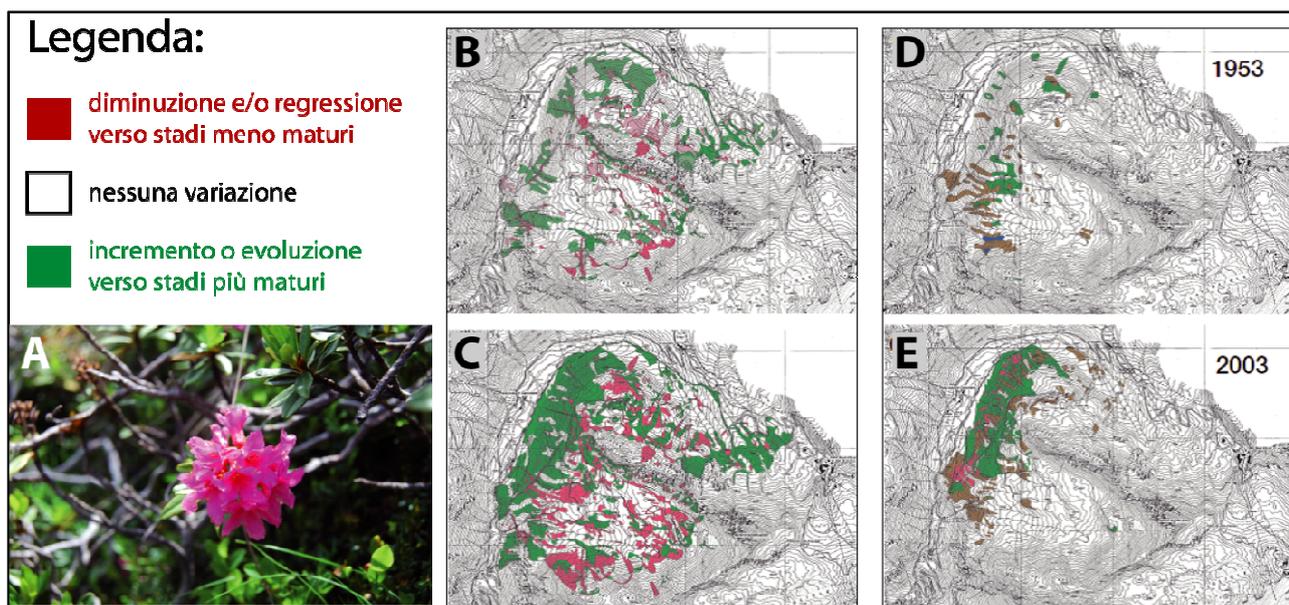
Sulle Alpi anche la vegetazione arbustiva ha mostrato una notevole migrazione verso quote superiori e un'importante espansione, come documentato da Cannone et al. (2007) presso il Passo dello Stelvio, dove il tasso di espansione di questa vegetazione (brughiera a *Rhododendron* e *Vaccinium* spp) ha raggiunto valori pari a +5,4% per decennio (Figura 2.7B-E). La migrazione verso quote superiori è stata osservata anche per numerose specie arboree. Tuttavia, va ricordato come il limite altitudinale del bosco sulle Alpi sia fortemente influenzato dal declino delle attività antropiche a partire dalla Rivoluzione Industriale (1850) (Motta & Nola, 2001). Recentemente è stato confermato che l'incremento della copertura forestale sulle Alpi svizzere è dovuto principalmente (90%) a fenomeni di in-filling, ossia riappropriazione da parte di specie arboree di aree in precedenza boscate o di territori la cui vegetazione potenziale sia di tipo forestale. Una risalita vera e propria del bosco (10%) è ascrivibile prevalentemente al cambiamento di uso del suolo (Gehrig-Fasel et al., 2007) ed è soltanto in minima parte (4%) correlata agli effetti dei cambiamenti climatici. Recentemente si è dimostrato, con un caso di studio nelle Alpi Occidentali, come anche l'effetto di fattori geomorfologici (ad es. le deformazioni gravitative) possa esercitare un importante controllo del limite superiore del bosco (Leonelli et al., 2011), analogamente a quanto avviene per le dinamiche della vegetazione erbacea alpina di alta quota nelle Alpi Centrali Italiane in risposta ai processi di degradazione del permafrost indotti dal riscaldamento climatico (Cannone et al., 2007).

Per quanto concerne le variazioni della composizione delle specie vegetali vascolari, è stato osservato un diffuso processo di termofilizzazione (Erschbamer et al., 2011; Gottfried et al., 2012) sia nella regione alpina sia in Appennino Settentrionale e Centrale. Le aree sommitali delle vette monitorate nell'ambito del progetto GLORIA mostrano un complessivo arricchimento di specie (Pauli et al. 2012), con un declino di quelle microterme e un incremento di quelle termofile

(Gottfried et al., 2012). Variazioni di composizione floristica e alterazioni dei cicli fenologici sono state individuate anche nell'Appennino Bolognese (Puppi et al., 2012).

Anche un ambiente a elevata specializzazione edafica, come una torbiera nelle Alpi Orientali italiane, ha mostrato un'alterazione dell'equilibrio competitivo tra specie di briofite al variare del regime delle precipitazioni (Bragazza, 2006). Questo trend è stato confermato anche in siti limitrofi delle Alpi meridionali svizzere, nelle quali la ricchezza di specie vegetali è aumentata nel periodo 1995-2005, per via sia dell'aumento di specie termofile di suoli arricchiti, sia di specie sciafile, la cui abbondanza cresce con l'incremento della produttività della comunità e dell'ombreggiamento.

Oltre alle variazioni di distribuzione di singole specie vegetali, gli impatti osservati nella regione alpina comprendono anche mutamenti della distribuzione spaziale e dell'estensione di intere comunità vegetali. In particolare, secondo uno studio condotto nelle Alpi Centrali Italiane (Cannone et al., 2007), la vegetazione di alta quota (> 2.200 m) ha mostrato nel periodo 1953-2003 importanti modifiche di distribuzione areale e di estensione e distribuzione rispetto alla quota, con una considerevole risalita della vegetazione arbustiva, una contrazione della vegetazione di prateria (e una sua concomitante migrazione verso quote superiori) e una regressione degli habitat di valletta nivale (Figura 2.7B-E). Inoltre, a quote superiori a 2.550 m si è osservata un'inattesa regressione della vegetazione, principalmente imputabile a una maggiore instabilità della superficie causata dall'incremento delle precipitazioni estive e, soprattutto, dalla degradazione del permafrost. Questo caso di studio ha anche evidenziato come la vegetazione alpina sia in grado di rispondere rapidamente e in modo diversificato agli impatti dei cambiamenti climatici, contraddicendo ipotesi precedenti sulla sua inerzia e resistenza agli stimoli climatici.



**Figura 2.7:** (A) *Rhododendron ferrugineum* (Foto N. Cannone). (B) e (C) variazioni di copertura e di dinamismo, rispettivamente, della vegetazione del Passo dello Stelvio nel periodo 1953-2003. (D) ed (E) variazione dell'estensione dei differenti tipi di comunità arbustivi e di mosaici di transizione tra prateria alpina d'alta quota e brughiera alpina nana (Fonte: Cannone et al., 2007).

Per quanto concerne le dinamiche di evoluzione glaciale e di successione vegetale nell'area proglaciale del Ghiacciaio della Sforzellina (Alpi Centrali Italiane), negli ultimi tre decenni si è osservato che, a fronte di un accelerato regresso del ghiacciaio, più accentuato dal 2002, le morene lasciate scoperte da alcune specie vegetali sono state colonizzate a un ritmo almeno quattro volte superiore rispetto alle normali tempistiche (Cannone et al., 2008).

Nella regione biogeografica mediterranea gli ecosistemi forestali e gli arbusteti si sono notevolmente espansi negli ultimi decenni, principalmente per via dell'abbandono delle tradizionali pratiche agro-silvo-pastorali e, in misura minore, come conseguenza degli impatti dei cambiamenti climatici (Riera et al., 2007; Attorre et al., 2011). Un contributo considerevole di entrambi i fattori è stato osservato nel caso dell'espansione di *Pinus nigra*, avvenuta negli ultimi trent'anni in Appennino (Piermattei et al., 2012). L'ambiente in cui sono state osservate le più importanti variazioni di distribuzione delle specie sono i sistemi montuosi del Bacino del Mediterraneo, con tendenza, anche in questo caso, alla termofilizzazione della vegetazione sommitale (Gottfried et al., 2012) e all'impoverimento delle specie vascolari (Pauli et al., 2012).

Le montagne Mediterranee ospitano numerose specie endemiche, risultato di molteplici eventi di speciazione. Questi ambienti, che hanno svolto il ruolo di aree di rifugio soprattutto nel Quaternario, costituiscono isole di biodiversità in condizioni climatiche fresche e umide all'interno di un'area generalmente calda e arida. In virtù della loro ricchezza di endemismi, esse costituiscono un hotspot di biodiversità. Pertanto è particolarmente preoccupante l'impatto del

riscaldamento e della siccità protratta associati ai cambiamenti climatici, che potrebbe dare luogo a processi di desertificazione, potenzialmente con: riduzione delle superfici forestali anche a quote basse e sostituzione di queste ultime da parte di comunità arbustive, riduzione della copertura vegetale e incremento del rischio di incendi e erosione del suolo (Riera et al., 2007). Benché le biocenosi forestali mediterranee si siano espanse in risposta al cambiamento di uso del suolo (Attorre et al., 2011), infatti, la loro capacità di risposta e di adattamento al riscaldamento e all'inaridimento del clima è piuttosto bassa, con un impatto sul 17% delle comunità forestali di Italia, Spagna, Grecia, Malta e Portogallo. Gli ecosistemi forestali stanno inoltre subendo variazioni di composizione floristica (si veda il capitolo "Foreste") legate a risposte specie-specifiche a riscaldamento e inaridimento.

Come ampiamente descritto nel capitolo "Ecosistemi di acque interne e di transizione" di questo rapporto, tali ecosistemi sono particolarmente vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici. Nelle zone umide costiere la variazione del regime di precipitazione e l'incremento della siccità stanno riducendo il periodo di inondamento degli stagni temporanei con impatti sulla distribuzione spaziale e sulla fisionomia della vegetazione (Bagella et al., 2010). L'incremento del livello del mare potrebbe provocare la riduzione e l'alterazione degli habitat di lagune salmastre costiere, zone umide, aree riparie e con vegetazione alofita, siti che ospitano taxa estremamente rari e isolati e nei quali i processi di degrado della vegetazione possono innescare potenziali feedback per fenomeni di erosione, inondazione e variazioni della qualità delle acque (Torresan et al., 2008).

Riguardo l'ingresso e/o l'aumento di specie aliene (esotiche), attualmente in ambito alpino non si riscontrano importanti impatti, come recentemente confermato dalla notevole riduzione del numero di specie aliene osservata con l'altitudine (Siniscalco et al., 2011). Anche la regione mediterranea mostra un ridotto livello di invasione, in ambiente sia continentale sia insulare (ad es. Sardegna, Affre et al., 2010). Fanno eccezione le zone costiere dove, in prossimità di grandi agglomerati urbani o in sistemi agricoli soggetti a irrigazione, si osserva un aumento delle specie nitrofile e ruderali (ad es. costa adriatica italiana, Biondi et al., 2012) e gli ecosistemi d'acque interne, particolarmente interessati dalla presenza di specie esotiche (si veda il capitolo "Ecosistemi di acque interne e di transizione").

### ***Interazioni ecologiche e funzionamento degli ecosistemi***

Gli impatti dei cambiamenti climatici interessano tanto gli aspetti strutturali e compositivi degli ecosistemi, quanto fondamentali processi funzionali, con rilevanti conseguenze anche sulle interazioni ecologiche, sia a livello di specie (intra- e inter-specifiche) sia a livello delle interazioni tra componenti biotiche e abiotiche degli ecosistemi (ad esempio interazioni pianta-suolo).

L'incremento, legato al riscaldamento climatico in atto, delle deposizioni azotate di natura antropogenica, della concentrazione di anidride carbonica e della mineralizzazione della sostanza organica nel suolo, suggerisce lo studio di come le piante possano reagire a tutti questi stimoli.

In ambiente alpino, l'aumento di temperatura e la diminuzione delle precipitazioni estive possono fortemente influenzare il tasso di carbonio (CO<sub>2</sub>) assimilato dalle piante (Brilli et al., 2007). Nelle praterie montane, ad esempio, il susseguirsi di periodi secchi non riduce in modo sostanziale i flussi di anidride carbonica e di vapore acqueo. Pertanto, la frequenza attuale di questi periodi non condiziona il funzionamento di tali ecosistemi vegetali, che possono esercitare un *feedback* negativo su alcuni *driver* del potenziale futuro riscaldamento del clima. Tuttavia i dati ora disponibili non confermano questi trend per l'ambiente alpino, in particolare sopra il limite del bosco. Inoltre, va osservato che l'ambiente alpino riveste un ruolo di primo piano nel ciclo del carbonio anche perché le basse temperature e la ridotta durata del periodo vegetativo limitano fortemente la decomposizione del materiale organico, determinandone un accumulo nel suolo.

In ambito mediterraneo, evidenze di come l'aumento di temperatura o di carbonio (sotto forma di CO<sub>2</sub>) non comportino necessariamente una maggiore produzione di biomassa sono state ottenute da esperimenti di arricchimento di anidride carbonica (FACE, Free Air Concentration Enrichment) sia su specie coltivate (Miglietta et al., 1996), sia su specie spontanee (Finzi et al., 2002). Da essi emerge che diversi fattori (quali disponibilità di azoto, stress idrico, concentrazione di ozono troposferico) concorrono nel determinare le modalità e l'entità della fissazione di anidride carbonica e, quindi, l'effetto sink/source della vegetazione.

Le risposte delle singole specie ai cambiamenti climatici osservati comportano importanti conseguenze anche per altri livelli della catena trofica. Il rapporto pianta-erbivoria e quello predatore sono strettamente legati non solo direttamente al clima, ma anche alle modifiche indirette sui diversi comparti trofici dell'ecosistema in cui vivono. Vanno inoltre considerati gli effetti sull'interazione pianta-impollinatori, che potrà influenzare la performance riproduttiva delle piante (Abeli et al., 2013).

Influendo sulla vegetazione, i cambiamenti climatici possono anche alterare le caratteristiche pedologiche, con gravi conseguenze sugli ecosistemi stessi e sui processi ecologici. Il degrado del suolo, legato a una gestione non sostenibile delle risorse e a un maggiore disturbo antropico, è il processo che più di ogni altro ha condotto a una riduzione di fertilità dei suoli (Imeson, 1995), con un effetto particolarmente accentuato nelle regioni aride, già molto sensibili al processo di desertificazione (Montanarella, 2007). La regione mediterranea è tra le più sensibili a questo processo di degradazione (Salvati & Bajocco, 2011) poiché è soggetta sia all'impatto dei cambiamenti climatici sia a un elevato impatto antropico (Incerti et al., 2007). Entrambi i fenomeni possono causare, per esempio, una maggiore frequenza di incendi che, nel caso della vegetazione di macchia mediterranea, comporta una minore disponibilità di carbonio nel suolo nel medio/lungo termine. Al processo di stoccaggio del carbonio non concorrono, però, solo i cambiamenti del clima e l'uso del suolo: si deve considerare anche l'effetto indiretto del clima sulla respirazione eterotrofa ipogea. La respirazione (legata a microfauna e microorganismi), infatti, è fortemente influenzata da parametri climatici (temperatura e siccità) e biologici (estensione e tipologia di copertura vegetale) ed è uno dei principali processi responsabili del ciclo del carbonio in ambienti aridi e semiaridi. Modificazioni di copertura vegetale possono condurre ad altrettante modifiche dei flussi di anidride carbonica, con potenziali feedback sul clima stesso (Talmon et al.,

2011). Di conseguenza, sia l'uso del suolo sia i cambiamenti climatici sono fattori chiave nel determinare se questo comparto possa agire da sink o da source (Fantappiè et al., 2011).

## **Fauna**

Per quanto riguarda la fauna terrestre, sono stati documentati numerosi impatti dovuti ai cambiamenti climatici. La dinamica di popolazione può essere influenzata da alterazioni più o meno dirette della fisiologia, della produttività e della sopravvivenza di tutte o alcune classi d'età. Gli impatti sulla fenologia si evidenziano con modifiche dei tempi di migrazione, schiusa o numero di eventi riproduttivi. I cambiamenti di distribuzione delle specie si manifestano con spostamenti verso latitudini e quote maggiori. Il funzionamento degli ecosistemi è compromesso dallo sfasamento dei cicli biologici di specie interconnesse e da modifiche di composizione delle comunità.

Le serie storiche più complete e abbondanti per la fauna terrestre italiana sono quelle costituite dai dati biometrici e fenologici raccolti sull'avifauna, marcata individualmente, in diversi progetti coordinati dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) tramite il Centro Nazionale di Inanellamento. Queste serie di dati sono state messe in relazione con quelle meteo-climatiche, rilevando effetti dovuti ai cambiamenti climatici su un numero cospicuo di specie. Per quanto riguarda gli altri taxa, gli effetti osservati in Italia in genere si riferiscono a singole popolazioni che sono state osservate per un periodo di tempo sufficientemente lungo.

### **Modifiche nella fisiologia, produttività e abbondanza**

L'inanellamento di uccelli appartenenti a specie migratrici ha permesso di ottenere serie di dati che, analizzate insieme alle informazioni meteo-climatiche, rilevano relazioni tra clima e parametri demografici. In una colonia di berta maggiore (*Calonectris diomedea*) nidificante sulle isole Tremiti, è stata accertata una relazione tra tassi di sopravvivenza e clima (Boano et al., 2010). Esiste, infatti, una corrispondenza tra la mortalità degli adulti e gli anni di Niña (fase fredda del ciclo ENSO) nei quali il numero di tempeste nell'Atlantico, dove la specie sverna, è più alto. Le specie migratrici possono essere, infatti, minacciate da cambiamenti che avvengano sia nelle zone di riproduzione sia nei quartieri di svernamento. I migratori a lungo raggio, in particolare, possono mostrare declini di popolazione o di produttività in Italia in seguito ad alterazioni climatiche non avvenute sul territorio nazionale. Ciò vale anche per i migratori trans-sahariani quali le popolazioni piemontesi di usignolo (*Luscinia megarhynchos*), per le quali nel periodo 1996-2003 sono state osservate variazioni dei tassi di sopravvivenza associate alle fluttuazioni delle precipitazioni nei quartieri di svernamento: gli inverni più secchi sono seguiti da una maggiore mortalità degli adulti (Boano et al., 2004). Sembra che anche l'andamento demografico dal 1972 al 2006 degli ardeidi nidificanti nell'Italia settentrionale sia stato influenzato dalle condizioni climatiche nei quartieri riproduttivi o in quelli di svernamento (Fasola et al., 2010). In particolare, l'innalzamento delle temperature invernali a seguito dei cambiamenti climatici ha contribuito all'aumento del numero di riproduttori residenti di airone cenerino (*Ardea cinerea*), mentre sugli adulti nidificanti di sgarza

ciuffetto (*Ardeola ralloides*) e nitticora (*Nycticorax nycticorax*), migratori, sembra abbiano un effetto positivo le precipitazioni invernali nell'Africa sub-sahariana, dove svernano le specie.

In ambiente alpino il successo riproduttivo può essere influenzato da eventi meteorologici estremi. Nel fagiano di monte (*Tetrao tetrix*) sono soprattutto questi, collegati alle oscillazioni climatiche del nord Atlantico, a mettere a rischio la produttività della specie sulle Alpi (Barnagaud et al., 2011). Il fatto che l'aumento di eventi meteo estremi possa rappresentare un pericolo per la specie in Italia è confermato da studi nel Parco Orsiera-Rocciavré (Piemonte), dove piogge rilevanti nei mesi primaverili sono seguite da diminuzioni del numero di maschi censiti l'anno successivo (Provenzale, 2008). Le popolazioni di ungulati che vivono ad alta quota, come lo stambecco (*Capra ibex*), possono risentire dei cambiamenti climatici in modo diretto o indiretto: inverni con copertura nevosa sopra la media sono associati a una diminuzione della consistenza della popolazione nel Parco del Gran Paradiso (Jacobson et al., 2004), ma se la presenza della neve è minore di una determinata soglia la sopravvivenza dei piccoli diminuisce (Mignatti et al., 2012). In particolare, il successo dello svezzamento e la sopravvivenza dei piccoli sono massimi con precipitazioni nevose "intermedie". Che troppa neve influenzi negativamente il reclutamento è intuibile, ma il meccanismo che porterebbe a maggiori mortalità di capretti negli anni a copertura nevosa minima sembra più complesso (Pettorelli et al. 2007). Se la neve si scioglie presto, la vegetazione cresce prima, accorciando o anticipando il periodo in cui la vegetazione è più nutriente. Questo porterebbe a una peggiore condizione dei capretti, che non riuscirebbero più a sopravvivere all'inverno. L'anticipo della fenologia della vegetazione può avere anche altre conseguenze sulla specie nel Parco. Analisi effettuate su trofei di maschi raccolti tra il 1980 e il 2005 mostrano un trend di diminuzione della lunghezza degli annuli di accrescimento strettamente correlato, sembra, a variazioni di produttività vegetale nell'area. I maschi, quando la ripresa della vegetazione anticipa, potrebbero avere meno risorse a disposizione e così allocare meno energie nei caratteri sessuali secondari.

I cambiamenti climatici possono influenzare fisiologia, sopravvivenza e produttività delle popolazioni anche a causa del loro impatto sul periodo di latenza invernale (ibernazione). Una popolazione di un anfibio presente anche in Italia, il rospo comune (*Bufo bufo*), ha mostrato un forte peggioramento delle condizioni corporee alla fine degli inverni più miti (Reading, 2007), probabilmente perché durante questi inverni gli individui non arrestano completamente il metabolismo e continuano a consumare le riserve di grasso. La riduzione della latenza invernale inoltre aumenta notevolmente la mortalità dei rospi e ne diminuisce il potenziale riproduttivo: le femmine depongono meno uova. Durante gli ultimi anni, la frequenza di inverni miti sta aumentando, determinando il declino di diverse popolazioni di rospo, con potenziali effetti a scala sia italiana sia europea (Reading, 2007; Bonardi et al., 2011). L'effetto negativo delle ondate di calore sulla sopravvivenza degli anfibi è stato evidenziato anche per la rana temporaria, specie presente nell'Italia settentrionale, in relazione alle temperature eccezionali del 2003 (Neveu, 2009).

Eventi climatici estremi possono determinare un'alterazione della fisiologia o del comportamento negli insetti. In alcune aree dell'Italia settentrionale si sono registrate massicce invasioni estive degli edifici da parte della cimice dell'olmo (*Arocatus melanocephalus*), in parte determinate dalla

disponibilità delle piante ospite e in parte dal clima: l'intensità di tali fenomeni è, infatti, positivamente correlata con la temperatura (Maistrello et al., 2006).

### Modifiche del ciclo di vita

Al trend di aumento delle temperature primaverili nelle aree temperate, Europa compresa, corrispondono le variazioni osservate nella fenologia di alcune specie di fauna terrestre, in particolare specie migratrici e specie la cui temperatura corporea dipende dall'ambiente esterno. Knudsen et al. (2011) hanno esaminato la letteratura relativa agli effetti dei cambiamenti climatici sugli uccelli migratori e hanno ampiamente dimostrato un generale anticipo negli arrivi ai quartieri riproduttivi. la Figura 3.7 ne è un esempio per l'Italia). Il fenomeno si considera legato ai cambiamenti climatici, sia per le relazioni chiare riscontrate tra migrazione e variabili climatiche, sia per le differenze emerse tra aree geografiche, specie o popolazioni, consistenti con lo schema non omogeneo presentato dagli effetti dei cambiamenti climatici.

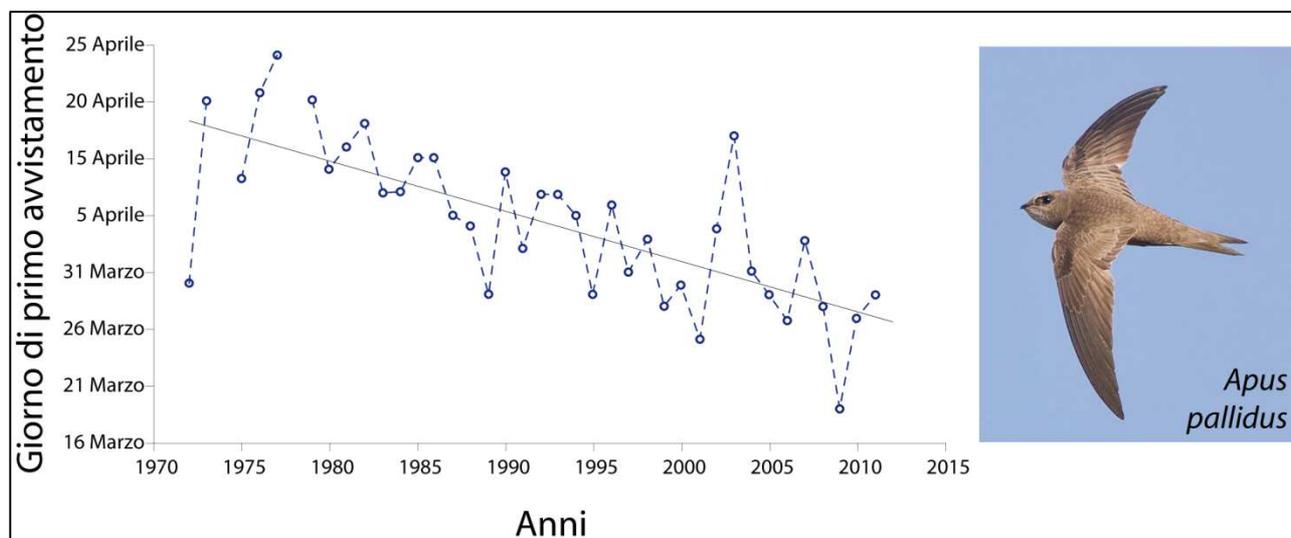


Figura 3.7: Giorni di primo avvistamento di rondoni pallidi (*Apus pallidus*) nidificanti a Carmagnola (TO). La serie (dati non pubblicati) copre 38 anni nel periodo 1972-2011 (mancano il dato del 1974 e del 1978) ed è stata gentilmente fornita dal Dott. Giovanni Boano (Museo Civico di Storia Naturale di Carmagnola).

Saino et al. (2004) hanno rilevato variazioni fenologiche nella rondine comune (*Hirundo rustica*), a seconda della qualità delle condizioni ambientali nei quartieri di svernamento africani, valutata con un indice di presenza di vegetazione. Quando le condizioni sono migliori, gli adulti arrivano prima ai siti riproduttivi dell'Italia settentrionale, con maggiori possibilità di compiere una seconda covata e portare all'involo un maggior numero di piccoli. Rubolini et al. (2007) hanno indagato la risposta ai recenti cambiamenti climatici di oltre 100 specie di uccelli migratori nidificanti in Europa, evidenziando che tra 1960 e 2006 c'è stato un generale anticipo degli arrivi,

ma con forti differenze tra specie e zone. Gli anticipi maggiori, infatti, si sono verificati a latitudini intermedie dove è più accentuato l'effetto dei cambiamenti climatici. Inoltre, mentre popolazioni della stessa specie hanno mostrato risposte simili tra loro, le specie migratrici a lungo raggio in generale anticipano di meno gli arrivi rispetto a quelle a corto raggio. Gli anticipi massimi misurati sono di 0,37 giorni all'anno per la prima data di arrivo e 0,16 per la media. Inoltre, Saino et al. (2011) hanno analizzato i dati sugli arrivi nei quartieri riproduttivi tra 1958 e 2008 per 117 specie di uccelli migratori, nidificanti in 4 località del nord Europa. Hanno inoltre valutato se gli anticipi documentati potessero compensare la variazione nella fenologia delle specie vegetali o animali con cui gli uccelli sono ecologicamente legati nei siti di nidificazione. I risultati confermano che i migratori a lungo raggio anticipano gli arrivi meno di quelli a corto raggio, ma soprattutto mostrano che le specie meno sincronizzate con l'inizio della primavera nei quartieri riproduttivi hanno subito il declino demografico più consistente. Walther et al. (2011), inoltre, sottolineano l'importanza delle condizioni ambientali nei siti di svernamento. Nel Sahel, per esempio, dove svernano molte delle specie in declino tra 1970 e 2000, si sono verificate: gravi siccità, una variabilità climatica tra anni molto accentuata e una rapida crescita della popolazione umana, con impatti sugli habitat naturali e, di conseguenza, sulla fauna. Sulle migrazioni autunnali degli uccelli la letteratura è meno ricca, ma Jenni e Kéry (2003) hanno rilevato che in un arco di 42 anni specie svernanti in Africa settentrionale, o che possono allevare più covate l'anno, ritardano le partenze, mentre quelle svernanti a sud del Sahara le anticipano, probabilmente per non attraversare il Sahel nel periodo di maggiore siccità.

Una relazione tra cambiamenti climatici e fenologia è stata registrata anche per gli anfibi. Diverse specie europee raggiungono i siti riproduttivi più precocemente, anticipando la loro attività riproduttiva di 1-3 settimane ogni dieci anni (Beebee, 1995; Scott et al., 2008). Per la rana temporaria, specie diffusa in Nord Italia, Phillimore et al. (2010) hanno messo in relazione gli anticipi di deposizione nel Regno Unito con gli aumenti di temperatura, evidenziando che serviranno modifiche genetiche affinché queste popolazioni possano affrontare il veloce riscaldamento previsto nei prossimi 50 anni.

Anche le farfalle mostrano una forte correlazione tra date di prima apparizione e temperature primaverili. Modifiche nella fenologia sono state registrate sia nel Regno Unito (Roy & Sparks, 2000) sia nell'Europa meridionale (Stefanescu et al., 2003), con il progressivo anticipo degli avvistamenti e l'allungamento del periodo di volo per le specie multivoltine.

### *Modifiche della distribuzione delle specie*

Diversi studi hanno confermato che lo spostamento della distribuzione delle specie (compresi molti taxa presenti in Europa) è consistente con le variazioni previste dai cambiamenti climatici (Parmesan & Yohe, 2003; Hickling et al., 2006). Thomas (2010) conclude che in più della metà - forse due terzi - delle specie di fauna terrestre considerate si è già evidenziata una variazione dei confini degli areali riferibile al riscaldamento globale di origine antropica avvenuto tra 1970 e 2000.

Tali spostamenti sono diretti verso le zone con condizioni climatiche più favorevoli, vale a dire, principalmente verso altitudini e latitudini maggiori. Parmesan & Yohe (2003) hanno stimato, uno spostamento medio di 6,1 km verso nord (o 6,1 m verso quote superiori) ogni dieci anni, a livello globale. Le variazioni possono consistere in: (a) un'espansione verso nord dell'areale con contrazione del limite sud; (b) un'espansione verso nord, senza la contrazione a sud, (c) una contrazione a sud, senza l'espansione verso nord. Numerosi lepidotteri europei hanno subito cambiamenti di areale durante l'ultimo secolo (Parmesan et al., 1999). In particolare, nel 65% delle specie il limite settentrionale dell'areale si è spostato verso nord e nel 22% il limite sud si è contratto verso nord. Le modifiche assolute dei limiti degli areali sono state ingenti, con variazioni di 35-240 km. Osservazioni analoghe sono state fatte per le libellule: numerose specie mediterranee si sono spostate verso la Pianura Padana e l'Europa Centrale (ad es. *Crothemis erythrea*, *Trithemis annulata*), mentre l'africana *Trithemis kirby* è ora presente in Sardegna (Ott, 2001, 2010a, 2010b). Le stazioni italiane più meridionali di *Nehalennia speciosa*, legate a torbiere con parvocariceto della fascia prealpina ora invase da vegetazione più tollerante alla precoce siccità estiva, sono invece scomparse a partire dagli anni '80 (Giuseppe Bogliani, comunicazione personale).

Gli anfibi sono tra le specie animali a maggior rischio di estinzione (Blaustein & Kiesecker, 2002) e i cambiamenti climatici sono tra i fattori proposti per spiegare il drammatico declino osservato tra le popolazioni di questo gruppo (Shoo et al., 2011). Diversi studi, a livello globale ed europeo, evidenziano come i cambiamenti climatici possano determinare la scomparsa delle popolazioni e la contrazione degli areali. In particolare, molte specie di anfibi richiedono elevati valori di umidità per le attività terrestri e dipendono dall'acqua per la riproduzione (si veda il capitolo "Ecosistemi di acque interne e di transizione"). Queste specie sono pertanto particolarmente sensibili a variazioni del tasso di formazione delle nubi e delle precipitazioni. Ciò è molto evidente in ecosistemi tropicali, dove l'estinzione di numerose specie sembra essere legata alla riduzione della velocità di formazione delle nubi durante gli ultimi decenni (Pounds et al., 1999), ma meccanismi analoghi sono stati proposti anche per le popolazioni italiane. I cambiamenti climatici, in concomitanza con l'alterazione degli habitat, potrebbero spiegare il declino delle popolazioni di anfibi osservato nell'ultimo ventennio. Sono state studiate 19 specie e in ben 14 di esse potrebbe essere presente un andamento di declino associato ad almeno una variabile climatica (D'Amen & Bombi, 2009).

Le specie di alta quota sono particolarmente a rischio di riduzione di areale per effetto dei cambiamenti climatici. Esse hanno generalmente areali ridotti e frammentati, che mostrano modifiche e contrazioni consistenti in seguito al riscaldamento globale, in alcuni casi culminate nell'estinzione (Parmesan, 2006). Sulle Alpi sono stati osservati almeno due casi di innalzamento di quota da parte di ungulati. Per quanto riguarda lo stambecco l'utilizzo delle stesse aree per maschi e femmine nella stagione vegetativa potrebbe portare a una minore disponibilità trofica per tutti gli individui, con possibili ricadute su capacità di superare l'inverno e su reclutamento. Nel Parco dello Stelvio è stato osservato un aumento di quota per i gruppi di camoscio (*Rupicapra rupicapra*) osservati ogni anno durante i censimenti estivi (Figura 4.7). Nell'ultimo decennio i camosci sono saliti di quota di un centinaio di metri. Questo dato è analogo a quanto rilevato in Svizzera per lo

stambecco, ma su questa popolazione che nell'ultimo decennio ha subito un preoccupante declino demografico servono ulteriori ricerche. I dati qui presentati sono indicativi di un processo che potrebbe essere in atto, ma di cui non si conoscono con chiarezza cause e conseguenze. I fattori che influenzano la dinamica di popolazione del camoscio in quest'area potrebbero, infatti, essere legati agli effetti dei cambiamenti climatici sulla fenologia della vegetazione o a interazioni più complesse con altri componenti dell'ecosistema, quale la competizione con il cervo (*Cervus elaphus*).

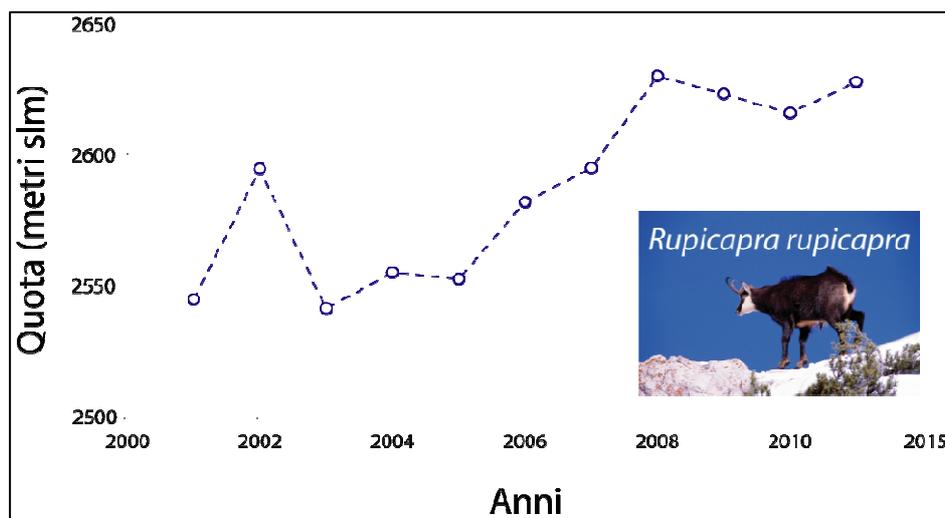


Figura 4.7: Mediana della quota a cui sono stati avvistati i camosci (*Rupicapra rupicapra*) durante i censimenti effettuati tra fine luglio e inizio agosto nel settore trentino del Parco Nazionale dello Stelvio tra il 2001 e il 2011 (Fonte: Parco Nazionale dello Stelvio, dati non pubblicati).

L'istrice (*Hystrix cristata*) è un altro vertebrato per cui si è osservato un cambiamento di areale notevole. Secondo Mori et al. (2013) l'areale della specie si è espanso verso nord.

Per quanto riguarda gli insetti, negli ultimi 40 anni sono state registrate estinzioni locali di *Parnassius apollo*, farfalla adattata ai climi freddi, in altopiani a meno di 850 m di quota, nel sud della Francia. La specie, d'interesse conservazionistico, è presente in Europa e Asia con areale discontinuo e limitato alle zone montuose. Un continuo innalzamento di quota dell'habitat idoneo può portare a nuove estinzioni locali, viste le sue ridotte capacità di dispersione (Parmesan, 2006). Le popolazioni isolate di Europa occidentale e meridionale (per l'Italia, importanti quelle di Calabria e Sicilia), le più minacciate dai cambiamenti climatici, contengono una quota importante del patrimonio evolutivo della specie, rivestendo pertanto una speciale importanza conservazionistica (Todisco et al. 2010).

## Interazioni ecologiche e funzionamento degli ecosistemi

Un effetto dei cambiamenti climatici è lo sfasamento tra i cicli vitali di popolazioni ecologicamente interconnesse, quali preda-predatore o ospite-parassita. Se queste specie rispondono diversamente alle variazioni climatiche, avviene la rottura delle interazioni e un'alterazione dell'ecosistema (Parmesan, 2006). Il cuculo comune (*Cuculus canorus*), migratore a lungo raggio e parassita di cova, ha perso la sincronia con alcuni dei suoi ospiti (Saino et al., 2009) e ne ha modificato la composizione: più migratori a lungo raggio, meno a corto raggio e residenti (Møller et al., 2011).

Gli ecosistemi possono essere influenzati anche dalla modifica della composizione delle comunità. È stato osservato che il tempo trascorso dal ritiro dei ghiacciai, che a sua volta determina l'età degli habitat, è il fattore principale che spiega la modificazione delle comunità di ragni e coleotteri carabidi presso il ghiacciaio dei Forni, sulle Alpi centrali (Gobbi et al., 2006; 2007). Anche la composizione delle comunità di micromammiferi in ambiente mediterraneo sembra stia subendo modifiche riferibili ai cambiamenti climatici. In particolare, Szpunar et al. (2008) hanno rilevato un rimarchevole aumento delle specie più termoxerofile rispetto a quelle più mesofile.

## Impatti attesi

Considerato l'inscindibile legame tra biodiversità e funzionamento degli ecosistemi (Díaz et al., 2006; Duffy & Stachowicz, 2006) è particolarmente importante capire se i cambiamenti climatici provocheranno un aumento oppure una diminuzione della diversità biologica esistente. Secondo Viterbi et al. (2013), lungo i gradienti altitudinali studiati in aree protette delle Alpi Occidentali esiste un numero particolarmente elevato di endemismi e di specie vulnerabili ai cambiamenti climatici in diversi taxa animali nell'orizzonte alpino e nivale. Di conseguenza le comunità animali di questi ambienti saranno particolarmente soggette a cambiamenti e alterazioni. A fronte dei cambiamenti climatici in corso, è spesso invocato l'adattamento degli organismi alle nuove condizioni ambientali. Generalmente argomenti di tipo evolutivo si basano sul tacito assunto che i cambiamenti avvengano su scale temporali così lunghe da consentire alle opportune mutazioni genetiche di compiersi, ma data la rapidità dei cambiamenti climatici in atto, nell'ultimo decennio si è sviluppato un grande interesse verso la comprensione delle potenzialità di adattamento delle specie e in termini di plasticità e diversità genetica e di processi evolutivi (Jump & Peñuelas, 2005; Visser, 2008; Gienapp et al., 2008; Hoffmann & Sgrò, 2011; Bruni et al., 2012); di fondamentale importanza è divenuta la conoscenza di come singole specie e interi ecosistemi reagiranno su scale temporali molto più brevi (Araújo & Rahbek, 2006). Basti pensare che, nei secoli recenti, le attività antropiche hanno aumentato fino a 1.000 volte i tassi di estinzione tipicamente riscontrati nella storia evolutiva della Terra precedente l'Antropocene (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

## Modelli di proiezione

Per studiare gli impatti attesi dei cambiamenti climatici sulla biodiversità è necessario conoscere sia come le variabili climatiche cambieranno nel futuro sia quali saranno le risposte a livello specifico ed ecosistemico in relazione a tali variazioni. Per quanto riguarda gli scenari futuri dei

cambiamenti climatici, gli attuali modelli di circolazione globale (AOGCM - Atmospheric-Oceanic Global Circulation Models) di cui al capitolo "Variabilità climatica futura", presentano un sostanziale accordo sui trend di temperatura, mentre mostrano maggiore variabilità per le tendenze delle precipitazioni. È difficile, infatti, modellizzare processi che avvengono a scale spaziali più fini, come le precipitazioni, e che si svolgono con dinamiche diverse a seconda dello stato fisico dell'acqua (pioggia, neve, ecc.). Inoltre i modelli AOGCM non riescono per ora a incorporare gli effetti di: (i) morfologia dei suoli e delle coste, (ii) presenza di laghi o fiumi, (iii) differenze di vegetazione, i quali condizionano fortemente il clima a scala locale. Ciò ne limita considerevolmente l'uso (Metzger et al., 2004).

I modelli bioclimatici (Climate Envelope, nella letteratura anglosassone) consentono di dedurre in maniera empirica la presenza e la distribuzione delle specie attraverso i valori assunti da variabili climatiche (temperatura, precipitazione, stagionalità), poiché su grande scala la distribuzione di una specie è essenzialmente correlata al clima. Dopo aver stimato con tecniche di regressione la relazione tra clima e presenza della specie nel presente, utilizzando come *input* del modello bioclimatico il clima atteso secondo gli scenari forniti dai modelli di circolazione globale, si possono ottenere mappe della distribuzione attesa della specie basata su diverse ipotesi sulla sua capacità di dispersione. Attraverso questi modelli si può, per esempio, studiare il rischio di perdita di specie vegetali terrestri. Il presupposto forte per la validità degli AOGCM è che il legame tra presenza delle specie e variabili abiotiche resti invariato nel tempo.

Raramente i modelli bioclimatici incorporano interazioni di tipo biotico (simbiosi, predazione, competizione) o variazioni del regime delle perturbazioni (incendi, eventi idrologici estremi), fattori che possono modificare la distribuzione futura delle specie. Alle basse latitudini, alcune specie possono essere delimitate nel loro areale più da interazioni biotiche che dal clima vero e proprio, che agisce invece a una scala più ampia. La ricerca scientifica più recente sta integrando nei modelli bioclimatici informazioni concernenti la biologia della specie studiata, ad esempio inerenti alla sua capacità di dispersione o alle sue relazioni con altre specie (Araújo & Luoto, 2007; Heikkinen et al., 2007). La semplicità dei modelli bioclimatici attuali, peraltro, li rende duttili e applicabili anche quando non si conoscano molti dettagli sugli ecosistemi studiati, come spesso accade nella realtà (Botkin et al., 2007).

Alla scala locale, i dati disponibili possiedono di rado una risoluzione sufficiente per apprezzare spostamenti delle specie dovuti ai cambiamenti climatici ed è necessario affrontare la questione da un punto di vista concettuale. Il legame tra clima e distribuzione delle popolazioni può essere fornito dai modelli di vocazionalità, che pongono in relazione la presenza e/o l'abbondanza di una specie con le caratteristiche dell'habitat, ovvero con fattori morfologici, climatici, vegetazionali, trofici e antropici (Ranci Ortigosa et al., 2003). I modelli di vocazionalità sono statici poiché assumono che la popolazione rimanga in equilibrio alla propria capacità portante. Per una migliore valutazione degli impatti sulle singole popolazioni sarebbe invece opportuno, anche se difficile, analizzare l'influenza del clima anche sui parametri demografici di crescita.

Le piccole, continue e progressive variazioni del clima sono certamente in grado di modificare la capacità di risposta e di adattamento degli organismi. Secondo Leemans & van Vliet (2004), comunque, gli impatti ecologici dei cambiamenti climatici sono tipicamente sottostimati. I modelli usati per discuterli usano, infatti, come ingresso gli scenari futuri dei cambiamenti climatici nel medio-lungo termine e non tengono conto degli effetti che gli eventi estremi determinano sul breve termine. Come mostrato nella sezione *Impatti osservati*, però, gli eventi meteorologici estremi (come ondate di calore, siccità, alluvioni) possono comportare gravi conseguenze sugli ecosistemi e sui sistemi socio-economici. Infine, esiste la possibilità che avvengano risposte irreversibili o che siano superate soglie oltre le quali anche una minima variazione climatica può provocare conseguenze estreme (Cannone et al., 2008, per gli ambiti alpini).

### *Impatti sulla vegetazione*

Analogamente a quanto riscontrato per gli impatti osservati, anche gli effetti futuri dei cambiamenti climatici differiscono molto in funzione di clima, ecosistema e distribuzione attuale delle specie. Le Alpi e gli Appennini sono tra le zone, a livello europeo, indicate come maggiormente vulnerabili ai cambiamenti climatici, con una perdita di specie stimata circa al 60% entro il 2100 (Dullinger et al., 2012a, 2012b).

Per la regione alpina Europea, Dullinger et al. (2012a, 2012b) hanno calcolato che entro la fine del XXI secolo la distribuzione attuale di 150 specie alpine si ridurrà di circa il 44-50%, sebbene le dinamiche di popolazione sembrano rispondere in modo non così diretto, con un'allarmante riduzione delle specie endemiche. Engler et al. (2011) hanno stimato su scala europea una perdita dell'80% di habitat per il 36-56% di specie alpine, 31-51% di specie subalpine e 19-46% di specie montane entro il 2070-2100.

Per quanto concerne la regione mediterranea, gli impatti attesi riguardano in particolare il rapporto tra vegetazione forestale e arbustiva (si veda anche il capitolo "Foreste"). Se infatti, secondo i modelli, le foreste boreali e subalpine sono destinate a estendersi, quelle mediterranee e termo-mediterranee subiranno invece una contrazione principalmente a causa di una maggiore siccità estiva e di un maggiore impatto degli incendi (Moriondo et al., 2006). Le foreste mediterranee, quindi, potrebbero essere sostituite da vegetazioni arbustive e/o vedranno modificata la propria composizione specifica (Attorre et al., 2011), con importanti conseguenze economiche dovute alla diminuzione di specie di frequente sfruttamento forestale. Questo effetto è particolarmente evidente per specie, come il faggio, che nell'ecosistema mediterraneo trovano il limite del loro areale di distribuzione o per quelle relitte, poste alle quote più elevate delle catene montuose mediterranee, destinate a subire una crescente perdita del loro habitat. La maggiore siccità porterà, infine, a una generale riduzione della produttività di queste foreste, sebbene anche la concentrazione dei nutrienti debba essere presa in considerazione.

Allo stesso modo degli impatti attesi, anche in questo caso vanno considerati gli effetti combinati di clima e sfruttamento antropico (Nogués Bravo et al., 2008), con particolare attenzione

nell'ambiente mediterraneo all'aumento del tasso di erosione del suolo, dovuto alla maggiore siccità e a una più elevata pressione di pascolo.

### *Impatti sulla fauna*

I limiti degli areali geografici delle specie animali sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche climatiche. Numerosi studi hanno osservato una relazione molto forte tra le caratteristiche climatiche attuali e la distribuzione delle specie.

Per esempio, Araújo et al. (2006) hanno utilizzato modelli bioclimatici per valutare come varierà la distribuzione di rettili e anfibi europei. Per quasi tutte le specie, le regioni in cui si trovano gli areali attuali potrebbero non presentare più condizioni appropriate alla loro sopravvivenza alla fine di questo secolo. Per numerose specie, le aree idonee potrebbero essere distanti dagli areali attuali. Purtroppo, questi animali hanno tassi di dispersione limitati, che potrebbero impedirne lo spostamento verso nuove aree con clima adatto. Pertanto, è molto probabile un loro declino. In alcune aree a elevata biodiversità, quali l'Appennino meridionale, potrebbero scomparire fino a 8-10 specie di rettili, vale a dire la maggior parte delle specie ora presenti.

Analisi effettuate a scala europea su mammiferi e uccelli mostrano che la perdita di areali potrebbe determinare una notevole riduzione della biodiversità europea (Thuiller et al., 2011). Quest'analisi ha inoltre valutato se alcuni gruppi filogenetici potessero soffrire l'impatto dei cambiamenti climatici più di altri. Tra gli uccelli, le maggiori contrazioni potrebbero essere osservate per alcuni limicoli (genere *Tringa* e *Numenius*), mentre gli ardeidi potrebbero espandere la loro distribuzione. Tra i mammiferi, i toporagni (genere *Sorex*) potrebbero subire un impatto estremamente negativo. Nel complesso, però, le differenze tra gruppi filogenetici sembrano essere limitate; a scala europea gli uccelli potrebbero perdere il 12% della ricchezza specifica, mentre i mammiferi il 10%. La situazione europea non è però omogenea, poiché le regioni mediterranee potrebbero perdere una porzione molto maggiore di biodiversità, oltre il 20% sia per gli uccelli sia per i mammiferi.

La maggior parte delle analisi sugli impatti attesi sulla fauna considera la specie come unità fondamentale di studio. E' però possibile che le popolazioni all'interno di alcune specie presentino adattamenti evolutivisti per determinate condizioni climatiche locali. Ciò potrebbe influenzare la risposta delle specie ai cambiamenti climatici. Infatti, le singole popolazioni potrebbero avere una tolleranza ai cambiamenti climatici minore di quanto apparirebbe assumendo che tutte le popolazioni siano geneticamente omogenee e abbiano la stessa tolleranza climatica. Pearman et al. (2010) hanno analizzato alcune specie di uccelli e anfibi europei mostrando che alcune sottospecie possono richiedere condizioni climatiche differenti e avere tolleranze minori ai cambiamenti climatici. Pertanto, anche per le specie che potrebbero resistere ai cambiamenti climatici, è possibile una forte perdita di biodiversità intraspecifica, con la scomparsa delle popolazioni o delle unità subspecifiche adattate a particolari condizioni climatiche.

Il riscaldamento globale può anche avvantaggiare alcune specie alloctone, modificandone l'invasività. Le possibilità per una specie alloctona di diffondersi velocemente su un'area vasta dipendono sia dalle caratteristiche della specie, che a sua volta sono influenzate dal clima, sia dalla

frequenza d'introduzione (Keller et al., 2011). Se i cambiamenti climatici favoriscono la diffusione autonoma della specie, basterà un minor numero d'introduzioni per renderla invasiva, dunque potenzialmente pericolosa per l'ecosistema. Un esempio in questo senso è costituito dalla tartaruga palustre americana (*Trachemys scripta*; Ficetola et al., 2009), di cui si parlerà in seguito.

### *Impatti sulle patologie*

Il clima influisce in maniera fondamentale anche sulla salute degli ecosistemi. Un'alterazione rilevante del clima, infatti, ha ripercussioni su tutti i fattori che determinano l'insorgere di malattie poiché ogni infezione coinvolge almeno un agente patogeno, uno o più ospiti e l'ambiente. A causa dei cambiamenti climatici, le specie vegetali sono indebolite e rese più vulnerabili all'attacco di patogeni e parassiti (Faccoli, 2009). L'aumentata variabilità delle condizioni climatiche (piene seguite da siccità) rende ad esempio le querce particolarmente vulnerabili ai patogeni del genere *Phytophthora*, che stanno decimando i lecceti nell'Europa meridionale (Brasier, 1996) e causando il declino di lecceti e sughere in Italia (Vettraino et al., 2002).

Alcuni patogeni sono trasportati dall'aria o dall'acqua, altri da vettori biologici. E il clima influenza i processi dinamici che coinvolgono tanto i patogeni, quanto i vettori (biotici o abiotici), come pure gli ospiti e le loro difese immunitarie. Taylor et al. (2001) hanno stimato che più del 60% di tutti gli agenti patogeni per l'uomo proviene da serbatoi animali e che circa il 75% di malattie emergenti è di origine animale. Molti insetti infestanti o vettori la cui diffusione finora era controllata da certe condizioni climatiche (come le temperature minime, l'umidità del suolo o il grado d'insolazione) potrebbero proliferare e ampliare il loro areale di distribuzione. Un esempio che è già stato osservato riguarda l'incremento della diffusione della processionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), che negli ultimi anni, a causa dell'aumento delle temperature minime e l'incremento delle ore di radiazione solare, ha espanso il proprio areale di distribuzione verso quote più elevate e verso nuove piante ospiti, quale il pino mugo, oltre agli ospiti abituali pino nero e pino silvestre (Battisti et al., 2006; Buffo et al., 2007). Hòdar et al. (2003) segnalano un aumento della mortalità e una diminuzione della produzione di semi in *Pinus sylvestris* a causa dell'azione defoliante di questo lepidottero. Risultati paragonabili di espansione dei confini dell'areale di distribuzione sono stati trovati per il vettore della Leishmaniosi canina, il pappatacio *Phlebotomus papatasi*. Alcune zone dell'Italia settentrionale tradizionalmente non interessate da questa malattia, comune negli animali di compagnia ma trasmissibile anche all'uomo, stanno diventando lo scenario di nuovi e insoliti focolai d'infezione (Ferroglia et al. 2005).

Molti agenti patogeni che infettano animali in ambiente terrestre e che possono trasmettersi da animale a uomo (provocando le cosiddette zoonosi) sono trasmessi da artropodi. Un esempio particolarmente importante per la situazione italiana è la zecca dei boschi (*Ixodes ricinus*), che funge sia da veicolo di trasmissione sia da ospite per due importanti agenti infettivi: il virus del genere *Flavivirus*, che nell'uomo provoca l'encefalite trasmessa da zecche (TBE - Tick-Borne Encephalitis), e il batterio *Borrelia burgdorferi*, che causa la borreliosi (o malattia di Lyme). Le zecche si cibano del sangue di oltre 300 specie fra mammiferi, uccelli e rettili e sono il maggior vettore di malattie per animali e uomini in Europa (Pfäßle et al. 2011). Altrettanto insidiose sono le zanzare. La zanzara

tigre (*Aedes albopictus*), individuata in Italia per la prima volta a Genova nel 1990 (Randolph & Rogers, 2010), è capace di trasmettere alla fauna ben 22 virus diversi (Gratz, 2004). Tra questi vi sono agenti infettivi pericolosi anche per l'uomo, come per esempio i virus di Dengue (Knudsen et al., 1996) e di Chikungunya, che ha causato in Emilia-Romagna la prima epidemia in una regione temperata (Rezza et al., 2007), e il West Nile Virus (Bisanzio et al., 2011). Altre specie di zanzara stanno invadendo il nostro paese a un ritmo incalzante (Capelli et al. 2011) e, come per la zanzara tigre che si è diffusa ovunque nel paese (Romi et al. 2008), rischiano di estendersi in modo altrettanto rapido su scala nazionale. Ciò accade per la concomitanza di una sempre crescente connessione commerciale con paesi dei quali sono originarie e l'instaurarsi in Italia di condizioni climatiche favorevoli alla loro colonizzazione.

I cambiamenti climatici favoriscono in molti modi la diffusione delle infezioni attraverso vettori biologici. L'aumento delle temperature minime in inverno e nelle ore notturne (Easterling et al., 1997) fa diminuire in maniera decisiva la mortalità dei vettori. L'anticipo delle primavere favorisce i tassi di riproduzione dei vettori biologici e prolunga la loro stagione di attività. I serbatoi biologici delle zecche (roditori, ungulati alpini ma anche animali da pascolo) conquistano quote più elevate in montagna e si muovono verso nord per via dei cambiamenti climatici, con conseguente aumento del rischio d'infezione (Rizzoli et al., 2011). Nel caso delle malattie trasmesse da zanzara, semplici modelli epidemiologici, supportati da evidenze empiriche (Randolph & Rogers, 2010), rivelano che sia il tasso di puntura dell'ospite da parte delle zanzare sia il tasso di sviluppo del patogeno all'interno del vettore (inverso del periodo di incubazione) aumentano considerevolmente con la temperatura. E ciò si somma alla già citata accelerazione del tasso di crescita del vettore medesimo. Modelli dinamici mostrano che il riscaldamento che si accompagna a un potenziale raddoppio della CO<sub>2</sub> atmosferica aumenterebbe di 100 volte la capacità delle zanzare di trasmettere malattie nelle regioni temperate e che l'area capace di sostenere la trasmissione crescerebbe da quella contenente il 45% della popolazione umana al suo 60% (Epstein, 2001). Roiz et al. (2011) hanno mostrato con modelli di vocazionalità ambientale che la zona del Trentino adatta a ospitare la zanzara tigre aumenterebbe considerevolmente nel 2050, almeno nel caso in cui lo scenario di riscaldamento climatico fosse di tipo SRES A2.

### ***Ambienti terrestri particolarmente vulnerabili***

A livello nazionale, gli ecosistemi delle regioni biogeografiche alpina e mediterranea sono quelli destinati a essere particolarmente minacciati dai cambiamenti climatici, per via delle loro caratteristiche ecologiche e climatiche attuali (IPCC, 2007b).

I siti di alta quota, sebbene caratterizzati da un impatto antropogenico relativamente ridotto, presentano forti modificazioni indotte dal clima (Walther et al., 2005; Cannone et al., 2007; Pauli et al., 2007; Parolo & Rossi, 2008), non solo sulle componenti biologiche ma anche su quelle fisiche, in particolare sulla criosfera, con un massiccio ritiro dei ghiacciai (Diolaiuti et al., 2012), una considerevole degradazione del permafrost (Guglielmin, 2004; Harris et al., 2009) e il conseguente innesco di fenomeni d'instabilità superficiale. Queste considerazioni, che evidenziano il forte legame clima-ambiente-vegetazione, mostrano che in ambiente alpino le comunità particolarmente

vulnerabili sono quelle legate a particolari contesti edafici, come ad esempio la vegetazione di valletta nivale (legata alla permanenza delle neve al suolo; Carbognani et al., 2012) e di torbiera. Analogamente tipologie di vegetazione che stanno subendo processi di regressione a causa della competizione e concomitante espansione di altre tipologie sono particolarmente vulnerabili; ne sono un esempio le comunità di prateria alpina sensibili alla risalita di arbusti al loro limite inferiore e a una maggiore instabilità superficiale al loro limite superiore (Cannone et al., 2007; Myers-Smith et al., 2011).

La regione mediterranea è identificata come uno dei 25 *hot-spot* di biodiversità a livello mondiale e sta subendo importanti variazioni di natura sia climatica sia antropica. Tra gli habitat riconosciuti maggiormente a rischio, vi sono aree costiere e spiagge, lagune litoranee ed estuari (a causa della potenziale risalita del livello del mare e dei conseguenti processi di erosione), zone umide e ambienti d'acque temporanee (a causa dell'incremento degli eventi siccitosi e della bonifica antropica), foreste e arbusteti (legate all'effetto concomitante dell'accresciuta siccità e dell'aumento delle temperature) e aree di alta quota delle montagne Mediterranee (ove il riscaldamento climatico ha effetti analoghi a quelli osservati nella regione biogeografica alpina). Le variazioni della vegetazione avvenute a quote inferiori possono provocare conseguenze (ad es. dovute alla migrazione di specie verso altitudini superiori) anche sulla vegetazione di quote più elevate, che sono particolarmente vulnerabili per l'elevato numero di endemismi (Stanisci et al., 2005). Infine, l'aumento della frequenza degli incendi e della loro estensione (Moriondo et al., 2006) pone gli ecosistemi mediterranei tra quelli più a rischio.

Anche la fauna di ambienti di alta quota, come abbiamo visto, risente in modo particolarmente negativo degli effetti dei cambiamenti climatici, principalmente a causa dell'attesa diminuzione degli habitat idonei, con conseguente possibile riduzione e frammentazione degli areali e aumento del rischio di estinzione locale. D'altra parte le specie di montagna spesso non hanno areali molto estesi, come rilevato da Ohlemüller et al. (2008) i quali, studiando uccelli americani e piante e farfalle europee, hanno evidenziato una coincidenza tra specie ad areale piccolo e condizioni climatiche rare, rappresentate da temperature più rigide e quote più elevate rispetto alle aree circostanti; si tratta probabilmente di relitti glaciali, quindi molto a rischio in caso di riscaldamento globale. Sulle Alpi la pernice bianca (*Lagopus muta*), specie politipica a corologia artica boreoalpina, è presente con la sottospecie *L. m. helvetica*, considerata un relitto glaciale. Revermann et al. (2012) hanno studiato i fattori che ne determinano la distribuzione sulle Alpi svizzere e hanno proiettato il modello d'idoneità risultante su scenari futuri dei cambiamenti climatici. I loro risultati rilevano il rischio di una diminuzione di oltre i due terzi dell'habitat idoneo da oggi al 2070. La specie potrebbe risentirne pesantemente anche in Italia, dove è già considerata in cattivo stato di conservazione, con declini osservati in diverse popolazioni su tutto l'arco alpino (Gustin et al., 2010). Analogamente, Avededo et al. (2012) prevedono una riduzione di areale sulle Alpi per la lepre variabile (*Lepus timidus*), a causa sia di una diminuzione di aree idonee, sia di una sovrapposizione con la lepre comune (*L. europaeus*) e quindi a interazioni competitive con la congenera. Il problema principale per la conservazione dei vertebrati alpini resta comunque legato all'impatto antropico. Il rischio è che i cambiamenti climatici si aggiungano alle modifiche dell'uso

del suolo (costruzione di infrastrutture turistiche, cambio di pratiche colturali, aumento di specie predatrici commensali con l'uomo) determinando un effetto sinergico con conseguenze potenzialmente molto gravi per gli ecosistemi.

Per quanto riguarda la fauna, è stato osservato di recente come il serpente italiano a maggior valore conservazionistico (il colubro ferro di cavallo, *Hemorrhois hippocrepsis*, oggi presente in Sardegna e nell'isola di Pantelleria) potrebbe subire una drastica riduzione del proprio habitat, perciò la conservazione diverrà molto più problematica (Bombi et al., 2011). Cianfrani et al. (2011) hanno invece studiato la distribuzione della lontra (*Lutra lutra*) in Europa, concludendo che le variazioni dell'areale rispetto alla situazione attuale dovute alla diminuzione dell'idoneità di numerose aree dell'Italia meridionale, mettono a rischio la conservazione della specie.

### *Sinergie con altri impatti locali e globali (frammentazione del territorio, specie esotiche e invasive, inquinanti atmosferici)*

Come sopra ricordato, diversi fattori stanno contribuendo alla perdita di biodiversità a scala mondiale oltre ai cambiamenti climatici (Sala et al., 2000). Purtroppo, in molti casi, questi impatti agiscono sinergicamente arrecando cioè un danno che risulta maggiore della somma dei danni procurati dai singoli impatti.

Negli ecosistemi terrestri il cambiamento d'uso del suolo è l'elemento con il maggiore impatto sulla biodiversità, tramite la perdita, la modifica e la frammentazione degli habitat, il degrado del suolo e l'impovertimento delle risorse idriche (Pimm & Raven, 2000; Foley et al., 2005; Thuiller, 2007). Gli effetti ecologici della perdita di habitat si manifestano a diversi livelli gerarchici, dall'individuo all'ecosistema, determinando una riduzione del successo riproduttivo, della capacità dispersiva, dei tassi di predazione degli individui, dell'abbondanza e della distribuzione delle specie, della diversità genetica, della ricchezza specifica, e un'alterazione della struttura trofica degli ecosistemi (Fahrig, 2003). Inoltre, il cambiamento d'uso del suolo trasforma la struttura originale degli ecosistemi in mosaici frammentati spesso non comunicanti e molto eterogenei tra loro; in questi frammenti le

popolazioni tendono a ridursi e a rimanere progressivamente più isolate, divenendo più vulnerabili agli eventi disastrosi (epidemie o eventi climatici estremi) e quindi al rischio di estinzione (Opdam & Wascher, 2004). I cambiamenti climatici mostrano una sinergia particolarmente negativa con la perdita e la frammentazione degli habitat: da un lato l'aumento della frequenza degli eventi climatici estremi è più pericoloso per piccole popolazioni frammentate, dall'altro la creazione di barriere o di zone non più adatte alle specie animali o vegetali può impedirne la dispersione o lo spostamento indotti dalla variazione delle variabili climatiche (Opdam & Wascher, 2004).

Un altro fattore che agisce sulla biodiversità in maniera sinergica con i cambiamenti climatici è la presenza di specie esotiche e invasive. Le specie invasive sono spesso caratterizzate da tratti ecologici (ad es. un'ampia tolleranza climatica, un vasto areale geografico, una cospicua abbondanza e alti tassi di crescita) che le rendono competitivamente superiori alle specie di

animali e piante locali e al contempo meno vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici (Hellmann et al., 2008). In alcuni casi, i cambiamenti climatici possono favorire l'insediamento e il successo competitivo di queste specie attraverso una facilitazione del loro trasporto, l'instaurarsi di condizioni climatiche a loro favorevoli e una diminuzione della competizione interspecifica con specie native (Hellmann et al., 2008). Ne è un chiaro esempio il caso della tartaruga *Trachemys scripta*, originaria della Florida e diffusasi in Italia centrale e settentrionale, per la quale si prevede un aumento notevole delle aree con clima adatto alla sua riproduzione, come conseguenza soprattutto dell'aumento delle temperature nell'Italia settentrionale (Ficetola et al., 2009; Figura 5.7).

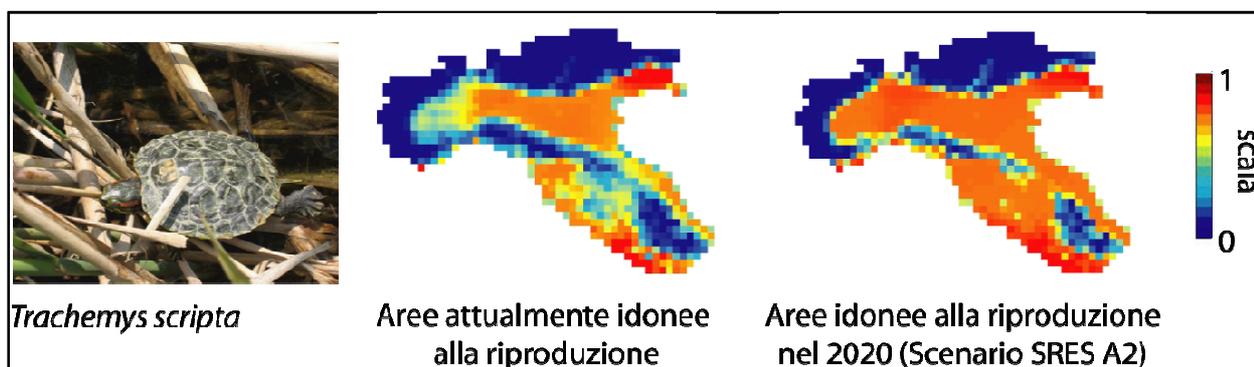


Figura 5.7: Scenari relativi alle aree idonee alla riproduzione della tartaruga palustre americana *Trachemys scripta*  
(Fonte: Ficetola et al., 2009).

Gli inquinanti atmosferici causanti acidificazione ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ), eutrofizzazione ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ) e stress ossidativo da ozono troposferico ( $\text{NO}_x$ , Volatile Organic Compound - VOC, CO,  $\text{CH}_4$ ) sono altri elementi che agiscono in modo sinergico con i cambiamenti climatici (Bytnerowicz et al., 2007). In particolare, l'aumento delle deposizioni azotate sta riducendo la ricchezza specifica e alterando la composizione vegetale a livello mondiale, inclusi i biomi alpini e mediterranei, sia a causa della tossicità diretta dei composti azotati sulle piante, sia a causa del loro accumulo nel suolo, con conseguente acidificazione dei terreni e aumento del vantaggio competitivo per le specie più adattate ad alte concentrazioni di azoto (Bobbink et al., 2010). Particolarmente grave è anche l'effetto fitotossico dell'ozono ( $\text{O}_3$ ), che riduce le difese antiossidative delle piante, provocando una diminuzione delle risorse per la crescita vegetativa e il conseguente calo della produttività primaria (Renault et al., 2009). Oltre ai danni alle cellule stomatiche, l'ozono provoca anche una diminuzione dell'assorbimento della  $\text{CO}_2$  da parte delle piante, riducendo così il potenziale fertilizzante dell'anidride carbonica (Felzer et al., 2005). Il processo di formazione di  $\text{O}_3$  troposferico sarà molto probabilmente potenziato nei prossimi anni (Jacob et al., 2009) dalle alte temperature, da un maggior indice d'irraggiamento solare e da periodi di scarse precipitazioni, legati ai cambiamenti climatici (Forkel & Knoche, 2007; Meleux et al., 2007).

## Conseguenze per il territorio e la società

### Vulnerabilità del territorio

La vulnerabilità degli ecosistemi terrestri italiani agli effetti dei cambiamenti climatici è legata da un lato alla sensibilità intrinseca di diversi ecosistemi presenti sul suolo nazionale, quali gli ambienti di alta quota, gli habitat mediterranei o particolarmente ricchi di specie, dall'altro alla presenza sul territorio di fattori aggiuntivi di stress (urbanizzazione, inquinamento atmosferico, presenza di specie esotiche, rischio idrogeologico e d'incendi boschivi) che, come già menzionato, possono esacerbare i danni causati dai cambiamenti climatici.

Gli ecosistemi d'alta quota sono destinati a essere particolarmente vulnerabili ai futuri cambiamenti climatici (IPCC, 2007b). Per il trentennio 2071-2100 si prevede, infatti, una scomparsa quasi totale nell'arco alpino italiano del bioma di tundra (Hickler et al. 2010; Hickler et al., 2012), con conseguenze drammatiche anche per le specie animali la cui ecologia e distribuzione sono strettamente dipendenti da questo tipo di formazione vegetale. Il rischio di estinzione di specie come lo stambecco *Capra ibex* e il gallo forcello *Tetrao tetrix* potrebbe aumentare del per la scarsità di alimenti e l'impovertimento genetico (Schneider et al., 2001; Wöss & Zeiler, 2003). Anche i biomi mediterranei, sebbene potenzialmente in espansione nella nostra penisola (Klausmeyer & Shaw, 2009), sono considerati estremamente vulnerabili alla scarsità di risorse idriche, all'aumento del rischio di incendi boschivi, alla diminuzione della capacità d'immagazzinamento del carbonio nel suolo e allo spostamento di specie verso latitudini maggiori, tutti fattori alterati dai cambiamenti climatici (Underwood et al., 2009; Allen et al., 2010; Maiorano et al., 2013). Gli ecosistemi delle regioni biogeografiche alpina e mediterranea non sono tuttavia le sole zone del Paese vulnerabili ai cambiamenti climatici: nel trentennio 2071-2100 si prevede anche una considerevole diminuzione negli Appennini centrali del bioma di foresta temperata di latifoglie e conifere, che sarà sostituito da biomi temperati-caldi caratterizzati da una vegetazione termofila di sempreverdi (Walther, 2003; Hickler et al., 2010; Hickler et al., 2012). Un'analisi dei possibili effetti dei cambiamenti climatici sulla distribuzione delle principali specie arboree forestali in tutta l'Italia Centrale (si veda anche il capitolo "Foreste") ha evidenziato una forte riduzione dell'areale di distribuzione delle specie più mesofile e microterme (faggio, castagno, farnia, aceri montani) e sono già evidenti i danni alle foreste planiziali, ripariali e golenali, caratterizzati dalla presenza di specie quali la farnia, il cerro e il carpino bianco, molto sensibili ai cambiamenti climatici poiché strettamente dipendenti dall'abbondanza d'acqua negli strati superficiali del suolo (Petriccione, 2005).

A questa vulnerabilità, che potrebbe definirsi "naturale", si aggiungono gli effetti sinergici degli altri impatti antropici, *in primis* la profonda trasformazione del territorio, che genera discontinuità delle reti ecologiche ed elevati impatti sulle risorse naturali, sul paesaggio e sulla qualità della vita (Falcucci et al., 2007). La distruzione o la trasformazione degli ecosistemi originari è riconosciuta come la principale causa della rarefazione ed estinzione di gran parte delle specie animali italiane (Bologna, 2002). Nel nostro paese il consumo di suolo è elevato in quasi tutto il territorio, a eccezione delle aree strettamente alpine sulle quali questo impatto antropogenico è relativamente ridotto, ed è particolarmente importante nella Pianura Padana e sulle coste (Maiorano et al., 2006;

Figura 6.7). Il consumo di suolo è causato principalmente dall'espansione edilizia e urbana e dalla costruzione di nuove infrastrutture, ma anche dalla conversione agricola di molte aree. In Italia si consumano giornalmente più di cento ettari al giorno e, in alcune aree urbane, il consumo del suolo è esteso ormai a più della metà del territorio comunale (ISPRA, 2012). Questa massiccia conversione delle aree naturali interagisce assai negativamente con gli effetti dei cambiamenti climatici, poiché l'attuale rete di aree protette italiane potrebbe non essere sufficiente in futuro a salvaguardare le specie il cui areale di distribuzione si sposti oltre i limiti delle zone tutelate (Araújo et al., 2011). Attraverso modelli d'idoneità climatica per le specie di piante e vertebrati terrestri (mammiferi, uccelli, rettili e anfibi) a scala europea, Araújo et al. (2011) hanno mostrato che nel 2080 le attuali riserve della rete Natura 2000 potrebbero non avere più un clima adatto alla protezione del 58% delle specie ora presenti. Tra le specie europee, quelle elencate negli allegati della Direttiva Habitat sembrano essere le più vulnerabili, in particolare i mammiferi e gli uccelli. Gli anfibi potrebbero subire un impatto particolarmente negativo nell'Europa sud-occidentale, in cui è prevista una forte diminuzione delle precipitazioni. Queste analisi a scala europea sono state confermate anche a livello nazionale da studi ad alta risoluzione che mostrano che nei prossimi decenni i cambiamenti climatici potrebbero ridurre l'idoneità ambientale delle riserve italiane (D'Amen et al., 2011). Inoltre, aree protette che ora sono interconnesse attraverso corridoi naturali o artificiali rischiano di rimanere isolate per certe specie che non tollerano le nuove condizioni climatiche dei corridoi. Inoltre, le già menzionate deposizioni azotate, contribuiscono alla vulnerabilità degli ecosistemi terrestri ai cambiamenti climatici, riducendo la diversità specifica degli ecosistemi vegetali, poiché la disponibilità di azoto e la conseguente fertilità del suolo sono fattori chiave nel determinare la composizione specifica delle comunità vegetali (Bytnerowicz et al., 2007). Recentemente, l'elevata biodiversità vegetale dell'intero bacino mediterraneo è stata classificata "altamente vulnerabile" alle ingenti deposizioni di azoto (Phoenix et al., 2006). Inoltre, l'Italia, e particolarmente la regione settentrionale, è stata riconosciuta come una delle zone europee potenzialmente più vulnerabili allo stress ossidativo causato dalle elevate concentrazioni di ozono troposferico (EEA-JRC-WHO, 2008). I diversi impatti che a scala mondiale sono stati individuati come i determinanti della perdita di biodiversità (perdita di suolo, cambiamenti climatici, specie invasive, deposizioni azotate) si manifestano quindi in maniera massiccia nella nostra penisola. L'interazione tra questi fattori impattanti può essere deleteria per la conservazione della biodiversità degli ecosistemi terrestri e per il mantenimento dei servizi ecosistemici a essi associati. E' pertanto fondamentale migliorare gli attuali meccanismi di tutela della biodiversità nazionale attraverso l'adozione di strategie mirate a incrementare la resilienza degli ecosistemi terrestri ai cambiamenti climatici, attraverso interventi combinati di mitigazione e di conservazione. Tra gli interventi di mitigazione, un ruolo preponderante è ricoperto dalle traslocazioni, che comprendono le cosiddette "migrazioni assistite", in altre parole lo spostamento attivo di specie animali e vegetali verso siti considerati idonei in un'ottica di cambiamenti climatici (IUCN, 2013). L'attuazione di tali pratiche necessita però di approfondite conoscenze delle specie e degli habitat e un'attenta analisi dei potenziali rischi annessi e connessi; in questa direzione l'Italia si è dotata di Linee Guida per la traslocazione di specie sia vegetali sia animali (AA.VV., 2007; Rossi et al., 2013a).



Figura 6.7: Frammentazione a causa di urbanizzazione, infrastrutture e agricoltura (Fonte: EEA, 2005).

### Impatti socio-economici

Gli ecosistemi terrestri supportano numerose funzioni ecologiche fornendo un'ampia gamma di beni e servizi necessari alla sopravvivenza dell'uomo (Barbier, 2007; Carpenter et al., 2009). Questi servizi ecosistemici possono essere suddivisi in tre tipologie: (a) servizi di produzione di beni quali cibo (colture, allevamento, prodotti selvatici, selvaggina, ecc.), materie prime (legname, fibre, sostanze chimiche) e acqua dolce (per uso civile, industriale e irriguo); (b) servizi di regolazione della qualità dell'aria e dell'acqua, del ciclo dei nutrienti (ad es. assimilazione di CO<sub>2</sub>, carichi azotati), mitigazione del clima, regolazione del ciclo idrico e contenimento del dissesto idrogeologico e altri rischi naturali; (c) servizi culturali, come l'opportunità di ricreazione e svago (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Tramite la fornitura di beni e servizi alla società, il sistema naturale e quello sociale sono uniti con carattere d'interdipendenza, formando il cosiddetto sistema socio-ecologico (Giddings et al. 2002; Locatelli et al., 2008). Influenzando negativamente su molti di questi beni e servizi, i vari fattori di stress climatici stanno facendo aumentare la vulnerabilità del sistema socio-ecologico (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Mooney et al. 2009).

(a) Per quel che riguarda il bacino mediterraneo europeo, i pochi studi esistenti sulla valutazione degli impatti socio-economici dei cambiamenti climatici sui beni e servizi degli ecosistemi terrestri mostrano una risposta complessa a seconda della tipologia di beni analizzati, delle zone biogeografiche considerate e dei modelli climatici assunti.

Per quel che riguarda la produttività vegetale e animale, gli ecosistemi terrestri europei mostrano una risposta complessa agli effetti dei cambiamenti climatici, in alcune condizioni anche con esiti positivi. In Italia, Lugato et al. (2009) hanno proiettato per il 2050 un incremento di circa il 20%

delle rese cerealicole nazionali annuali. Tuttavia, gli eventi estremi, e in particolare le ondate di calore, possono ridurre drasticamente la produttività, controbilanciando i possibili effetti positivi di un aumento graduale delle temperature, come osservato durante l'estate del 2003, con effetti assai negativi sul sistema economico (Ciais et al. 2005).

(b) Per quanto concerne i servizi ecosistemici di regolazione, le conseguenze sociali ed economiche dei cambiamenti climatici saranno negative a causa del peggioramento della qualità delle acque, del declino degli impollinatori, dell'aumento del rischio idrogeologico e del degrado del suolo. Per il 2050 ci si aspetta una riduzione della capacità delle praterie italiane di agire come *sink* di carbonio, di circa -52% per lo scenario A2 e circa -36% per lo scenario B2 rispetto al 2005 (corrispondente a una perdita di 2.434,98 milioni di dollari) (Lugato et al., 2009).

(c) Per quel che riguarda i servizi culturali, sono ancora scarsi gli studi che affrontano gli impatti dei cambiamenti climatici sulle opportunità offerte dagli ecosistemi terrestri in questo senso.

Complessivamente, sarà necessario approfondire queste tematiche per quantificare anche in termini di mercato le implicazioni dei mutamenti climatici sui beni e servizi forniti dagli ecosistemi terrestri, soprattutto per informare future strategie di incremento della resilienza degli ecosistemi terrestri ai cambiamenti climatici (Locatelli et al. 2008; Fisher et al., 2009; Wainger et al., 2010; Sagoff, 2011).

## **Azioni di adattamento intraprese per gli ecosistemi terrestri**

La sfida dell'adattamento ai cambiamenti climatici per gli ecosistemi terrestri si concentra sulla realizzazione di strategie finalizzate a conservare la biodiversità e a rendere gli ecosistemi e le specie meno vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici. In termini ecologici questo significa "contenere i danni" (favorendo la resistenza ecologica) e, al contempo, incrementare la possibilità di recupero (favorendo la resilienza ecologica) dei sistemi naturali (Hansen et al., 2003). A livello internazionale, europeo e italiano sono state condotte iniziative e intraprese diverse azioni in supporto all'adattamento ai cambiamenti climatici degli ecosistemi terrestri e forestali. Alcuni esempi sono riportati qui di seguito.

## I) Monitoraggio e ricerca sugli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi terrestri.

- GLORIA (GLobal Observation Research Initiative in Alpine environments)<sup>65</sup> (in corso dal 1996) progetto internazionale attivo in 116 stazioni situate in tutte le principali catene montuose del mondo, nelle Alpi e nel resto d'Europa, nelle Ande, in Himalaya, negli Stati Uniti e in Sudamerica, per monitorare gli effetti dei cambiamenti climatici sui biomi di alta quota;
- Progetto Interreg PhenoALP<sup>66</sup> (2007-2013) network di osservazione fenologica nelle Alpi Occidentali su praterie e vegetazione d'alta quota;
- Progetto Interreg ClimaParks (Cambiamenti climatici e gestione delle aree protette)<sup>67</sup>, 2007 - 2013, ricerca e sensibilizzazione su cambiamenti climatici e conservazione della biodiversità e su un rapporto sostenibile per l'ambiente nelle aree protette, con definizione e adozione di un sistema unificato di monitoraggio e di analisi degli impatti dei cambiamenti climatici;
- Progetto ACE\_SAP, (Ecosistemi Alpini e Cambiamento Ambientale - sensibilità e potenziale adattativo della biodiversità)<sup>68</sup>. ricerca sulla biodiversità in Trentino: studio e conservazione di taxa endemici o minacciati, conseguenze dirette per l'uomo dovute a cambiamenti o perdita di biodiversità, studio dei meccanismi ecologici e genetici di adattamento allo stress ambientale, la misura degli attuali livelli di biodiversità ai fini di controllo, protezione, gestione e sfruttamento sostenibile della stessa;
- CONECOFOR (Rete Nazionale per il Controllo degli Ecosistemi Forestali)<sup>69</sup>, attiva dal 1995, per il monitoraggio delle interazioni ecologiche tra le componenti strutturali e funzionali degli ecosistemi forestali e i fattori di pressione e cambiamento su larga scala. E' basato su 31 aree permanenti distribuite su tutto il territorio nazionale e rappresentative delle principali comunità forestali italiane (faggete, peccete, cerrete, leccete, foreste planiziali, ecc.). 24 aree su 31 si trovano in aree montane, tra 700 e 1900 m s.l.m., 17 sono ubicate in aree protette, mentre in 22 aree sono presenti habitat o specie di interesse comunitario o prioritarie;
- Rete dei Giardini Fenologici, attiva dal 1993, per il monitoraggio della fenologia delle specie vegetali sul territorio nazionale. In particolare viene monitorata la fenologia di specie indicatrici tra cui il biancospino comune (*Crateagus monogyna*), il nocciolo (*Corylus avellana*), il ligustro comune (*Ligustrum vulgare*), la robinia (*Robinia pseudoacacia*), il sambuco (*Sambucus nigra*), e tre specie di salice (*Salix acutifolia*, *S. vicinali*, *S. smithiana*);

---

<sup>65</sup> <http://www.gloria.ac.at/>

<sup>66</sup> <http://www.phenoalp.eu/>

<sup>67</sup> <http://www.climaparks.eu/cp2/it>

<sup>68</sup> <http://www.ace-sap.it/>

<sup>69</sup> <http://www3.corpoforestale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/94>

- Progetti coordinati dal Centro Nazionale di Inanellamento per la raccolta di dati biometrici e fenologici sull'avifauna;
- Rete Italiana per le Ricerche Ecologiche di Lungo Termine (LTER Italia)<sup>70</sup>, inserito nel più ampio contesto di LTER-Europe, per contribuire ed evidenziare lo stato e l'evoluzione di molti importanti ecosistemi italiani, studiando l'effetto su di essi dell'inquinamento atmosferico e dei cambiamenti climatici, valutando perdita e/o alterazione della loro biodiversità;
- Progetto MANFRED (Management strategies to adapt Alpine Space forests to climate change risks)<sup>71</sup> sviluppato all'interno del Programma Alpine Space cofinanziato dall'Unione Europea, con l'obiettivo di indagare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle principali specie forestali dell'arco alpino per differenti tipologie di rischio, e di definire possibili strategie gestionali per l'adattamento al cambiamento e il mantenimento delle funzioni espletate dal bosco, in collaborazione con gli Enti locali che operano sul territorio;

## **II) Identificazione di specie vegetali e animali minacciati e di possibili aree rifugio.**

BioRefugia<sup>72</sup>, realizzato nell'ambito del Programma CONECOFOR. Ha l'obiettivo di analizzare i possibili effetti dei cambiamenti climatici sulla distribuzione delle principali specie arboree forestali in tutta l'Italia Centrale e di identificare le potenziali aree di rifugio dove tali specie possano resistere nei nuovi scenari climatici previsti per il 2080.

## **III) Protezione attraverso aree naturali protette in grado di favorire la resistenza e resilienza degli ecosistemi terrestri ai cambiamenti climatici.**

Attualmente, in Italia vi sono 24 Parchi Nazionali, 147 Riserve Naturali Statali, 134 Parchi Naturali Regionali, 365 Riserve Naturali Regionali, e 171 altre aree naturali protette regionali, 2299 Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e 609 Zone di Protezione Speciale (ZPS) per un totale di circa 3 milioni di ettari di terra protetti, circa il 10% dell'intera superficie nazionale (EUAP, Elenco Ufficiale delle Aree Protette, 2010) . Per la rete dei Parchi nazionali dell'arco alpino il Ministero dell'Ambiente ha finanziato il monitoraggio dei cambiamenti delle comunità animali lungo i gradienti altitudinali, attraverso la Direttiva per l'impiego prioritario delle risorse finanziarie assegnate ex Cap. 1551, Azione di Sistema "Progetto per la conservazione della biodiversità". Il monitoraggio è già in atto nei quattro Parchi Nazionali (Gran Paradiso, Val Grande, Stelvio, Dolomiti Bellunesi) e, per le Alpi occidentali, anche in aree protette regionali (Viterbi et al. 2013).

---

<sup>70</sup> <http://www.lteritalia.it/>.

<sup>71</sup> <http://www.manfredproject.eu/>.

<sup>72</sup> <http://sweb01.dbv.uniroma1.it/bruno/biorefugia/index.html>.

**IV) Mantenimento della connettività tra aree protette rafforzando i corridoi ecologici per facilitare la migrazione delle specie.**

ECONNECT: restoring the web of life<sup>73</sup>. Ha l'obiettivo di creare un continuum ecologico attraverso le Alpi, studiando un sistema di collegamento al fine di raggiungere una connettività tra gli ecosistemi alpini.

**V) Conservazione del patrimonio naturale in termini di biodiversità genetica, di specie e di ecosistemi.**

Tra i progetti dedicati a tali tematiche si vuole ricordare ENSCONET (European Native Seed Conservation Network)<sup>74</sup> che dal 2004 al 2009, ha avuto come scopo principe quello di migliorare la conservazione *ex situ* del germoplasma vegetale e di fornire linee guida per indirizzare le policy a livello europeo.

---

<sup>73</sup> <http://www.econnectproject.eu/cms/>.

<sup>74</sup> <http://ensconet.maich.gr/About.htm>.

## Bibliografia

- AA.VV., (2007). Linee guida per l'immissione di specie faunistiche. Quad. Cons. Natura, 27, Min. Ambiente - Ist. Naz. Fauna Selvatica.
- Abeli, T., Jäkäläniemi, A., Wannas, L., Mutikainen, P., Tuomi, J. (2013). Relationships between natural fruit set, pollen limitation, fruiting failure, and flowering neighbors in a deceptive orchid. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 171, 744-750.
- Abeli, T., Rossi, G., Gentili, R., Mondoni, A., Cristofanelli, P. (2012a). Response of alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary. *Plant Ecology*, 213, 1-13.
- Abeli, T., Rossi, G., Gentili, R., Gandini, M., Mondoni, A., Cristofanelli, P. (2012b). Effect of the extreme summer heat waves on isolated populations of two orophytic plants in the north Apennines (Italy). *Nordic Journal of Botany*, 30, 109-115.
- Affre, L., Suehs, C.M., Charpentier, S., Vilà, M., Brundu, G., Lambdon, P., Traveset, A., Hulme, P.E. (2010). Consistency in the habitat degree of invasion for three invasive species across Mediterranean islands. *Biological Invasions*, 12, 2537-2548.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kizberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660-684.
- Araújo, M.B., Rahbek, C. (2006). How does climate change affect biodiversity? *Science*, 313, 1396-1397.
- Araújo, M.B., Thuiller, W., Pearson, R.G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33, 1712-1728.
- Araújo, M.B., Luoto, M. (2007). The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 743-753.
- Araújo, M.B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogués Bravo, D., Thuiller, W. (2011). Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14, 484-492.
- Attorre, F., Alfò, M., De Sanctis, M., Francesconi, F., Valenti, R., Vitale, M., Bruno, F. (2011). Evaluating the effects of climate change on tree species abundance and distribution in the Italian peninsula. *Applied Vegetation Science*, 14, 242-255.
- Attorre, F., Bruno, F., Danovaro, R., Ferrari, I., Gatto, M., Navarra, A., Valentini, R. (2007). Cambiamenti climatici e biodiversità. Studio della mitigazione e proposte per l'adattamento. Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma, Italia.
- Avecedo, P., Jimenez-Valverde, A., Melo-Ferreira, J., Real, R., Alves, P.C. (2012). Parapatric species and the implications for climate change studies: a case study on hares in Europe. *Global Change Biology*, 18, 1509-1519.
- Bagella, S., Caria, M.C., Zuccarello, V. (2010). Patterns of emblematic habitat type in Mediterranean temporary wetlands. *Comptes Rendus Biologies*, 333, 694-700.
- Barbier, E.B. (2007). Valuing ecosystem services as productive input. *Economic Policy*, 22, 177-229.

- Barnagaud, J.Y., Crochet, P.A., Magnani, Y., Laurent, A.B., Menoni, E., Novoa, C., Gimenez, O. (2011). Short-term response to the North Atlantic Oscillation but no long-term effects of climate change on the reproductive success of an alpine bird. *Journal of Ornithology*, 152, 631-641.
- Battisti, A., Stastny, M., Buffo, E., Larsson, S. (2006). A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12, 662-671.
- Battisti C., Romano B. (2007). Frammentazione e connettività: dall'analisi ecologica alla pianificazione ambientale. Città Studi Edizioni.
- Beebee, T.J.C. (1995). Amphibian Breeding and Climate. *Nature*, 374, 219-220.
- Beniston, M. (2006). Mountain weather and climate: a general overview and a focus on climatic change in the Alps. *Hydrobiologia*, 562, 3-16.
- Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, C.A.T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T., Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic change*, 81, 71-95.
- Biondi, E., Casavecchia, S., Pesaresi, S. (2012). Nitrophilous and ruderal species as indicators of climate change. Case study from the Italian Adriatic coast. *Plant Biosystems*, 146, 134-142.
- Bisanzio, D., Giacobini, M., Bertolotti, L., Mosca, A., Balbo, L., Kitron, U., Vazquez-Prokopec, G.M. (2011). Spatio-temporal patterns of distribution of West Nile virus vectors in eastern Piedmont Region, Italy. *Parasites & Vectors*, 4, 230
- Björk, R.G., Molau, U. (2007). Ecology of alpine snowbed and the impact of global change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 39, 34-43.
- Blaustein, A.R., Kiesecker J.M. (2002). Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters* 5, 597-608.
- Boano, G., Bonardi, A., Silvano, F. (2004). Nightingale *Lusciniamegarhynchos* adult survival rates in relation to Sahel rainfall. *Avocetta*, 28, 77-85.
- Boano, G., Brichetti, P., Foschi, U.F. (2010). La Niña'-driven Atlantic storms affect winter survival of Mediterranean Cory's Shearwaters. *Italian Journal of Zoology*, 77, 460-468.
- Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., Bustamanet, M., Cinderby, S., Davidson, E., Dentener, F., Emmett, B., Erisman, J.W., Fenn, M., Gilliam, F., Nordin, A., Pardo, L., De Vries, W. (2010). Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications*, 20, 30-59.
- Böhm, R., Auer, I., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., Schöner, W. (2001). Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 21, 1779-1801.
- Bologna M. A. (2002). Rarefazione ed estinzione di specie. In: *La fauna in Italia* (Minelli, A., Chemini, C., Argano, R., Ruffo, S., eds.), 390-428. Touring Editore Milano e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma.
- Bombi, P., Capula, M., D'Amen, M., Luiselli, L. (2011). Climate change threatens the survival of highly endangered Sardinian populations of the snake *Hemorrhoisippocrepis*. *Animal Biology*, 61, 239-248.
- Bonardi, A., Manenti, R., Corbetta, A., Ferri, V., Fiacchini, D., Giovine, G., Macchi, S., Romanazzi, E., Soccini, C., Bottoni, L., Padoa-Schioppa, E., Ficetola, G.F. (2011). Usefulness of volunteer data to measure the large scale decline of "common" toad populations. *Biological Conservation*, 144, 2328-2334.

- Bonomi, C., Rossi, G., Bedini, G. (2008). A national Italian network to improve seed conservation of wild native species (RIBES). In: Crop wild relative conservation and use (Maxted, N., Ford-Lloyd, B., Kell, S., Iriondo, J., Dulloo, M., Turok, J., eds.). CABI, Wallingford, UK..
- Botkin, D.B., Saxe, H., Araújo, M.B., Betts, R., Bradshaw, R.H.W., Cedhagen, T., Chesson, P., Dawson, T.P., Etterson, J.R., Faith, D.P., Ferrier, S., Guisan, S.A., Hansen, A.S., Hilbert, D.W., Loehle, C., Margules, C.C., New, M., Sobel, M.J., Stockwell, D.R.B. (2007) Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *Bioscience* 57; 227-236.
- Bragazza, L.(2006). A decade of plant species changes on a mire in the Italian Alps: vegetation-controlled or climate-driven mechanisms? *Climatic Change*, 77, 415-429.
- Brancaleoni, L., Gualmini, M., Tomaselli, M., Gerdol, R. (2007). Responses of subalpine dwarf-shrub heath to irrigation and fertilization. *Journal of Vegetation Science*, 18, 337-344.
- Brasier, C.M. (1996). Phytophthora cinnamomi and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change, 53, 347-358.
- Brilli, F., Barta, C., Fortunati, A., Lerdau, M., Loreto, F., Centritto, M. (2007). Response of isoprene emission and carbon metabolism to drought in white poplar (*Populus alba*) saplings. *New Phytologist*, 175, 244-254.
- Bruni, I., De Mattia, F., Labra, M., Grassi, F., Fluch, S., Berenyi, M., Ferrari, C. (2012). Genetic variability of relict *Rhododendron ferrugineum* L. populations in the Northern Apennines with some inferences for conservation strategy. *Plant Biosystems*, 146, 24-32.
- Buffo, E., Battisti, A., Stastny, M., Larsson, S. (2007). Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agricultural and Forest Entomology*, 9, 65-72.
- Bytnerowicz, A., Omasa, K., Paoletti, E. (2007). Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective. *Environmental Pollution*, 147, 438-445.
- Cannone, N., Diolaiuti, G., Guglielmin, M., Smiraglia, C. (2008). Accelerating climate change impacts on alpine glacier forefield ecosystems in the European Alps. *Ecological Applications*, 18, 637-648.
- Cannone, N., Sgorbati, S., Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology*, 5, 360-364.
- Capelli, G., Drago, A., Martini, S., Montarsi, F., Soppelsa, M., Delai, N., Ravagnan, S., Mazzon, L., Schaffner, F., Mathis, A., Di Luca, M., Romi, R., Russo, F. (2011). First report in Italy of the exotic mosquito species *Aedes (Finlaya) koreicus*, a potential vector of arboviruses and filariae. *Parasites & Vectors*, 4: 188.
- Carbognani, M., Petraglia, A., Tomaselli, M. (2012). Influence of snowmelt time on species richness, density and production in a late snowbed community. *Acta Oecologica*, 43, 113-120.
- Carpenter, S.R., Mooney, H.A., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R.S., Díaz, S., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H.M., Perrings, C., Reid, W.V., Sarukhan, J., Scholes, R.J., Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNAS*, 106(5), 1305-1312.
- CBD - Convention on Biological Diversity (2008). Decisions adopted by the conference of the parties to the Convention on Biological Diversity at its ninth meeting: Bonn, 19-30 May 2008. Disponibile su: [www.cbd.int/doc/decisions/](http://www.cbd.int/doc/decisions/)
- Chapin, F.S. III, Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., Hooper, D.U., Lavorel, S., Sala, O.E., Hobbie, S.E., Mack, M.C., Díaz S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405, 234-242.
- Ciais, Ph., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogee, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, Chr., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A.D., Friedlingstein, P., Grunwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl,

- A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T., Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 529-533.
- Cianfrani, C., Le Lay, G., Maiorano, L., Satizabal, H.F., Loy, A., Guisan, A. (2011). Adapting global conservation strategies to climate change at the European scale: The otter as a flagship species. *Biological Conservation*, 144, 2068-2080.
- Colombo, R., Busetto, L., Fava, F., Di Mauro, B., Migliavacca, M., Cremonese, E., Cogliati, S., Panigada, C., Galvagno, M., Siniscalco, C., Rossini, M., Meroni, M., Morra di Cella, U. (2011). Phenological monitoring of grassland and larch in the Alps from Terra and Aqua MODIS images. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43, 83-96.
- Cremonese, E. (2012). Il progetto PhenoALP: monitoraggio integrato della fenologia vegetale in ecosistemi alpini. In: Atti del Convegno "Cambiamento climatico: analisi ed impatti su specie ed ecosistemi vegetali" (Cannone, N., Barni, E., Marignani, M., eds.), 87. Gruppo di Ecologia della Società Botanica Italiana, Varese, 18 Aprile 2012.
- Crooks, K.R., Sanjayan, M., eds. (2006). *Connectivity Conservation*. Cambridge University Press.
- D'Amen, M., Bombi, P. (2009). Global warming and biodiversity: evidence of climate-linked amphibians declines in Italy. *Biological Conservation*, 142, 3060-3067.
- D'Amen, M., Bombi, P., Pearman, P.B., Schmatz, D.R., Zimmermann, N.E., Bologna, M.A. (2011). Will climate change reduce the efficacy of protected areas for amphibian conservation in Italy? *Biological Conservation*, 144, 989-997.
- De Boeck, H.J., Dreesen, F.E., Janssens, I.A., Nijs, I. (2011). Whole-system responses of experimental plant communities to climate extremes imposed in different seasons. *New Phytologist*, 189(3), 806-817.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F.S., Tilman, D. (2006). Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. *PLoS Biology*, 4, 1300-1305.
- Diolaiuti, G., Bocchiola, D., D'agata, C., Smiraglia, C. (2012). Evidence of climate change impact upon glaciers' recession within the Italian Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 429-445.
- Dirnbock, T., Essl, F., Rabitsch, W. (2011). Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Global Change Biology*, 17, 990-996.
- Duffy, J.E., Stachowicz, J.J. (2006). Why biodiversity is important to oceanography: potential roles of genetic, species, and trophic diversity in pelagic ecosystem processes. *Marine Ecology Progress Series*, 311, 179-189.
- Dullinger, S., Gattringer, A., Thuiller, W., Moser, D., Zimmermann, N. E., Guisan, A., Willner, W., Plutzer, C., Leitner, M., Mang, T., Caccianiga, M., Dirnbock, T., Ertl, S., Fischer, A., Lenoir, J., Svenning, J-C., Psomas, A., Schmatz, D.R., Silc, U., Vittoz, P., Hubler, K. (2012a). Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first-century climate change. *Nature Climate Change*, 2: 619-622.
- Dullinger, S., Willner, W., Plutzer, C., Englisch, T., Schratz-Ehrendorfer, L., Moser, D., Ertl, S., Essl, F., Niklfeld, H. (2012b). Post-glacial migration lag restricts range filling of plants in the European Alps. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 829-840.
- Easterling, D.R., Horton, B., Jones, P.D., Peterson, T.C., Karl, T.R., Parker, D.E., Salinger, M.J., Razuvayev, V., Plummer, N., Jamason, P., Folland, C.K. (1997). Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 277, 363-367.
- Easterling, D.R., Evans, J.L., Groisman, P.Ya., Karl, T.R., Kunkel, K.E., Ambenje, P. (2000a). Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 417-425.

- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. (2000b). Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*, 289, 2068-2074.
- EEA-JRC-WHO (2008). Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment. European Environment Agency Report n. 4/2008. EEA, Copenhagen; European Communities.
- EEA (2009). Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. European Environment Agency Technical Report n. 8/2009. EEA, Copenhagen.
- Engler, R., Randin, C.F., Thuiller, W., Dullinger, S., Zimmermann, N.E., Araùjo, M.B., Pearman, P.B., Le Lay, G., Piedallu, C., Albert, C.H., Choler, P., Coldea, G., De Lamo, X., Dirnböck, T., Gègout, J.C., Gómez-García, D., Grytnes, J.A., Heegaard, E., Høistad, F., Nogués Bravo, D., Normand, S., Puşcaş, M., Sebastià, M.T., Stanisci, A., Theurillat, J.P., Trivedi, M.R., Vittoz, P., Guisan, A. (2011). 21<sup>st</sup> century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, 17, 2330-2341.
- Epstein, P. (2001). Climate change and emerging infectious diseases. *Microbes and Infection*, 3, 747-754.
- Erschbamer, B., Mallaun M., Unterluggauer P. (2006). Plant diversity along altitudinal gradients in the Southern and Central Alps of South Tyrol and Trentino (Italy). *Gredleriana*, 6, 47-68.
- Erschbamer, B., Kiebacher, T., Mallaun, M., Unterluggauer, P. (2009). Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. *Plant Ecology*, 202, 79-89.
- Erschbamer, B., Unterluggauer, P., Winkler, E., Mallaun, M. (2011). Changes in plant species diversity revealed by long-term monitoring on mountain summits in the Dolomites (northern Italy). *Preslia*, 83, 387-401.
- Planta Europa (2008). A Sustainable Future for Europe; the European Strategy for Plant Conservation 2008-2014. Plantlife International (Salisbury, UK) and the Council of Europe (Strasbourg, France).
- EUAP (2010). Elenco ufficiale delle aree protette, 6<sup>o</sup> Aggiornamento approvato il 27 aprile 2010 e pubblicato nel Supplemento ordinario n. 115 alla Gazzetta Ufficiale n. 125 del 31 maggio 2010.
- European Commission (2009). White paper Adapting climate change in Europe: towards a European framework for action {SEC(2009) 386} {SEC(2009) 387} {SEC(2009) 388} COM/2009/0147 final. European Commission.
- Faccoli, M. (2009). The effect of weather on *Ipstypographus* (ColeopteraCurculionidae) phenology, voltinism and associated spruce mortality in southern Alps. *Environmental Entomology*, 38, 307-316.
- Fahrig, L. (2003). Effect of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487-515.
- Falcucci, A., Maiorano, L., Boitani, L. (2007). Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implication for biodiversity conservation. *Landscape Ecology*, 22, 617-631.
- Fantappiè, M., L'Abate, G., Costantini, E.A.C. (2011). The influence of climate change on the soil carbon content in Italy from 1961 to 2008. *Geomorphology*, 135, 343-352.
- Fasola, M., Rubolini, D., Merli, E., Boncompagni, E., Bressan, U. (2010). Long-term trends of heron and egret populations in Italy, and the effects of climate, human-induced mortality, and habitat on population dynamics. *Population Ecology*, 52, 59-72.
- Felzer, B., Reilly, J., Melillo, J., Kicklighter, D., Sarfoim, M., Wang, C., Prinn, R., Zhuang, Q. (2005) Future effects of ozone on carbon sequestration and climate change policy using global biogeochemical model. *Climatic Change*, 73, 345-373.
- Ferroglio, E., Maroli, M., Gastaldo, S., Mignone, M., Rossi, L. (2005). Canine leishmaniosis in Italy. *Emerging Infectious Diseases* 11, 1618-1620.

- Ficetola, G.F., Thuiller, W., Padoa-Schioppa, E. (2009). From introduction to the establishment of alien species: bioclimatic differences between presence and reproduction localities in the slider turtle. *Diversity and Distributions*, 15, 108-116.
- Finzi, A.C., DeLucia, E.H., Hamilton, J.G., Richter, D.D., Schlesinger, W.H. (2002). The nitrogen budget of a pine forest under free air CO<sub>2</sub> enrichment. *Oecologia*, 132, 567-578.
- Fisher, B., Turner, R.K., Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68, 643-653.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574
- Forkel, R., Knoche, R. (2007). Nested regional climate-chemistry simulations for central Europe. *Comptes Rendus Geoscience*, 339, 734-746.
- Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M.G., Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth Century. *Climate Research*, 19, 193-212.
- Galliot, M., Monléon, M., Reysset, B., Russo, L., Vergès, P. (2009). ONERC Report to the Prime Minister and Parliament: Climate change - Costs of impacts and lines of adaptation, November 2009. ONERC, National Observatory for the Impacts of Global Warming, Paris, France.
- Gehrig, R. (2006). The influence of the hot and dry summer 2003 on the pollen season in Switzerland. *Aerobiologia*, 22, 27-34.
- Gehrig-Fasel, J., Guisan, A., Zimmermann, N.E. (2007). Tree line shifts in the Swiss Alps: climate change or land abandonment?. *Journal of Vegetation Science*, 18, 571-582.
- Giddings, B., Hopwood, B., O'Brien, G. (2002). Environment, economy and society: fitting them together into sustainable development. *Sustainable Development*, 10, 187-196.
- Gienapp, P., Teplitsky, C., Alho, J.S., Mills, J.A., Merilä, J. (2008). Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. *Molecular Ecology*, 17, 167-178.
- Gobbi, M., Fontaneto, D., De Bernardi, F. (2006). Influence of climate changes on animal communities in space and time: the case of spider assemblages along an alpine glacier foreland. *Global Change Biology*, 12, 1985-1992.
- Gobbi, M., Rossaro, B., Vater, A., De Bernardi, F., Pelfini, M., Brandmayr, P. (2007). Environmental features influencing Carabid beetle (Coleoptera) assemblages along a recently deglaciated area in the Alpine region. *Ecological Entomology*, 32, 682-689.
- Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barancok, P., Alonso, J.L.B., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Calzado, M.R.F., Kazakis, G., Krajci, J., Larsson, P., Malluan, M., Michelsen, O., Moiseev, D., Moiseev, P., Molau, U., Merzouki, A., Nagy, L., Nakhutsrishvili, G., Pedersen, B., Pelino, G., Puscas, M., Villar, L., Vittoz, P., Vogiatzakis, I., Grabherr, G. (2012). Continent-wide responses of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*, 2, 111-115.
- Gratani, L., Varone, L., Crescente, M.F. (2009). Photosynthetic activity and water use efficiency of dune species: the influence of air temperature on functioning. *Photosynthetica*, 47, 575-585.
- Gratz, N. (2004). Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Medical and Veterinary Entomology*, 18, 215-227.

- Guglielmin, M. (2004). Observations on permafrost ground thermal regimes from Antarctica and the Italian Alps, and their relevance to global climate change. *Global and Planetary Change*, 40, 159-167.
- Gustin, M., Brambilla, M., Celada, C., eds. (2010). Valutazione dello stato di conservazione dell'avifauna italiana. Volume I. Non-Passeriformes. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Lega Italiana Protezione Uccelli (LIPU).
- Hansen, L.J., Biringer, J.L., Hoffman, J.R., eds. (2003). *Buying time, a user's manual for building resistance and resilience to climate change in natural systems*, WWF International.
- Harris, C., Arenson, L.U., Christiansen, H.H., Etzelmüller, B., Frauenfelder, R., Gruber, S., Haeberli, W., Hauck, C., Hölzle, M., Humlum, O., Isaksen, K., Kääh, A., Kern-Lütsch, M.A., Lehning, M., Matsuoaka, N., Murton, J.B., Nötzli, J., Phillips, M., Ross, N., Seppälä, M., Springman, S.M., Vonder Mühl, D. (2009). Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. *Earth-Science Review*, 92, 117-171.
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Virkkala, R., Pearson, R.G., Körber, J.H. (2007). Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography* 16, 754-763.
- Hellmann, J.J., Byers, J.E., Bierwagen, B.G., Dukes J.S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology* 22, 534-543.
- Hickler, T., Vohland, K., Feehan, J., Miller, P.A., Smith, B., Costa, L., Giesecke, T., Fronzek, S., Carter, T.R., Cramer, W., Kühn, I., Sykes, M.T. (2012). Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 50-63.
- Hickler, T., Vohland, K., Costa, L., Miller, P., Smith, B., Feehan, J., Kühn, I., Cramer, W., Sykes, M. (2010). Vegetation on the move: where do conservation strategies have to be re-defined. In: *Atlas of Biodiversity Risk - from Europe to the globe, from stories to maps* (Settele, J., Penev, L., Georgiev, T., Grabaum, R., Grobelnik, V., Hammen, V., Klotz, S., Kühn, I., eds.), 238 - 239. Pensoft.
- Hickling, R., Roy, D.B., Hill, J.K., Fox, R., Thomas, C.D. (2006). The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*, 12, 450-455.
- Hódar, J.A., Zamora, R. (2003) Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation*, 110, 123-129.
- Hoffmann, A.A., Sgrò, C.M. (2011). Climate change and evolutionary adaptation. *Nature*, 470, 479-485.
- Hughes, L. (2000). Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 56-61.
- Huntley, B., Baxter, R. (2003). Insights on Synergies: Models and Methods. In: *Climate Change and Biodiversity: Synergistic Impacts* (Hannah, J.L., Lovejoy, T.E., eds.). Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International, 4, 15-23. Washington.
- Imeson, A.C (1995). The physical, chemical and biological degradation of the soil. In: *Desertification in a European context: physical and socio-economic aspects*. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course, El Campello, Pueblo Acanilado, Alicante, Spain, from 6 to 13 October 1993 (Fantechi, R., Peter, D., Balabanis, D., Rubio, J.L, eds.), 153-168. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation.
- Incerti, G., Feoli, E., Giovacchini, A., Salvati, L., Brunetti, A. (2007). Analysis of bioclimatic time series and their neural network-based classification to characterize drought risk patterns in south Italy. *International Journal of Biometeorology*, 51, 253-263.

- IPCC (2007a). Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996.
- IPCC (2007b). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Parry, M.L. Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden P.J., Hanson, C.E., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976.
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2012). Qualità dell'ambiente urbano. VIII Rapporto. ISPRA, Roma.
- Jacob, D. J., Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43, 51- 63.
- Jacobson, A.R., Provenzale, A., von Hardenberg, A., Bassano, B., Festa-Bianchet, M. (2004). Climate forcing and density dependence in a mountain ungulate population. *Ecology*, 85, 1598-1610.
- Jenni, L., Kéry, M. (2003). Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proceedings of the Royal Society B - Biological Sciences*, 270, 1467-1471.
- Jump, A.S., Peñuelas, J. (2005). Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters*, 8, 1010-1020.
- Keller, R.P., Geist, J., Jeschke, J.M., Kühn, I. (2011). Invasive species in Europe: ecology, status, and policy. *Environmental Sciences Europe*, 23, 23.
- Klausmeyer, K.R., Shaw, M.R. (2009). Climate Change, Habitat Loss, Protected Areas and the Climate Adaptation Potential of Species in Mediterranean Ecosystems Worldwide. *Plos ONE* 4,7, e6392.
- Kley, D., Kleinmann, M., Sanderman, H., Krupa, S. (1999). Photochemical oxidants: state of the science. *Environmental Pollution*, 100, 19-42.
- Knudsen, A.B., Romi, R., Majori, G. (1996). Occurrence and spread in Italy of *Aedes albopictus*, with implications for its introduction into other parts of Europe. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 12, 177-183.
- Knudsen, E., Lindén, A., Both, C., Jonzén, N., Pulido, F., Saino, N., Sutherland, W.J., Bach, L.A., Coppack, T., Ergon, T., Gienapp, P., Gill, J.A., Gordo, O., Hedenström, A., Lehikoinen, E., Marra, P.P., Møller, A.P., Nilsson, A.L.K., Péron, G., Ranta, E., Rubolini, D., Sparks, T.H., Spina, F., Studds, C.E., Sæther, S.A., Tryjanowski, P., Stenseth, N.C. (2011). Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews*, 86, 928-946.
- Körner, C. (1999). *Alpine Plant Life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*, 338. Springer, Berlin, Heidelberg.
- IUCN - International Union for Conservation of Nature (2013). IUCN Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Adopted by SSC Steering Committee at Meeting SC 4, 6, 5th September 2012. IUCN Species Survival Commission.
- Leemans R., van Vliet A. (2004). Extreme weather: Does nature keep up? Observed responses of species and ecosystems to changes in climate and extreme weather events: many more reasons for concern. WWF and Wageningen University, The Netherlands. .
- Leonelli, G., Pelfini, M., Morra di Cella, U., Garavaglia, V. (2011). Climate warming and the recent treeline shift in the European Alps: the role of geomorphological factors in high-altitude sites. *Ambio*, 40, 264-273.

- Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C.J.P., Murdiyarsa, D., Santoso, H. (2008). Facing an uncertain future: how forests and people can adapt to climate change. Forest Perspectives No. 5, Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia.
- Lugato, E., Ding, H., Nunes, P. (2009). A tentative valuation of the linkages between Climate change, biodiversity and the productivity of European agro-ecosystems. Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), Milano, Italia.
- Macleod, I.M.D., Wilson, R.J. (2011). Recent ecological responses to climate change support predictions of high extinction risk. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108, 12337-12342.
- Maiorano, L., Amori, G., Capula, M., Falcucci, A., Masi, M., Montemaggiore, A., Pottier, J., Psomas, A., Rondinini, C., Russo, D., Zimmermann, N.E., Boitani, L., Guisan, A. (2013). Threats from Climate Change to Terrestrial Vertebrate Hotspots in Europe. PLOS ONE, 8, 9, 1-14.
- Maiorano, L., Falcucci, A., Boitani, L. (2006). Gap analysis of terrestrial vertebrates in Italy: priorities for conservation planning in a human dominated landscape. Biological Conservation, 133, 455-473.
- Maistrello, L., Lombroso, L., Pedroni, E., Reggiani, A., Vanin, S. (2006). Summer raids of *Arocatus melanocephalus* (Heteroptera, Lygaeidae) in urban buildings in Northern Italy: Is climate change to blame?. Journal of Thermal Biology, 31, 594-598.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Meleux, F., Solmon, F., Giorgi, F. (2007). Increase in European summer ozone amounts due to climate change. Atmospheric Environment, 41, 7577-7587.
- Metzger, M.J., Leemans, R., Schröter, D., Cramer, W., ATEAM consortium (2004). The ATEAM vulnerability mapping tool. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 27. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology e Resource Conservation (PE&RC), Wageningen University, The Netherlands.
- Miglietta, F., Giuntoli, A., Bindi, M. (1996). The effect of free carbon dioxide enrichment (FACE) and soil nitrogen availability on the photosynthetic capacity of wheat. Photosynthesis Research, 47, 281-290.
- Mignatti, A., Casagrandi, R., Provenzale, A., von Hardenberg, A., Gatto, M., (2012). Sex- and age-structured models for Alpine ibex *Capra ibex ibex* population dynamics. Wildlife Biology, 18, 318-332.
- Møller, A.P., Saino, N., Adamak, P., Ambrosini, R., Antonov, A., Campobello, D., Stokke, B.G., Fossøy, F., Lehikoinen, E., Martin-Vivaldi, M., Moksnes, A., Moskat, C., Røskoft, E., Rubolini, D., Schulze-Hagen, K., Soler, M., Shykoff, J.A. (2011). Rapid change in host use of the common cuckoo *Cuculus canorus* linked to climate change. Proceedings of the Royal Society B, 278, 733-738.
- Mondoni, A., Rossi, G., Orsenigo, S., Probert, R.J. (2012). Climate warming could shift the timing of seed germination in alpine plants. Annals of Botany, 110, 155-164.
- Montanarella, L. (2007). Trend in land degradation in Europe. Climate and Land Degradation, Environmental Science and Engineering, 83-104.
- Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmquist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., Mace, G.M., Palmer, M., Scholes, R., Yahara, T. (2009). Biodiversity, climate change, and ecosystem services. Current Opinion in Environmental Sustainability, 1, 46-54.
- Mori, E., Sforzi, A., Di Febbraro, M. (2013). From the Apennines to the Alps: recent range expansion of the crested porcupine *Hystrix cristata* L., 1758 (Mammalia: Rodentia: Hystricidae) in Italy. Italian Journal of Zoology, 80, 469-480.

- Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, L., Corte-Real, J. (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research*, 31, 85-95.
- Motta, R., Nola, P. (2001). Growth trends and dynamics in sub-alpine forest stands in the Varaita Valley (Piedmont, Italy) and their relationships with human activities and global change. *Journal of Vegetation Science*, 12, 219-230.
- Myers-Smith, I.H., Forbes, B.C., Wilmsking, M., Hallinger, M., Lantz, T., Blok, D., Tape, K.D., Macias-Fauria, M., Sass-Klaassen, U., Lévesque, E., Boudreau, S., Ropars, P., Hermanutz, L., Trant, A., Siegwart Collier, L., Weijers, S., Rozema, J., Rayback, S.A., Martin Schmidt, N., Schaepman-Strub, G., Wipf, S., Rixen, C., Ménard, C.B., Venn, S., Goetz, S., Andreu-Hayles, L., Elmendorf, S., Ravolainen, V., Welker, J., Grogan, P., Epstein, H.E., Hik, D.S. (2011). Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters*, 6, 4, 045509.
- Neveu, A. (2009). Incidence of climate on common frog breeding: Long-term and short-term changes. *Acta Oecologica*, 35, 671-678.
- Nogués Bravo, D., Araújo, M.B., Lasanta, T., Moreno, J.I.L. (2008). Climate change in Mediterranean mountains during the 21<sup>st</sup> century. *Ambio*, 37, 280-285.
- OECC, CENEAM (2008). PNACC The Spanish National Climate Change Adaptation Plan. Gobierno De España, Ministerio De Medio Ambiente Y Medio Rural Y Marino, Madrid, Spain.
- Ogaya, R., Peñuelas, J. (2003). Comparative field study of *Quercus ilex* and *Phillyrealatifolia*: photosynthetic response to experimental drought conditions. *Environmental Experiment Botany*, 50, 137-148.
- Ohlemüller, R., Anderson, B.J., Araújo, M.B., Butchart, S.H.M., Kudrna, O., Ridgely, R.S., Thomas, C.D. (2008). The coincidence of climatic and species rarity: High risk to small-range species from climate change. *Biology Letters*, 4, 568-572.
- Opdam P., Wascher, D. (2004). Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, 117, 285-297
- Ott, J. (2001). Expansion of Mediterranean Odonata in Germany and Europe - consequences of climatic changes. In "Fingerprints" of Climate Change: adapted behaviour and shifting species ranges (Walther, G.-R., Burga, C.A., Edwards, P.J., eds.), 89-111. Kluwer Academic Publishers, New York,.
- Ott, J. (2010a). Dragonflies and climatic change - recent trends in Germany and Europe. In: Monitoring climatic change with dragonflies (Ott, J., ed.). Pensoft, Sofia - Moscow, 253-286.
- Ott, J., ed. (2010b). Monitoring climatic change with dragonflies. Pensoft, Sofia - Moscow.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 37, 637-669.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A., Warren, M. (1999). Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399, 579-583.
- Parmesan, C., Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.
- Parolo, G., Rossi, G. (2008). Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic and Applied Ecology*, 9, 100-107.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Alonso, J.L.B., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Cakdazo, R.F., Ghosn, D., Holtenm J.I., Kanka, R., Kazakis, G., Kollar, J., Larsson, P., Moiseev, P., Moiseev, D., Molau, U.,

- Mesa, J.M., Nagy, L., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Syverhuset, A.O., Theurillat, J.P., Tomaselli, M., Unterluggauer, P., Villar, L., Vittoz, P., Grabherr, G. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science*, 336, 353-355.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C., Grabherr, G. (2007). Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology*, 13, 147-156.
- Pearman, P.B., D'Amen, M., Graham, C.H., Thuiller, W., Zimmermann, N.E. (2010). Within-taxon niche structure: Niche conservatism, divergence and predicted effects of climate change. *Ecography*, 33, 990-1003.
- Petriccione, B. (2005). Biodiversity state and monitoring of some protected forests in Italy (Forest Ecosystems Monitoring Programme CONECOFOR). *Environmental Encounters Series*, 57; 81-84.
- Pettorelli, N., Pelletier, F., Achaz von, H., Festa-Bianchet, M., Côté, S.D. (2007). Early onset of vegetation growth vs. rapid green-up: impacts on juvenile mountain ungulates. *Ecology*, 88, 381-390.
- Pfäffle, M., Petney, T., Skuballa, J., Taraschewski, H. (2011). Comparative population dynamics of a generalist (*Ixodes ricinus*) and specialist tick (*I. hexagonus*) species from European hedgehogs. *Experimental and Applied Acarology*, 54, 151-164.
- Phillimore, A.B., Hadfield, J.D., Jones, O.R., Smithers, R.J. (2010). Differences in spawning date between populations of common frog reveal local adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 8292-8297.
- Phoenix, G.K., Hicks, W.K., Cinderby, S., Kuylenstierna, J.C.I., Stock, W.D., Dentener, F.J., Giller, K.E., Austin, A.T., Lefroy, R.D.B., Gimeno, B.S., Ashmore, M.R., Ineson, P. (2006). Atmospheric nitrogen deposition in world biodiversity hotspots: the need for a greater global perspective in assessing N deposition impacts. *Global Change Biology*, 12, 470-476.
- Piermattei, A., Renzaglia, F., Urbinati, C. (2012). Recent expansion of *Pinus nigra* Arn. above the timberline in the central Apennines, Italy. *Annals of Forest Science*, 69, 509-517.
- Pimm, S.L., Raven, P. (2000). Biodiversity: extinction by numbers. *Nature* 403, 843-845.
- Piovani, P., Leonardi, S., Piotti, A., Menozzi, P. (2010). Conservation genetics of small relict populations of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the northern Apennines. *Plant Biosystems*, 144, 683-691.
- Pounds, J.A., Fogden, M.P.L., Campbell, J.H. (1999). Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, 398, 611-615.
- Prieto, P., Peñuelas, J., Llusà, J., Asensio, D., Estiarte, M. (2009). Effects of experimental warming and drought on biomass accumulation in a Mediterranean shrubland. *Plant Ecology*, 205, 179-191.
- Provenzale, A. (2008). Impatto della variabilità climatica ed ambientale e della gestione dei pascoli montani sulla dinamica di popolazione di galliformi alpini come indicatori dell'evoluzione di utilizzazione degli alpeggi. ISAC-CNR, Regione Piemonte, Torino.
- Puppi, G., Ubaldi, D., Zanotti, A.L. (2012). Variazioni floristiche e fenologiche in fitocenosi climatico-zonali del territorio Bolognese nell'ultimo trentennio. In: Atti del Convegno "Cambiamento climatico: analisi ed impatti su specie ed ecosistemi vegetali" (Cannone, N., Barni, E., Marignani, M., eds.). Gruppo di Ecologia della Società Botanica Italiana, Varese, 18 Aprile 2012, 87..

- Ranci Ortigosa G., Antonelli R., Gatto M. (2003). Influenza dell'ambiente naturale e antropizzato sulla demografia del fagiano di monte (*Tetrao tetrix*) in Trentino. In: Atti del XIII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia (Como, 8-10 settembre 2003) (Casagrandi, R., Melià, P., eds.) Aracne, Roma..
- Randolph, S.E., Rogers, D.J. (2010) The arrival, establishment and spread of exotic diseases: patterns and predictions. *Nature Reviews Microbiology*, 8, 361-371.
- Reading, C.J. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151, 125-131.
- Renaut, J., Bohler, S., Hausman, J.F., Hoffmann, L., Sergeant, K., Ahsan, N., Jolivet, Y., Dizengremel, P. (2009). The impact of atmospheric composition on plants: a case study of ozone and poplar. *Mass Spectrometry Reviews*, 28(3), 495-516.
- Revermann, R., Schmid, H., Zbinden, N., Spaar, R., Schroder, B. (2012). Habitat at the mountain tops: how long can Rock Ptarmigan (*Lagopusmutahelvetica*) survive rapid climate change in the Swiss Alps? A multi-scale approach. *Journal of Ornithology*, 153, 891-905.
- Rezza, G., Nicoletti, L., Angelini, R., Romi, R., Finarelli, A.C., Panning, M., Cordioli, P., Fortuna, C., Boros, S., Magurano, F., Silvi, G., Angelini, P., Dottori, M., Ciufolini, M.G., Majori, G.C., Casone, A., CHIKV study group (2007): Infection with Chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *The Lancet*, 370, 1840-1846.
- Riera, P., Peñuelas, J., Farreras, V., Estiarte, M. (2007). Valuation of climate change effects on Mediterranean shrublands. *Ecological Applications*, 17, 91-100.
- Rizzoli, A., Hauffe, H.C., Carpi, G., Vourc'h, G.I., Neteler, M., Rosà, R. (2011). Lyme borreliosis in Europe. *Eurosurveillance*, 16, 27, 19906.
- Roiz, D., Neteler, M., Castellani, C., Arnoldi, D., Rizzoli, A. (2011). Climatic Factors Driving Invasion of the Tiger Mosquito (*Aedesalbopictus*) into New Areas of Trentino, Northern Italy. *PLoS ONE*, 6, e14800.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., Pounds, J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421, 57-60.
- Romi, R., Toma, L., Severini, F., Di Luca, M. (2008). Twenty years of the presence of *Aedesalbopictus* in Italy - From the annoying pest mosquito to the real disease vector. *European Infectious Diseases*, 2, 98-101.
- Roy, D.B., Sparks, T.H. (2000). Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biology*, 6, 407-416.
- Rossi, G., Amosso, C., Orsenigo, S., Abeli, T. (2013a). Linee Guida per la traslocazione di specie vegetali spontanee. (Quaderni) Conservazione della Natura, 28, MATTM - Istituto Superiore della Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma.
- Rossi, G., Montagnani, C., Gargano, D., Peruzzi, L., Abeli, T., Ravera, S., Cogoni, A., Fenu, G., Magrini, S., Gennai, M., Foggi, B., Wagensommer, R.P., Venturella, G., Blasi, C., Raimondo, F.M., Orsenigo, S., eds. (2013b). Lista Rossa della Flora Italiana. 1. Policy Species e altre specie minacciate. Comitato Italiano IUCN, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Federparchi.
- Rossi, G., Bonomi, C., Bedini, G. (2006). Conservazione *ex situ* della flora spontanea Italian: RIBES, una nuova iniziativa nazionale. *Informatore Botanico Italiano*, 8, 236-247.
- Rubolini, D., Møller, A.P., Rainio, K., Lehikoinen, E. (2007). Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Climate Research*, 35, 135-146.
- Sagoff, M. (2011). The quantification and valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 70, 497-502.

- Saino, N., Ambrosini, R., Rubolini, D., Von Hardenberg, J., Provenzale, A., Hüppop, K., Hüppop, O., Lehikoinen, A., Lehikoinen, E., Rainio, K., Romano, M., Sokolov, L. (2011). Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278, 835-842.
- Saino, N., Rubolini, D., Lehikoinen, E., Sokolov, L.V., Bonisoli-Alquati, A., Ambrosini, R., Boncoraglio, G., Møller, A.P. (2009).: Climate change effects on migration phenology may mismatch brood parasitic cuckoos and their hosts. *Biology Letters*, 5, 539-541.
- Saino, N., Szep, T., Romano, M., Rubolini, D., Spina, F., Møller, A.P. (2004). Ecological conditions during winter predict arrival date at the breeding quarters in a trans-Saharan migratory bird. *Ecology Letters*, 7, 21-25.
- Sala, O.E., Chapin, F.S. III, Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Salvati, L., Bajocco, S. (2011). Land sensitivity to desertification across Italy: past, present and future. *Applied Geography*, 31, 223-231.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei C., Häberli, C., Liniger, M., Appenzeller, C. (2004) The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332-336.
- Schneider S., Sarukhan, J., Adejuwon, J., Azar, C., Baethgen, W., Hope, C., Moss, R., Leary, N., Richels, R., van Ypersele, J.P. (2001). Overview of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change. In: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S., eds.), 75-103. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Scott, W.A., Pithart, D., Adamson, J.K. (2008). Long-term United Kingdom trends in the breeding phenology of the common frog, *Rana temporaria*. *Journal of Herpetology*, 42, 89-96.
- Shoo, L.P., Olson, D.H., McMenamin, S.K., Murray, K.A., Van Sluys, M., Donnelly, M.A., Stratford, D., Terhivo, J., Merino-Viteri, A., Herbert, S.M., Bishop, P.J., Corn, P.S., Dovey, L., Griffiths, R.A., Lowe, K., Mahony, M., McCallum, H., Shuker, J.D., Simkins, C., Skerratt, L.F., Williams, S.E., Hero, J.M. (2011). Engineering a future for amphibians under climate change. *Journal of Applied Ecology*, 2, 487-492.
- Siniscalco, C., Barni, E., Bacaro, G. (2011). Non-native species distribution along the elevation gradient in the western Italian Alps. *Plant Biosystems*, 145, 150-158.
- Stanisci, A., Pelino, G., Blasi, C. (2005). Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy). *Biodiversity and Conservation*, 14, 1301-1318.
- Stefanescu, C., Peñuelas, J., Filella, I. (2003). Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology*, 9, 1494-1506.
- Szpunar, G., Aloise, G., Mazzotti, S., Nieder, L., Cristaldi, M. (2008). Effects of global climate change on terrestrial small mammal communities in Italy. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17, 1526-1533.
- Talmon, Y., Sternberg, M., Grunzweig, J.M. (2011). Impact of rainfall manipulations and biotic controls on soil respiration in Mediterranean and desert ecosystems along an aridity gradient. *Global Change Biology*, 17, 1108-1118.
- Taylor, L.H., Latham, S.M., Woolhouse, M.E. (2001). Risk factors for human disease emergence. *Philosophical Transactions Royal Society London B*, 356, 983-989.
- Theurillat, J.P., Guisan, A. (2001). Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climatic Change*, 50, 77-109.

- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., De Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Peterson, A.T., Phillips, O.L., Williams, S.E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427,145-148.
- Thomas, C.D. (2010). Climate, climate change and range boundaries. *Diversity and Distributions*, 16, 488-495.
- Thuiller, W. (2007). Biodiversity: climate change and the ecologist. *Nature*, 448, 550-552.
- Thuiller, W., Lavergne, S., Roquet, C., Boulangeat, I., Lafourcade, B., Araújo, M.B. (2011). Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature*, 470, 531-534.
- Todisco, V., Gratton, P., Cesaroni, D., Sbordoni, V. (2010). Phylogeography of *Parnassiusapollo*: Hints on taxonomy and conservation of a vulnerable glacial butterfly invader. *Biological Journal of the Linnean Society*, 101, 169-183.
- Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N., Marcomini, A. (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainable Science*, 3, 45-65.
- UFAM - Ufficio federale dell'ambiente (2012a). Strategia Biodiversità Svizzera. Confederazione Svizzera, UFAM. Disponibile su: <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/26993.pdf>.
- UFAM - Ufficio federale dell'ambiente (2012b). Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici in Svizzera - Sfide, obiettivi e campi d'azione. Confederazione Svizzera, UFAM.
- Underwood, E.C., Viers, J.H., Klausmeyer, K.R., Cox, R.L., Shaw, M.R. 2009. Threats and biodiversity in the mediterranean biome. *Diversity and Distributions*, 15, 188-197.
- Vettrano, A.M., Barzanti, G.P., Bianco, M.C., Ragazzi, A., Capretti, P., Paoletti, E., Luisi, N., Anselmi, N., Vannini, A. (2002). Occurrence of *Phytophthora* species in oak stands in Italy and their association with declining oak trees. *Forest Pathology*, 32, 19-28.
- Visser, M.E. (2008). Keeping up with a warming world; assessing the rate of adaptation to climate change. *Proceedings of the Royal Society B*, 275, 649-659.
- Viterbi, R., Cerrato, C., Bassano, B., Bionda, R., von Hardenberg, A., Provenzale, A., Bogliani, G. (2013). Patterns of biodiversity in the northwestern Italian Alps: a multi-taxa approach. *Community Ecology*, 14, 18-30.
- Wainger, L.A., King, D.M., Mack, R.N., Price, E.W., Maslin T. (2010). Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions?. *Ecological Economics*, 69, 978-987.
- Walther, B.A., Van Niekerk, A., Rahbek, C. (2011). Long-term population declines of Palearctic passerine migrant birds: a signal from the Sahel?. *BOU Proceedings - The Ecology & Conservation of Migratory Bird*, 17<sup>th</sup> meeting of the Scientific Council of the Convention on Migratory Species (CMS), Bergen, Norway, 17-18 November. British Ornithologists' Union, UK.
- Walther, G.-R., Beißner, S., Burga, C. (2005). Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science*, 16, 541-548.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein F. (2002). Ecological response to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- Walther, G.-R. (2003). Plants in a warmer world. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6, 169-185.
- Walzer, C., Kowalczyk, C., Alexander, J.M., Baur, B., Bogliani, G., Brun, J.-J., Füreder, L., Guth, M.-O., Haller, R., Holderegger, R., Kohler, Y., Kueffer, C., Righetti, A., Spar, R., Sutherland, W. J., Ullrich-Schneider, A., Vanpeene-Bruhier, S.N., Scheure, T. (2013). The 50 most Important Questions relating to the Maintenance and Restoration of an Ecological Continuum in the European Alps. *PLoS ONE* 01/2013, 8, 1), e53139.

Wipf, S., Rixen, C., (2010). "A review of snow manipulation experiments in Arctic and alpine tundra ecosystems". *Polar Research*, 29, 95-109.

Wöss, M., Zeiler, H. (2003). Building projects in Black Grouse habitats - assessment guidelines. *Sylvia*, 39, 87-96.

# Ecosistemi marini

## Sintesi

I cambiamenti climatici sono una realtà e il risultato di attività umane che rilasciano annualmente miliardi di tonnellate di carbonio nell'atmosfera. Le dirette conseguenze di tali immissioni di carbonio, iniziate con l'era industriale, includono: l'aumento della variabilità di tutti i processi che interessano l'ambiente marino; l'aumento della stratificazione delle masse d'acqua che potrebbe ridurre la connessione tra ambienti profondi e costieri con alterazione dei cicli biogeochimici; l'alterazione della produzione primaria e della produzione di risorse alieutiche; il cambiamento nella struttura e distribuzione di comunità planctoniche e bentoniche marine costiere e profonde; l'alterazione dei cicli vitali e riproduttivi delle specie di vertebrati ed invertebrati marini con aumento della loro vulnerabilità e dei tassi di estinzione, la modifica della fenologia di tutte le specie animali, vegetali e microbiche; l'alterazione delle reti trofiche marine dovuta ad alterazioni nella sincronizzazione dei processi di produzione e consumo; l'alterazione della distribuzione e degli effetti dei contaminanti e dell'impatto dell'inquinamento; la diminuita capacità di contrastare l'ingresso di specie non indigene; l'aumento di fenomeni epidemiologici a carico degli organismi marini ed il mancato soddisfacimento dei requisiti ambientali per specie non preadattate alle modificazioni climatiche intercorse. I fenomeni epidemiologici si riferiscono a patogeni soltanto, ma una specie ad affinità fredda può "morire dal caldo".

Bisogna sottolineare che i processi legati ai cambiamenti climatici interagiscono con altri disturbi antropici e tendono ad esacerbare gli effetti, con conseguenze poco prevedibili e difficili da gestire. In questo contesto, diventa prioritario migliorare lo stato e la resilienza dei sistemi marini con grande attenzione ai sistemi socio-economici ad essi associati.

Il riscaldamento globale è in grado di alterare profondamente l'integrità degli ecosistemi marini in termini sia di diversità sia di funzionamento. Le variazioni climatiche influenzano tutti i livelli dell'organizzazione ecologica e sono stati osservati cambiamenti nei singoli individui, nelle popolazioni e nelle comunità, oltre che nella struttura e funzionamento degli ecosistemi. I cambiamenti globali, come l'aumento della temperatura, l'acidificazione degli oceani e l'introduzione di specie aliene, diminuiscono la resilienza degli ecosistemi marini: ciò suggerisce la necessità di opportune strategie per la gestione sostenibile delle risorse anche al fine di limitare l'impatto dei cambiamenti climatici sui beni e servizi ecosistemici. La vulnerabilità è la probabilità che una certa componente dell'ecosistema (specie/popolazione/habitat/paesaggio) sia esposta a variazioni a cui è sensibile. È ovvio che la sensibilità, a qualsiasi livello, dipende dalle caratteristiche biologiche dell'elemento stesso, mentre la vulnerabilità dipende dal rapporto tra caratteristiche biologiche e le caratteristiche della variazione (frequenza, intensità, durata, ampiezza ecc.). Per poter affrontare il tema della vulnerabilità degli ecosistemi marini ai cambiamenti globali è importante: (i) identificare specie chiave nei diversi sistemi e le fasi del ciclo vitale ritenute più suscettibili alle condizioni soggette a cambiamento, e (ii) includere nell'analisi le

interazioni fra le diverse specie e le diverse componenti del sistema sotto indagine. Un approccio combinato che utilizzi studi descrittivi condotti ad un'ampia scala spaziale, studi sperimentali e modelli che incorporino budget energetici possono quindi meglio identificare le condizioni abiotiche in grado di influenzare in modo rilevante processi ecologici chiave. Studi condotti su scala pluridecennale nel Nord Adriatico hanno messo in evidenza: il riscaldamento delle acque superficiali a scala regionale; un decremento significativo degli apporti fluviali dovuto alla riduzione delle precipitazioni; un aumento evidente della salinità superficiale; un aumento degli apporti fluviali di azoto ed una riduzione degli apporti di fosforo, determinati entrambi dalla legge italiana, che hanno causato un aumento del rapporto N/P; un'acidificazione delle acque più dense dovuto all'aumento della CO<sub>2</sub> atmosferica. Questi cambiamenti hanno determinato: 1) la riduzione dell'abbondanza del fitoplancton ed un aumento percentuale delle forme più piccole, 2) una riduzione dell'intensità e della frequenza delle fioriture invernali a diatomee, 3) una drastica riduzione dei tintinnidi<sup>75</sup> senza però che l'abbondanza totale del microzooplancton ne risenta, ed un aumento della biodiversità, 4) un aumento del mesozooplancton 5) un miglioramento del macrobenthos in aree prima pesantemente impattate dall'eutrofizzazione (ed anossia), 6) un trend in diminuzione sia dei pesci demersali che dei piccoli pelagici, 7) una generale riduzione del livello trofico medio delle comunità ittiche. Sistemi marini diversi (dai sistemi di transizione alle zone costiere, fino agli ecosistemi profondi) rispondono in modo diverso ai cambiamenti globali in quanto mostrano una differente vulnerabilità. Si ritiene che i cambiamenti indotti dal riscaldamento globale e dall'acidificazione degli oceani possano avere importanti conseguenze dirette/indirette sugli ecosistemi marini e sulla vita umana. Tutti gli habitat marini (costieri, di mare aperto e di acque profonde) forniscono beni e servizi essenziali per il benessere umano. Allo stato attuale, è evidente che diversi ecosistemi si stanno degradando e stanno perdendo una frazione importante della loro produzione di beni e servizi. Una stima precisa dei costi di questa perdita è molto difficile ma si stima che in alcune zone costiere gli habitat marini abbiano perso dal 30 al 50% dei prodotti e servizi che sono in grado di offrire. Come per gli ambienti terrestri, la biodiversità marina è influenzata negativamente da una serie di attività antropiche che nello specifico possono essere riassunte nella pesca non regolamentata, la alterazione e distruzione degli habitat e l'inquinamento. I cambiamenti climatici possono contribuire ad ampliare tali impatti sulla biodiversità marina. In particolare per il Mediterraneo, il riscaldamento globale ha portato verso una tropicalizzazione che sembra preludere ad una diminuzione delle specie autoctone ad affinità fredda. La *Posidonia oceanica*, al contrario, sembra essere positivamente influenzata dal riscaldamento globale mostrando, in tempi recenti, fenomeni di fioriture, produzione di frutti ed eventi di germinazione. Tuttavia le praterie di *Posidonia oceanica* risultano essere in forte regressione principalmente a causa dell'impatto antropico diretto. I cambiamenti nella distribuzione e nella struttura della comunità di specie marine possono effettivamente incidere sulle attività di pesca (sia quella commerciale che ricreativa) e possono avere un forte impatto

---

<sup>75</sup> Ordine di protozoi ciliati spirotrichi, quasi tutti marini, con citosoma contenuto in una caratteristica teca a forma di bicchierino, costituita di una sostanza gelatinosa o pseudo-chitinoso. Sono gli unici ciliati di cui si conoscono fossili.

socio-economico sulle comunità costiere. Le risorse ittiche sono già state ampiamente sfruttate ed i cambiamenti climatici possono contribuire alla ulteriore diminuzione degli stock. Alcune evidenze suggeriscono che il sovrasfruttamento delle risorse ittiche ha portato ad un incremento notevole dell'abbondanza delle meduse su scala globale. Meduse e pesci interagiscono tra loro essendo predatori e competitori dell'altro. La rimozione di specie di grandi pesci, a causa dell'overfishing, crea nuovi spazi ecologici per le meduse che possono trarne vantaggio per una crescita massiva. L'impatto attuale del cambiamento globale sugli oceani suggerisce l'urgenza di ridurre al minimo le emissioni di gas responsabili del riscaldamento globale e la necessità di sviluppare strategie di conservazione delle risorse. Se consideriamo che il 61% dei servizi ecosistemici deriva dagli ecosistemi costieri (gli ecosistemi profondi, nonostante la loro estensione, sono ancora esclusi dalla stima complessiva di beni e servizi forniti dagli ecosistemi marini), la necessità di una azione immediata per preservare lo sviluppo sostenibile dell'umanità non può essere ulteriormente ignorata.

## **Introduzione**

C'è una crescente consapevolezza che la Terra è sottoposta in questi anni a cambiamenti globali. Rimane tuttavia ancora del tutto ignoto se questi cambiamenti sono ciclici, stocastici, episodici oppure a lungo termine. Tra i vari aspetti dei cambiamenti globali, i cambiamenti climatici sono una realtà ed il risultato di attività umane che rilasciano annualmente miliardi di tonnellate di carbonio nell'atmosfera (IPCC, 2007; 2012; Hansen et al. 2007). Le dirette conseguenze di tali abbondanti immissioni di carbonio, iniziate con l'era industriale, includono l'aumento globale della temperatura, il cambiamento del clima anche a livello regionale, l'innalzamento del livello del mare, l'acidificazione degli oceani, la diminuzione della concentrazione di ossigeno in diverse aree oceaniche, il cambiamento della disponibilità dei nutrienti e l'alterazione della circolazione degli oceani (Brierley & Kingsford, 2009) (Figura 1.8). Assieme alle variazioni dell'intensità e della frequenza con cui possono verificarsi eventi ambientali e meteorologici normali, si può ipotizzare che i cambiamenti climatici siano in grado di determinare un aumento sostanziale (in frequenza ed intensità) di eventi estremi (quali ad esempio siccità, uragani ed inondazioni), eventualità che, sebbene progressivamente evidente a causa di fenomeni eccezionali quali l'uragano Katrina o la tempesta che ha colpito le coste orientali degli Stati Uniti nel novembre 2010, ad oggi è ancora ampiamente sottovalutata da gran parte di governi di tutto il mondo. Allo stesso modo, ad oggi è difficile prevedere se i cambiamenti climatici possano avere diversi effetti (cumulativi, sinergici o antagonisti) quando associati ad altre pressioni sugli ecosistemi marini, sul loro funzionamento, sulla loro biodiversità e sui beni e servizi che possono fornire. L'insieme dei beni e servizi rappresenta un importante contributo, sia diretto sia indiretto, al benessere umano e allo stesso valore economico dell'intero pianeta (Costanza et al., 1997). Di conseguenza, la perdita di beni e servizi ecosistemici ha importanti implicazioni sia sociali sia economiche.

L'attuale cambiamento climatico ha la potenzialità di alterare la dinamica degli oceani in tempi molto più rapidi dei cambiamenti che avvengono negli ecosistemi terrestri con effetti diversi nelle diverse aree del globo, in particolare lungo il gradiente latitudinale. Ad esempio, un'alterazione

delle correnti nel Nord-Atlantico, indotta dal riscaldamento delle acque superficiali, potrebbe avere conseguenze nel nord Europa più severe che nell'Atlantico stesso (Cunningham et al., 2007) suggerendo che gli effetti su scala regionale possono essere altrettanto importanti delle generalizzazioni del "riscaldamento globale" (Brierley & Kingsford, 2009). I mari posti alla stessa latitudine rispondono diversamente ai cambiamenti climatici in quanto essi differiscono ampiamente sia per le caratteristiche abiotiche (profondità, salinità e correnti) e sia per quelle biotiche (biogeografia, biodiversità e rete trofica; Philippart et al., 2011). Gli effetti del riscaldamento globale sono molto più evidenti nella regione artica, che, in questo momento storico, mostra una evidente e significativa riduzione dello spessore invernale del ghiaccio, addirittura più veloce di quanto previsto dai modelli previsionali (Stroeve et al., 2007). Inoltre bisogna considerare anche il fatto che la risposta ai cambiamenti climatici differisce nei differenti habitat marini (Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010; McGinty et al., 2011). Nel Mediterraneo, per la sua modesta estensione e la caratteristica di essere un mare semi-chiuso, i cambiamenti indotti dal riscaldamento globale possono provocare risposte a livello biologico più rapide rispetto a quanto riscontrato in altri sistemi su scala globale. Ad esempio, i cambiamenti della temperatura e della intensità delle precipitazioni hanno provocato importanti conseguenze nel biota mediterraneo (CIESM, 2008). Negli ultimi 50 anni, è aumentato il numero delle specie non indigene che, grazie all'apertura del canale di Suez, l'acquicoltura ed il trasporto su nave, sono entrate e si sono stabilite nel bacino mediterraneo influenzando le specie indigene (CIESM, 2002). E' infine da sottolineare che i processi legati ai cambiamenti climatici interagiscono con gli effetti di altri disturbi antropici e tendono ad esacerbare gli effetti, con conseguenze poco prevedibili e difficili da gestire. In questo contesto, diventa prioritario migliorare lo stato e la resilienza dei sistemi marini con grande attenzione ai sistemi socio-economici associati.

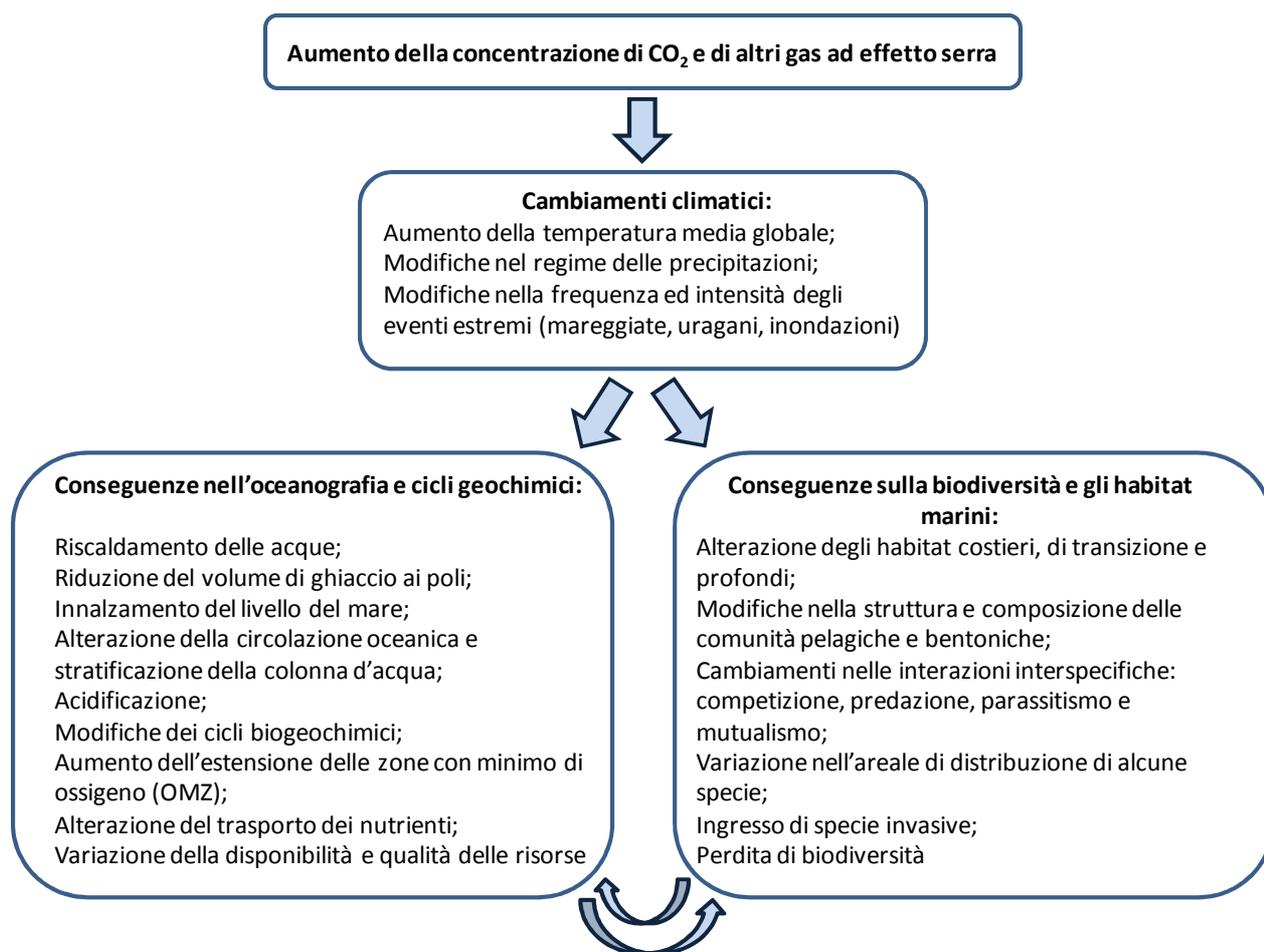


Figura 1.8: Uno schema semplificato delle interazioni tra cambiamenti climatici e cambiamenti negli ecosistemi marini.

## Impatto dei cambiamenti globali sugli ecosistemi marini

### Temperatura

Secondo il quarto rapporto di valutazione del Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC, 2007; 2012), nel secolo scorso la temperatura media superficiale dell'aria è aumentata di 0.74°C mentre la temperatura globale della superficie del mare è salita di 0.67°C (Trenberth et al., 2010). Nell'Adriatico settentrionale la temperatura media superficiale annuale è aumentata di 0.5° C negli ultimi 35 anni, ma con aumenti di 1.1° C in autunno (Conversi et al., 2010; Giani et al., 2012). I modelli climatici prevedono che l'effetto dei gas determinerà un aumento della temperatura dell'aria compreso tra 1.4 e 5.8°C entro la fine di questo secolo (IPCC, 2012). Nel corso degli ultimi 10-15 anni le temperature dell'acqua di mare si sono innalzate con una velocità mai registrata in precedenza. Le conseguenze dirette di questi aumenti della temperatura sono molteplici: la rapida riduzione della copertura di ghiaccio nell'Artico, la riduzione del volume di ghiaccio in Antartide, lo scioglimento dei ghiacciai, l'aumento del livello del mare, l'approfondimento dello strato più caldo della colonna d'acqua, l'aumento della frequenza di

eventi estremi come tempeste, precipitazioni intense ed uragani (Solomon et al., 2007; IPCC, 2007; Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010). Le variazioni di temperatura non riguardano solo le caratteristiche ambientali degli oceani (ad es. le correnti, la stratificazione della colonna d'acqua ed i cicli biogeochimici) ma anche la produzione primaria, i tassi metabolici degli organismi marini (McGowan et al., 1998), le dinamiche delle popolazioni con conseguenze sulla distribuzione anche biogeografica delle specie e, con il tempo, sulla struttura e funzionamento degli ecosistemi che contribuiscono a formare.

Le variazioni climatiche influenzano tutti i livelli dell'organizzazione ecologica e sono stati osservati cambiamenti nei singoli individui, nelle popolazioni (in termini sia di fenologia sia di distribuzione geografica) nelle comunità (composizione in specie e loro turnover nello spazio), oltre che nella struttura e funzionamento degli ecosistemi (McCarty, 2001).

La sensibilità ai cambiamenti climatici dipende anche dal fatto che le specie siano generaliste o specialiste termiche (Deutsch et al., 2008; Amarasekare & Savage, 2012; Gilchrist, 1995; Huey & Slatkin, 1976; Janzen, 1967; Huey & Kingsolver, 1993). Un dato aumento della temperatura corporea dovuto al riscaldamento ha solitamente un impatto maggiore su uno specialista termico che su un generalista termico. La sensibilità termica, sia negli ectotermi che negli endotermi, può variare di poco in base alle loro esperienze ambientali precedenti o recenti (Somero, 2010). Questa plasticità fisiologica viene detta acclimatamento (se avviene per effetti naturali) o acclimatazione (in laboratorio). Ad esempio, negli ectotermi, una improvvisa esposizione a temperature elevate può aumentare le prestazioni termiche a temperature più alte (Glanville & Seebacher, 2006; Leroi et al., 1994; Huey et al., 1999). Tale acclimatazione può fungere da "tampone fisiologico" in seguito ad un cambiamento climatico (Angilletta, 2009; Janzen, 1967; Somero, 2010; Stillman, 2003; Chevin et al., 2010) in caso di acclimatazione limitata.

Negli ambienti acquatici molti organismi sono ectotermi e pertanto adattati a vivere entro un limitato intervallo di variazione della temperatura: di conseguenza essi sono particolarmente sensibili alle fluttuazioni termiche. La temperatura influenza i processi fisiologici, molecolari, cellulari e dell'organismo, modulando in tal modo la distribuzione delle specie, le loro interazioni e le dinamiche trofiche (Beaugrand et al., 2010). Fin tanto che le fluttuazioni in temperatura ambientale permettono alla temperatura corporea di rimanere all'interno del range funzionale di tolleranza termica della specie, i singoli organismi riescono a svolgere le loro funzioni vitali e allocare energia all'accrescimento ed alla riproduzione. Se le fluttuazioni diventano più ampie e repentine (soprattutto su breve scala temporale; ad es. ore) generano valori estremi (Sarà et al., 2011a), gli organismi si ritrovano ad affrontare condizioni stressanti che si manifestano attraverso la compromissione delle funzioni metaboliche di base, ed in casi estremi, con la morte, ovvero quando queste temperature vanno oltre i limiti di tolleranza termica (Kearney & Porter, 2009) (Figura 2.8). La temperatura influenza un organismo a qualunque livello del suo ciclo vitale, dunque per gli ectotermi le condizioni prevalenti di temperatura rappresentano un fattore di controllo (Fry, 1947). Secondo Huey & Kingsolver (1989), la risposta alle condizioni di temperatura è caratterizzata dalla "sensitività" (che riflette il tasso al quale le reazioni fisiologiche cambiano con la temperatura) e dal range di tolleranza (cioè la zona termica in cui i tassi di accrescimento sono

positivi, come definito dalla legge di Shelford). In Mediterraneo sono presenti moltissime specie stagionali che possono rispondere ai cambiamenti climatici cambiando la propria fenologia (ovvero i periodi in cui sono presenti, attive e riproduttive). Per le specie ad affinità calda i periodi attivi tendono ad ampliarsi mentre per quelle ad affinità fredda i tempi si restringono (CIESM, 2008). Inoltre anomalie termiche e l'aumento della temperatura superficiale possono avere un impatto severo sugli ecosistemi costieri superficiali, causando l'eliminazione di specie sensibili e fenomeni di moria di massa (CIESM, 2008). Nel Mediterraneo nord-occidentale eventi di morie di massa sono stati osservati nel 1997, 1999, 2003 e 2006, la cui causa principale può essere ricondotta ad eventi estremi di riscaldamento delle acque. Nel 1999, ad esempio, una anomalia termica positiva durante il periodo estivo, combinata con un approfondimento della profondità di rimescolamento al di sotto dei 40 m, ha provocato una estesa mortalità di numerose specie di invertebrati marini (CIESM, 2008). La zona interessata da questo evento massivo si estendeva per oltre 500 km, dalle coste italiane a quelle francesi e corse. Prima di questi eventi drammatici, altri episodi avevano destato preoccupazione: la comparsa di spugne malate in tutto il Mediterraneo negli anni 80 (Vacelet, 1994), fenomeni di necrosi per le gorgonie (Bavestrello & Boero, 1987) ed eventi di sbiancamento di *Oculina patagonica* nel Mediterraneo orientale (Kushmaro et al., 1996).

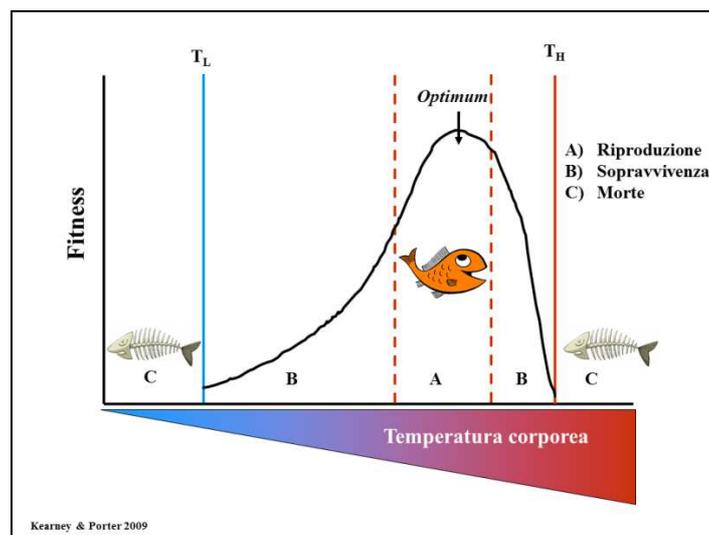


Figura 2.8: Curva della performance termica basata su alcune specie di pesci (Fonte: Kearney & Porter, 2009, modificata da Sarà et al., 2012).

Attraverso le variazioni di temperatura, le fluttuazioni climatiche esercitano la loro influenza direttamente sulla fisiologia delle specie marine vegetali e animali, modificando le loro attività metaboliche (Pörtner, 2002; Beardall & Raven, 2004) ed influenzando su tassi di crescita, fertilità e mortalità degli organismi. Un esempio estremo è rappresentato dalle cosiddette ondate di calore, durante le quali il permanere anche per pochi giorni di temperature estive di 2°C superiori a quelle della media del periodo, è sufficiente a causare lo sbiancamento dei coralli e le morie di massa ad

essi conseguenti (Gleeson & Strong, 1995; Berkelmans, 2002; Bianchi et al., 2007). Anche nel Mediterraneo orientale è stato documentato che le anomalie termiche hanno provocato il bleaching di *Oculina patagonica* (Kushmaro et al., 1996). Eventi di questo tipo possono tra l'altro imporre rapidi vincoli selettivi, che provocano una selezione istantanea la quale porta all'affermazione dei genotipi più tolleranti, e all'estinzione di quelli meno tolleranti.

In termini di impatto delle variazioni di temperatura, non necessariamente è la media annuale ad essere significativa, ma lo sono più spesso i valori estremi, che agiscono sui limiti di tolleranza fisiologica di una specie (Pörtner & Peck, 2010). Le temperature del Mediterraneo variano tra 12 e 30°C e le specie stagionali sono ben adattate a queste variazioni mediante le loro fenologie. L'andamento delle temperature estive o invernali può determinare la tempistica ed il successo riproduttivo, la sopravvivenza larvale e, in combinazione, contribuire al successo del reclutamento delle coorti.

Come conseguenza i cambiamenti che derivano dalle fluttuazioni della temperatura sono da considerare particolarmente rilevanti da un punto di vista ecologico se si considera che la temperatura appare come il principale fattore ambientale in grado di influenzare la biodiversità (e tutti i suoi attributi) su larga scala spaziale, sia in ambiente terrestre sia negli ambienti marini (Worm & Lotze, 2009; Tittensor et al., 2010).

L'effetto ultimo sull'assetto della biodiversità deriva dall'effetto diretto della temperatura sulla allocazione di energia alla riproduzione degli ectotermi. Ciò si riflette sulla fitness degli individui di popolazione che è espressa dal numero totale di uova prodotto durante il ciclo vitale (fitness Darwiniana<sup>76</sup>; Stearns, 1992; Bozinovic et al., 2011). La fitness è cruciale per la comprensione delle dinamiche degli ecosistemi marini e per il mantenimento della loro resilienza ecologica (Hughes et al., 2003). Difatti, il numero di gameti prodotti localmente dagli individui appartenenti ad una popolazione condiziona la dispersione larvale che, come dimostrato in molte occasioni, non è illimitata (Duarte, 2007). Diversi fattori influenzano l'entità della dispersione larvale e la connettività tra microambienti, ma l'abbondanza locale dei riproduttori adulti e i tratti delle loro storie vitali (che sono direttamente influenzabili dalla temperatura), sono probabilmente tra i fattori più rilevanti. La taglia corporea, il numero di eventi riproduttivi e il tempo impiegato per il conseguimento della maturità sessuale (Roff, 1992) sono tratti cruciali per la persistenza della popolazione nel tempo (Kearney et al., 2010; Sarà et al., 2013a,b). La loro entità è essenziale non solo per le condizioni delle popolazioni locali, ma rappresenta la principale garanzia per un flusso costante di gameti nel tempo e nello spazio. Questo assicura il mantenimento sia della connettività larvale tra popolazioni lontane che elevati livelli di biodiversità all'interno di aree molto ampie (Simberloff, 2009; Sarà et al., 2013a,b).

Sebbene il legame tra energia-individuo-biodiversità e funzionamento ecosistemico sia spesso trascurato in un contesto di global climate change, la perdita di biodiversità nasce proprio da una

---

<sup>76</sup> La fitness darwiniana esprime il successo riproduttivo di un individuo.

celata e puntiforme alterazione dei tratti fisiologici, morfologici e comportamentali di un individuo (Schoener, 1986). Ciò implica un'alterazione della disponibilità di energia per il metabolismo di ogni individuo che, indirettamente, viene trasmessa all'intera popolazione e influenza il ruolo ecologico che essa ricopre all'interno della comunità. L'ammontare di energia disponibile per l'organismo insieme ai tassi di allocazione costituisce indubbiamente quel set di fattori in grado di influenzare la fitness ultima dell'individuo. Negli ectotermi marini a crescita indeterminata (ad es. la cui crescita corporea continua dopo la pubertà; Berrigan & Charnov, 1994), la fitness cambia col mutare della taglia corporea (Strathmann & Strathmann, 1982). Inoltre, gli organismi di una data specie necessitano di una specifica taglia corporea per dare via alla riproduzione: la taglia puberale risulta essere un tratto fisso specie-specifico (Kooijman, 2010). Negli organismi a fecondazione esterna, invertebrati bentonici e pesci, si osserva che l'apporto costante di energia derivante dal cibo porta ad una taglia corporea maggiore: una maggiore taglia corporea implica la presenza di maggiori riserve e questo implica maggiore energia da allocare alla riproduzione. Ciò ha implicazioni sulla fitness degli individui della maggior parte delle specie marine a dispersione planctonica.

Tra gli effetti diretti dell'aumento della temperatura degli oceani possiamo anche includere le variazioni dell'areale di distribuzione delle specie: tali variazioni comportano tipicamente uno spostamento di specie temperate verso latitudini più alte o a profondità maggiori, vedi il caso delle gorgonie in Mediterraneo, con possibili estinzioni locali in quelle aree dove l'espansione verso latitudini maggiori è limitata dalla presenza di barriere fisiche (CIESM, 2008). In alcuni casi le variazioni di areale riguardano intere comunità. Nell'Oceano Atlantico, ad esempio, le specie termofile di copepodi calanoidi<sup>77</sup> hanno spostato la loro distribuzione verso nord di più di 10° di latitudine in poco più di 40 anni: nello stesso intervallo di tempo si è osservata una marcata contrazione dell'areale delle specie ad affinità temperata e fredda (Beaugrand et al., 2002).

Nella maggior parte dei casi le relazioni causali tra cambiamenti climatici e risposte a livello di popolazione, comunità ed ecosistema sono ancora ignote: la maggior parte degli studi finora effettuati si è infatti basata su un approccio meramente correlativo, mentre sono ancora necessari importanti approfondimenti sulla fisiologia delle singole specie per meglio chiarire i meccanismi che determinano la sensibilità degli organismi e dei loro stadi vitali alle variazioni della temperatura nei campi di variabilità dei cambiamenti climatici attuali (Pörtner, 2010).

I cambiamenti di temperatura possono anche influenzare le fasi del ciclo vitale degli organismi planctonici, variandone la fenologia, con conseguenze rilevanti sulle relazioni trofiche e quindi sull'intero ecosistema. Ad esempio, già nella seconda metà del secolo scorso, mentre la fioritura stagionale delle diatomee era sostanzialmente stabile, la fioritura dei dinoflagellati mostrava fino a 27 giorni di anticipo rispetto alla norma degli anni precedenti (Edwards & Richardson, 2004).

---

<sup>77</sup> I Calanoidi (Calanoida) costituiscono un ordine di copepodi facente parte dello zooplancton. Comprende 43 famiglie con circa 2000 specie sia marine che di acqua dolce. I copepodi calanoidi giocano un ruolo importante in molte reti alimentari, catturando energia dal fitoplancton e dalle alghe e «reimpacchettandola» per essere consumata da predatori di livello trofico più elevato, come uccelli, pesci e mammiferi.

Variazioni sostanziali nella comparsa dei picchi di abbondanza sono state anche rilevate sia per le forme meroplanctoniche dello zoobenthos, che mostravano un anticipo dei picchi di circa 23 giorni, sia per diverse forme dell'oloplancton, nelle quali l'anticipo dei picchi è risultato essere di circa 10 giorni (Edwards & Richardson, 2004). Conversi et al., 2010 hanno messo in risalto la presenza di anomalie nella fenologia di quasi tutte le specie zooplanctoniche del Golfo di Trieste, ed in particolare di *Pseudocalanus elongatus*, specie relitta fredda, che può essere considerata a rischio di estinzione locale.

Il Mar Mediterraneo è un oceano in miniatura: per tale motivo ci si attende che esso reagisca più velocemente ai cambiamenti globali di quanto non accada negli oceani veri e propri (CIESM, 2008; Lejeusne et al., 2010; Zecca & Chiari, 2012). Il Mediterraneo, peraltro, è anche una delle aree nelle quali sono stati meglio documentati differenti aspetti dei cambiamenti climatici. Tra questi, tre processi sono stati descritti in dettaglio: 1) l'aumento della temperatura superficiale a scala di bacino, a partire dal 1980 (Nykjaer, 2009); 2) l'aumento di temperatura e salinità delle acque profonde del Mediterraneo occidentale, a partire dal 1950 (ad es. Rixen et al., 2005); 3) l'aumento della salinità e raffreddamento delle acque levantine intermedie<sup>78</sup> ((Brankart & Pinardi, 2001; Painter & Tsimplis, 2003). Si tratta nell'insieme di processi importanti che stanno determinando cambiamenti profondi nella biodiversità di tutto il bacino: tali cambiamenti rappresentano un possibile modello per comprendere i processi ecosistemici i quali, guidati dai cambiamenti climatici, agiranno su scala globale.

In questo contesto, sono stati documentati diversi eventi episodici di mortalità di massa e numerosi lavori sono stati condotti per identificare aree nel Mediterraneo caratterizzate da frequenti anomalie termiche (Halpern et al., 2007; Coll et al., 2012; NCEAS,<sup>79</sup>). Coma et al., (2009) hanno mostrato una stratificazione persistente nella colonna d'acqua possibilmente legata ai cambiamenti climatici, in grado di determinare un prolungamento del 40% delle condizioni estive che culminano in eventi di mortalità di massa di invertebrati. Anche Crisci et al., (2011) hanno condotto un'analisi di differenze inter-regionali e annuali nella temperatura associate ad eventi mortalità di massa, analizzando serie temporali di 8 anni (dal 1999 al 2006) per quattro regioni del Mediterraneo nord occidentale con differenti caratteristiche idrologiche. Le conseguenze biologiche-ecologiche delle anomalie termiche osservate in Mar Mediterraneo sono potenzialmente molto forti e i fenomeni di mortalità di massa in invertebrati come spugne e coralli (Cerrano et al., 2005; Cerrano & Bavestrello, 2009) suggeriscono l'elevata vulnerabilità di questi sistemi ai cambiamenti di temperatura e ai problemi legati ad una stratificazione persistente nelle masse d'acqua.

## *Acidificazione e deossigenazione degli oceani*

---

<sup>78</sup> Levantine Intermediate Waters (LIW).

<sup>79</sup> National Center for Ecological Analysis and Synthesis, <http://globalmarine.nceas.ucsb.edu/mediterranean/>.

Nel corso degli ultimi 250 anni, i livelli di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) in atmosfera sono aumentati di quasi il 40% rispetto ai livelli preindustriali (da 280 ppmv a 380 ppmv) (Solomon et al., 2007; Khatiwala et al., 2009). Questo tasso di aumento è almeno un ordine di grandezza più elevato di quanto non sia accaduto in passato per milioni di anni (Doney & Schimel, 2007), e la concentrazione attuale di CO<sub>2</sub> è superiore di quanto sperimentato sulla Terra negli ultimi 800.000 anni (Lüthi et al., 2008). Si prevede che i livelli di CO<sub>2</sub> atmosferica continueranno a crescere almeno per il prossimo secolo e probabilmente ancora più a lungo. Anche se le emissioni sono state e continueranno ad essere ridotte, si prevede che livelli superiori a 1000 ppmv possano essere raggiunti entro il 2100 (Royal Society, 2005). Gli oceani giocano un ruolo fondamentale nello scambio di CO<sub>2</sub> con l'atmosfera e, fin dai tempi preindustriali, gli oceani hanno assorbito circa la metà delle emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte dalla combustione di combustibili fossili e manufatti in cemento. Questa capacità di assorbimento della CO<sub>2</sub> suggerisce l'importanza degli oceani nei processi naturali del ciclo del carbonio su scala globale (Royal Society, 2005). L'anidride carbonica è un acido debole e la sua continua diffusione a causa delle attività antropiche innesca cambiamenti nella chimica dei carbonati e nel pH portando al fenomeno che prende il nome di acidificazione degli oceani (Caldeira & Wickett, 2003). Allo stato attuale, il pH medio delle acque superficiali dell'oceano è già diminuito di 0,1 unità (pari al 30% della concentrazione dei protoni in soluzione) rispetto alla situazione pre-industriale e si prevede una diminuzione di 0,4 unità (pari al 120%) entro l'anno 2100 nonostante la regolamentazione industriale sulle emissioni di gas (Caldeira & Wickett, 2003). Il Mediterraneo sembra essere particolarmente sensibile all'abbassamento del pH: Touratier & Goyet (2009) asseriscono che c'è stata una riduzione di 0,15 unità di pH dall'epoca preindustriale. Inoltre, l'assorbimento della CO<sub>2</sub> atmosferica da parte del mare influenza profondamente la chimica del sistema carbonato, diminuendo la concentrazione degli ioni carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) ed il grado di saturazione della calcite e dell'aragonite, due fasi polimorfe del carbonato di calcio. Tale trasformazione rischia di incidere sulla struttura e sul funzionamento degli ecosistemi marini (Fabry et al., 2008).

Ad oggi, gli studi effettuati sull'acidificazione degli oceani sono solo a breve termine, poiché risulta difficile riuscire ad imitare condizioni di acidificazione *in situ* per periodi sufficienti ad influenzare intere comunità marine. Le aree con emissioni naturali di CO<sub>2</sub> possono mostrare le risposte degli ecosistemi all'acidificazione degli oceani e dovrebbero essere sfruttate per studiare i cambiamenti a lungo termine sui cicli biogeochimici. Ad ogni modo l'acidificazione degli oceani espressa come abbassamento del pH ambientale agisce come un qualunque stressor (sensu Sokolova et al., 2012) con effetti diretti sul metabolismo e sulla capacità degli organismi di usare l'energia per accrescimento e riproduzione (Jager, 2012). Essa può interferire con la formazione di strutture calcaree sia in organismi planctonici microscopici (coccolitofori, foraminiferi e pteropodi) sia in un'ampia gamma di organismi bentonici (ad esempio molluschi, echinodermi, crostacei, briozoi, policheti serpulidi, spugne e coralli) e potrebbe innescare un processo di dissoluzione della protezione carbonatica se il pH dovesse scendere al di sotto di 7,5 (Gazeau et al., 2007; Kuffner et al., 2008; Wood et al., 2008). L'acidificazione degli oceani può potenzialmente alterare le dinamiche biogeochimiche del carbonio organico e di altre sostanze nutritive attraverso molteplici modalità. La maggiore dissoluzione di carbonato di calcio lungo la colonna d'acqua, può ridurre il

contributo di  $\text{CaCO}_3$  al carbonio presente nei sedimenti di mare profondo (Passow, 2004), causando una maggiore remineralizzazione di carbonio organico in acque poco profonde ed una diminuzione dell'efficienza di assorbimento di  $\text{CO}_2$ .

L'impatto effettivo dell'acidificazione sugli organismi planctonici, e in particolare su quelli che hanno rivestimenti calcarei (coccolitofori), è ancora oggetto di discussione. Secondo alcuni studi, l'aumento della pressione parziale della  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ) aumenta sia la calcificazione che la produzione primaria (Iglesias-Rodriguez et al., 2008). Tuttavia l'esame di serie sedimentarie ha evidenziato un declino massivo di coccolitofori in tempi geologici in seguito all'aumento di  $p\text{CO}_2$ , associato ad un cambiamento delle specie nelle comunità planctoniche (Beaufort et al., 2011). Questi ultimi studi hanno anche rivelato un'ampia diversità intraspecifica nella risposta all'acidificazione, mentre ulteriori ricerche mostrano una risposta evolutiva nelle specie, che porta all'adattamento a condizioni di  $p\text{CO}_2$  elevate anche nel giro di poche centinaia di generazioni (Lohbeck et al., 2012).

### *Ipossie ed anossie*

Un'altra grave conseguenza del riscaldamento globale è la diminuzione del contenuto di  $\text{O}_2$  disciolto negli oceani (Keeling et al., 2010; Gruber, 2011). L'ossigeno è direttamente legato al carbonio tramite la fotosintesi e la respirazione, quindi la distribuzione di  $\text{O}_2$  nel mare è un segnale importante per valutare la velocità con cui la materia organica viene prodotta, ridistribuita e decomposta. Il riscaldamento globale può aumentare la stratificazione della colonna d'acqua e ridurre la solubilità dell' $\text{O}_2$ , determinandone una drastica riduzione in mare (Sarmiento et al., 1998; Bopp et al., 2001; Keeling & Garcia 2002), con conseguenze potenzialmente importanti anche sulla biomassa (Coma et al., 2009). Il fenomeno della deossigenazione e l'estensione delle zone di minimo di ossigeno (Oxygen Minimum Zone - OMZ) sono in aumento in tutto il mondo (Helly & Levin, 2004; Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008) e possono avere conseguenze severe sui cicli biogeochimici del carbonio, azoto, e di molti altri elementi importanti (P, Fe, Mn, ecc.). L'ossigeno è un elemento fondamentale per tutta la vita aerobica, compresi gli organismi che vivono negli ecosistemi di mare profondo. La maggior parte degli organismi non ha problemi con l' $\text{O}_2$ , purché le concentrazioni siano abbastanza elevate per garantire loro la sopravvivenza oppure la riduzione o l'assenza di ossigeno sia limitata ad una fase piuttosto ridotta del loro ciclo vitale. Tuttavia, una volta che l' $\text{O}_2$  scende sotto una certa soglia, l'organismo soffre di una varietà di stress, che possono portare addirittura alla morte dell'individuo, se le concentrazioni rimangono basse per tempi troppo lunghi (condizioni di ipossia). Elevati livelli di ipossia ambientale provocano un calo della capacità funzionale e della tensione di ossigeno, e tra le conseguenze più frequenti si annovera il fatto che la finestra termica di funzionamento metabolico di un organismo può subire un restringimento, con conseguente riduzione delle prestazioni corrispondenti all'optimum (Sokolova et al., 2012).

Il termine ipossia viene generalmente usato per indicare una concentrazione di ossigeno inferiore rispetto ad un valore arbitrario percepito come normale. Definire l'ipossia tramite la concentrazione di ossigeno è comunque problematico, in quanto è la  $p\text{O}_2$ , e non la concentrazione

di ossigeno, che guida la distribuzione di O<sub>2</sub> ai tessuti e determina l'effetto dell'ipossia sulle funzioni dell'organismo.

Inoltre, i sistemi di trasporto dell'ossigeno e le vie biochimiche sono in grado di manipolare la pO<sub>2</sub> internamente o regolare l'affinità per l'O<sub>2</sub> di guidare la sintesi di ATP in tutta la gamma di concentrazioni di O<sub>2</sub> ambientali in base alle quali una specie si è evoluta (Connett et al., 1990). Perciò, qualsiasi definizione di ipossia legata alla sopravvivenza o alle prestazioni degli organismi è necessariamente specie-specifica e dipenderà dalle particolari esigenze fisiologiche della specie e dalla concentrazione di O<sub>2</sub> ambientale alla quale si è adattata.

Soglie di tolleranza alle condizioni di ipossia variano notevolmente tra i taxa marini, in generale pesci e crostacei tendono ad essere più sensibili rispetto ad altri gruppi (Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008). Condizioni di completa assenza di ossigeno (anossia) sono praticamente inesistenti lungo la colonna d'acqua, mentre sono stati scoperti nel Mediterraneo orientale e nel Mar Rosso bacini profondi completamente anossici (denominati bacini profondi ipersalini anossici: Deep Hypersaline Anoxic Basin -DHAB) (Danovaro et al., 2010). Condizioni ipossiche e sub-ossiche possono verificarsi in tutti gli oceani e si prevede una estensione delle zone di minimo di ossigeno in futuro, come documentato dalla diminuzione delle concentrazioni di O<sub>2</sub> nel corso degli ultimi 50 anni nella regione subpolare del Nord Pacifico e nella fascia tropicale (Whitney et al., 2007; Stramma et al., 2008; Levin, 2010). In condizioni di basse concentrazioni di O<sub>2</sub> (<5 mmol kg<sup>-1</sup>), si verificano grandi cambiamenti nei cicli biogeochimici e il nitrato diventa substrato importante per la respirazione. Una volta che il nitrato si esaurisce, i cicli biogeochimici tendono ad essere dominati dai microbi solfato-riduttori, che convertono il solfato in solfuro.

Gli effetti combinati di alte produzioni primarie, consistenti apporti di materia organica dai fiumi, stratificazioni persistenti della colonna d'acqua ed aumenti del tempo di residenza dell'acqua di fondo determinano il progressivo consumo di ossigeno disciolto che ha portato in passato a situazioni di ipossia in vaste aree del Nord Adriatico caratterizzate da advezioni laterali ridotte. L'ipossia (<1.4 mL L<sup>-1</sup>) è stata spesso considerata un evento ricorrente in queste aree e uno dei possibili maggiori rischi ambientali. Eventi ipossici sono stati osservati soprattutto nella fascia costiera dell'Emilia-Romagna a sud del Po tra il 1970 e il 1980, ma si sono verificati sporadici casi di anossia su scala di bacino nel 1977 e 1989 (Stachowitsch, 1991; Stachowitsch & Avcin, 1988; Riedel et al., 2008). Tuttavia dopo il 2000 si sono registrati pochi casi in cui il livello di saturazione è sceso sotto il 20%, e non si sono più ripresentati fenomeni di anossia (Giani et al., 2012).

## *Impatti sulla disponibilità delle risorse*

Il riscaldamento globale può alterare la produzione di carbonio organico sulla superficie dell'oceano, e questo cambiamento può influenzare a cascata i diversi livelli delle reti trofiche planctoniche e bentoniche, fino a compromettere l'approvvigionamento delle risorse anche per gli organismi bentonici che vivono negli ecosistemi marini profondi (Smith et al., 2008; Smith et al., 2009). I cambiamenti di temperatura sulla superficie degli oceani aumentano la stratificazione riducendo il rimescolamento verticale della colonna d'acqua, con effetti contrastanti alle diverse latitudini. E' stato infatti previsto che alle medie latitudini e soprattutto ai tropici l'aumento della stratificazione, riducendo la disponibilità dei nutrienti nelle acque superficiali, porti ad una diminuzione della produzione primaria (Bopp et al., 2001). Di contro, nelle aree polari la stratificazione, accentuata anche dallo scioglimento dei ghiacci, contrasterebbe la dispersione verticale del fitoplancton e quindi la limitazione della luce, con un conseguente aumento della produzione primaria (Doney, 2006). Tuttavia studi recenti hanno evidenziato, a partire dall'inizio dello scorso secolo, una diminuzione significativa della produzione primaria (circa l'1% della mediana globale) sia nei mari tropicali e temperati sia nelle aree polari, con una relazione evidente con la temperatura ma non con la stratificazione (Boyce et al., 2010).

Studi condotti su serie temporali raccolte nel corso degli ultimi due decenni nel Nord Atlantico (a profondità > 4.000 m), hanno messo in evidenza che cambiamenti climatici hanno avuto effetto (in termini di abbondanza e composizione in specie) sulle componenti bentoniche degli ecosistemi profondi come conseguenza dei cambiamenti del flusso di risorse al fondo a causa della variazione di produzione primaria sulla superficie dell'oceano (Smith et al., 2009). Anche nel Pacifico equatoriale è stato documentato che moderati cambiamenti di produzione primaria netta in superficie hanno provocato una riduzione del flusso di carbonio organico particellato (POC) di circa un terzo (da 1.5 a 0.5 gC m<sup>-2</sup> anno<sup>-1</sup>; Laws, 2004). La risposta bentonica a questa riduzione delle fonti di cibo che raggiungono il fondo si manifesta con un dimezzamento delle abbondanze di batteri, nematodi<sup>80</sup> (meiofauna) e megafauna, con una riduzione di cinque volte della biomassa della macrofauna e con una riduzione della profondità dello strato rimescolato, del consumo di ossigeno e della intensità della bioturbazione nei sedimenti (Smith et al., 2008). La diminuzione del flusso di POC, come atteso nelle aree profonde della fascia equatoriale, è in grado di provocare una riduzione della biodiversità e della taglia corporea delle specie (McClain et al., 2005), nonché cambiamenti nella composizione tassonomica delle comunità abissali (Smith et al., 2008). Tutti questi cambiamenti hanno un effetto drammatico sul funzionamento degli ecosistemi marini profondi dal momento che è stata osservata una relazione esponenziale positiva tra la biodiversità ed il funzionamento di questi ecosistemi (Danovaro et al., 2008a). Questa relazione suggerisce che la perdita, seppur limitata a poche specie, può avere conseguenze drammatiche sul funzionamento degli ecosistemi marini. Il cambiamento globale può avere importanti implicazioni anche sugli

---

<sup>80</sup> Il *Phylum Nematoda* è la componente principale della meiofauna. I nematodi marini a vita libera sono vermi dotati di un vero tubo digerente e possono essere considerati i metazoi più abbondanti presenti in ambiente marino, in quanto possono essere riscontrati dai sedimenti costieri fino alle profondità abissali.

stock ittici come conseguenza della riduzione delle potenziali fonti di cibo (ad esempio lo zooplancton per i giovanili di pesci). Durante le fasi larvali, i giovanili consumano zooplancton ma alcuni pesci anche da adulti (ad esempio lo sgombero *Scomber scombrus*) continuano, almeno in parte, a nutrirsi di plancton (Hays et al., 2005). Di conseguenza, l'abbondanza del mesozooplancton può influenzare il reclutamento della fauna ittica anche se i dettagli di questo collegamento non sono ancora del tutto chiari. A causa della sensibilità del plancton al riscaldamento globale, i cambiamenti a lungo termine possono avere un impatto sugli stock ittici di valore commerciale (Hays et al., 2005), con gravi conseguenze socio economiche. Le condizioni estive nel Mar Mediterraneo sono tipicamente caratterizzate da alte temperature superficiali e bassa disponibilità di cibo. Questo porta ad una sorta di stasi alimentare di molti filtratori sospensivori bentonici, in ragione dei conseguenti vincoli energetici. È stato osservato che negli ultimi 30-35 anni il Mediterraneo, a causa dell'incremento di temperatura, ha mostrato una maggiore stratificazione, che ha prodotto un cospicuo allungamento (ca. 40%) delle condizioni estive. Il persistere di elevate temperature anche in profondità e la ridotta disponibilità alimentare causata dalla maggiore stratificazione e dal minore flusso di particelle dalla parte superficiale della colonna d'acqua possono causare eventi di mortalità di massa (Cerrano et al., 2000). Recenti simulazioni modellistiche hanno dimostrato che il permanere o l'esacerbarsi di tali condizioni di stratificazione possono condurre ad una perdita di biomassa >35% (Coma et al., 2009). Sono stati inoltre riportati anche effetti diretti dei cambiamenti di temperatura sulla fisiologia degli organismi marini. Ad esempio, per diverse specie di pesci del Baltico e del Mare del Nord è stato evidenziato che temperature più alte, sia pur ben al di sotto dei limiti tollerati dalle specie, sono associate al declino di popolazioni naturali poiché comportano una ridotta capacità di ossigenazione dei tessuti (Pörtner & Knust, 2007). In habitat costieri più superficiali, ci sono evidenze di effetti dei cambiamenti climatici sia sui produttori primari bentonici (macroalghe e alghe coralline) sia sugli erbivori con conseguenze importanti sugli altri livelli trofici (Russell & Connel, 2009).

### ***Impatti sugli areali di distribuzione sugli organismi endemici e sull'ingresso di specie invasive***

I segnali che mettono in evidenza l'effetto dei recenti cambiamenti climatici su un'ampia varietà di organismi sono sempre più numerosi ed interessano un'ampia distribuzione geografica, dalle regioni polari alla fascia equatoriale sia in ambiente terrestre sia marino (Walther et al., 2001; 2002). In particolare si è assistito negli anni ad una espansione degli areali verso i poli di specie termofile e una corrispondente riduzione di quelle stenoterme fredde (Hickling, 2006; Pearson, 2006). In mare, in particolare, risulta evidente la presenza di un effetto combinato di stress multipli indotti dai cambiamenti climatici che agiscono sulla sopravvivenza, il metabolismo, il reclutamento e la fecondità sia di invertebrati bentonici (Hutchings et al., 2007; Poloczanska et al., 2007; Puce et al., 2009) sia di vertebrati (Azzurro et al., 2011). Uno studio condotto sugli idroidi del promontorio di Portofino su una scala temporale di 25 anni (1980-2004), ha rivelato che i cambiamenti climatici hanno profondamente modificato la fenologia di questi invertebrati marini (Puce et al., 2009). I risultati di questo studio hanno messo in evidenza che alcune specie presenti nel 1980 erano

scomparse nel 2004, ma altre specie con affinità meridionale, mai registrati nella zona, sono diventate abbondanti nel 2004. Tali cambiamenti sono riconducibili al riscaldamento delle acque registrate in Mediterraneo negli ultimi venticinque anni. Recentemente, uno studio condotto in Mediterraneo ha mostrato che 59 specie di pesci appartenenti a 35 diverse famiglie manifestano cambiamenti rilevanti: alcune specie mostrano un aumento sensibile dell'abbondanza, altre una netta diminuzione ed altre ancora mostrano un aumento nella fluttuazione stagionale della loro abbondanza (Azzurro et al., 2011). In Adriatico, negli ultimi 20 anni, sono stati osservati cambiamenti rilevanti nella composizione della fauna ittica. Il numero di specie termofile è aumentato in modo rilevante e diverse specie prima scarse o addirittura rare stanno diventando abbondanti mentre altre sono comparse per la prima volta in questo mare. I cambiamenti ambientali influenzano processi ecologici importanti come la dispersione larvale, il successo della sopravvivenza delle nuove progenie, la struttura e composizione delle comunità, la diffusione e presenza di specie invasive (Przeslawski et al., 2008). Studi recenti condotti negli ambienti marini profondi hanno messo in evidenza che la perdita di specie (anche un numero molto ridotto) può avere effetti negativi sul funzionamento degli ecosistemi (Danovaro et al., 2008a). L'effetto combinato dell'aumento della temperatura con altri fattori di stress (come la distruzione degli habitat), può facilmente modificare la distribuzione delle specie e determinare una riorganizzazione delle comunità portando in alcuni casi ad una riduzione della diversità per la perdita (in alcuni casi addirittura per estinzione) di alcune specie (Thomas et al., 2004; Pound et al., 2006). Alcune specie di invertebrati bentonici sono molto più vulnerabili ai cambiamenti climatici rispetto ad altre per la loro ridotta capacità di adattarsi ai cambiamenti che hanno luogo negli ambienti in cui vivono (Przeslawski et al., 2008). I cambiamenti climatici possono favorire il trasferimento di specie non native di una certa regione da aree adiacenti, determinando un cambiamento nella comunità originale (Boero & Bonsdorff, 2007; CIESM, 2008; Walther et al., 2009). Il riscaldamento degli oceani può infine facilitare l'insediamento e la diffusione di specie non native o aliene che sono trasportate da attività antropiche in regioni biogeografiche nelle quali non erano presenti (Occhipinti-Ambrogi, 2007). Tra queste, alcune specie sono note essere invasive come le ascidie (Stachowicz et al., 2002; Agius, 2007) ed i briozoi (Saunders & Metaxas, 2007). Alcune specie invasive si adattano molto più facilmente ai cambiamenti ambientali ed alle condizioni estreme rispetto alle specie native o alle specie presenti da lungo tempo nella regione (CIESM, 2002; Fields et al., 2006).

I cambiamenti climatici offrono spesso migliori condizioni alle specie aliene nelle diverse fasi attraverso le quali si concretizza il processo di invasione da parte di una specie (Walther et al., 2009; Maggs et al., 2010), vale a dire:

- all'atto dell'introduzione della specie non nativa in un nuovo ambiente nel quale trova condizioni corrispondenti all'habitat di provenienza,
- nella fase di colonizzazione in cui si costituisce stabilmente una popolazione della specie alloctona,
- nella fase di espansione, in cui la popolazione espande il proprio areale ed aumenta la propria abbondanza, in non pochi casi vincendo la competizione con le specie native,

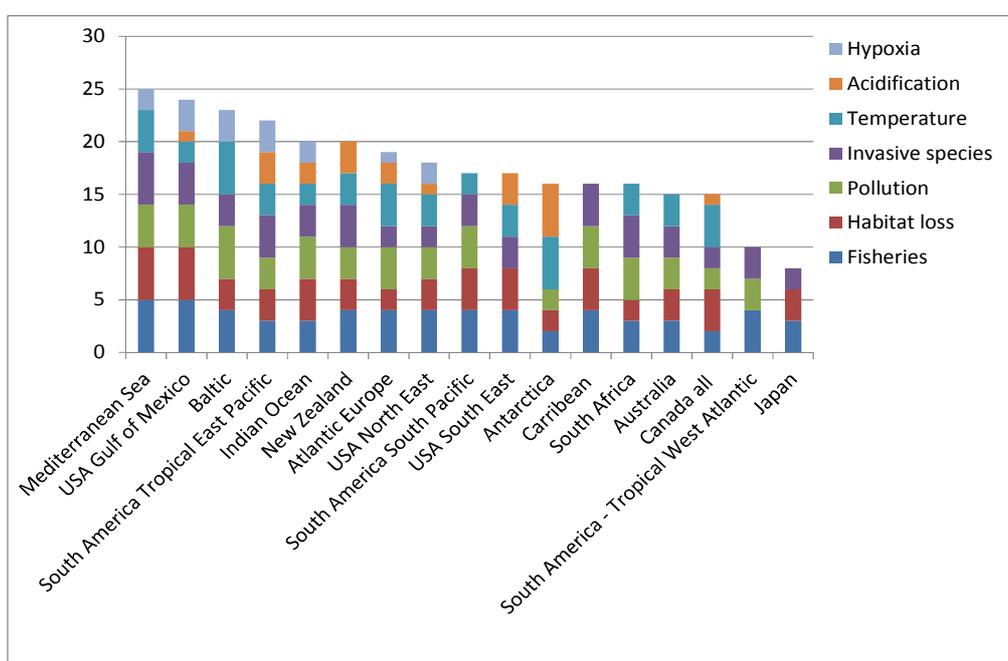
- nella fase in cui l'esplosione demografica della specie non nativa determina un consistente impatto sulla comunità residente e sull'intero ecosistema.

Il plancton è un buon indicatore dei cambiamenti climatici (Hays et al., 2005). Il genere *Ceratium*, molto importante per la produzione primaria nelle acque temperate e tropicali, ha esteso la sua distribuzione nelle acque più calde. Ad esempio, prima degli anni 70, la specie *Ceratium trichoceros* veniva rinvenuta solo lungo le coste meridionali del Regno Unito mentre oggi si trova lungo la costa occidentale della Scozia fino al Mare del Nord. In Mediterraneo, nel Mar Ligure, è stata invece evidenziata una diminuzione delle specie ad affinità fredda del medesimo genere *Ceratium* (Tunin-Ley et al., 2009). Un drammatico cambiamento è stato documentato nella distribuzione spaziale dei copepodi calanoidi che, negli ultimi 40 anni, si sono spostati di oltre 1000 km a nord nell'Atlantico Settentrionale per il conseguente arretramento delle acque più fredde (Hays et al., 2005).

La diminuzione del tempo speso come fase larvale planctonica a causa del riscaldamento delle acque (Duarte, 2007) può portare ad un aumento del periodo di ritenzione larvale per le specie aliene permettendone l'insediamento e la diffusione in aree in cui altrimenti potrebbero essere trasportate via (Byers & Pringle, 2006). L'aumento delle temperature non solo può favorire la diffusione delle specie invasive ma anche aumentare il loro impatto sulle comunità bentoniche facilitando l'esclusione competitiva, la predazione e l'estinzione (Agius, 2007). Per quanto riguarda il plancton, si ritiene che l'eutrofizzazione, la pesca eccessiva, il riscaldamento globale e l'aumento di strutture artificiali, contribuiscano nell'insieme alla proliferazione di meduse osservata negli ultimi dieci anni (Goy et al., 1989; CIESM, 2001). Boero et al., 2008; e Boero (2013) propongono che la rimozione dei predatori apicali (quali i grandi pesci pelagici) e la persistente "oligotrofizzazione" delle masse d'acqua per effetto del riscaldamento delle acque superficiali, può determinare la scomparsa di mammiferi e dei grandi pesci, sostituiti da una rete trofica dominata dalle meduse. Tuttavia, mentre le comparse massive delle meduse nel Mediterraneo occidentale e centrale sono per lo più legate ad esplosioni numeriche di specie indigene, nel Mediterraneo orientale sono le specie invasive a determinare tali esplosioni (Galil, 2012). Per quanto riguarda le comunità bentoniche del Mediterraneo l'introduzione di numerose specie dal Mar Rosso attraverso il Canale di Suez (specie note come migranti Lessepsiani, dal nome dell'esecutore dei lavori per la creazione del Canale stesso, Ferdinand de Lesseps), rappresenta un fenomeno di rilevanza mondiale (Occhipinti-Ambrogi & Galil, 2010). In altri contesti si assiste a fenomeni importanti, ma legati ad un numero minore di specie come ad esempio, l'introduzione di specie della regione del Ponto-Caspio nel mar Baltico, e l'espansione dell'ostrica giapponese *Crassostrea gigas* nel Mare di Wadden e lungo la costa meridionale del mare del Nord (Barange et al., 2011). Gli effetti sulle comunità autoctone dell'aumento del numero di specie nuove sono diversi e spesso non conosciuti. Il ruolo delle specie aliene dovrebbe infatti essere studiato in un contesto dinamico in relazione alla composizione e struttura delle comunità (Walther et al., 2009). Nel Mediterraneo il cambiamento delle condizioni fisiche ha favorito l'espandersi delle specie provenienti dal Mar Rosso, ad affinità calda, in alcuni casi a danno di specie autoctone, già in regressione, come *Posidonia oceanica*. I cambiamenti avvenuti, ormai a livello dell'intero bacino e non confinati alla

zona Levantina, costituiscono un esempio di rivoluzione biologica determinata da una elevata "pressione da alieni" provenienti dal canale di Suez, in combinazione con la modifica di importanti caratteri idrografici in conseguenza dei cambiamenti del clima.

Una sintesi dei vari tipi di impatto sulla biodiversità marina e sui relativi servizi ecosistemici è illustrata nella Figura 3.8. I dati riportati da Costello et al., (2010) suggeriscono che gli impatti dovuti ai cambiamenti globali (ad esempio, l'aumento della temperatura, l'acidificazione e deossigenazione degli oceani) sono minacce importanti per la biodiversità marina. Inoltre, è stato visto che la diffusione delle specie invasive è favorita e promossa dai cambiamenti climatici (in particolare dall'aumento della temperatura).



**Figura 3.8.** Effetto di differenti forzanti (inclusi i cambiamenti climatici come l'aumento della temperatura, acidificazione ed ipossia) sulla biodiversità, il funzionamento e beni e servizi in differenti regioni oceaniche (Fonte: dati da Costello et al., 2010).

La situazione nel Mediterraneo, come si vedrà oltre, assume una grande rilevanza poiché proprio in questo bacino sono evidenti i segni di cambiamenti sostanziali, avvenuti in periodi relativamente brevi e che prefigurano una sorta di rivoluzione dell'assetto noto (Lejeusne et al., 2009).

## **Vulnerabilità delle diverse tipologie di ecosistemi/habitat marini**

Il riscaldamento globale è un processo in grado di alterare profondamente l'integrità degli ecosistemi marini (Hughes et al., 2003; Harley et al., 2006; Lotze et al., 2006; Orth et al., 2006; Poloczanska et al., 2007; Hawkins et al., 2008) sia in termini di diversità sia in termini di funzionamento. I cambiamenti globali provocano il cambiamento della temperatura del mare, della circolazione e/o degli habitat ma possono anche interessare i cicli biogeochimici e le reti trofiche (Ramirez-Llodra et al., 2010; 2011). La risposta dei sistemi marini ai cambiamenti climatici dipende anche dalle interazioni di questi cambiamenti con i cambiamenti indotti da altre attività antropiche, con effetti sinergici che spesso sono difficili da prevedere. Ad esempio, l'attività di pesca ha portato ad una riduzione del numero dei grandi pesci nei livelli trofici superiori su scala globale (Myers & Worm, 2003) mentre l'incremento di attività come l'agricoltura, l'industria e l'aumento demografico hanno provocato un aumento dei nutrienti e di inquinanti in molte regioni costiere (Schindler, 2006; Sarà et al., 2011b). I cambiamenti globali, come l'acidificazione degli oceani (Royal Society, 2005) e l'introduzione di specie aliene (Doney, 2010), diminuiscono la resilienza degli ecosistemi marini: ciò suggerisce la necessità di opportune strategie per la gestione sostenibile delle risorse anche al fine di limitare l'impatto dei cambiamenti climatici sui beni e servizi ecosistemici (Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010). E' tra l'altro da sottolineare che la maggior parte degli studi che cercano di prevedere le conseguenze ecologiche dei cambiamenti climatici si focalizza su singole specie e su singole fasi del ciclo vitale dei diversi organismi più che a scala di habitat o di ecosistema. Se lo studio viene condotto tenendo conto di fasi diverse del ciclo delle diverse specie (fase giovanile piuttosto che stadio adulto) e delle interazioni con altre specie, i risultati possono essere completamente diversi e possono non essere traslati in previsioni accurate di cambiamenti ecologici futuri per livelli di biodiversità caratterizzate da complessità crescente. Inoltre anche la storia di un habitat e non solo lo stato attuale, nei termini di composizione delle specie, dovrebbe essere presa in considerazione per stabilire la natura dei processi ecologici (Boero & Bonsdorff, 2007).

### ***Sistemi di transizione***

Le variazioni del livello del mare, dell'intensità e frequenza degli eventi meteorici, delle temperature influenzeranno direttamente gli ecosistemi di transizione (estuari, lagune, stagni costieri). Altri cambiamenti, quali l'acidificazione dei mari e degli oceani, potranno provocare impatti, anche se attualmente vi è ancora molta incertezza su modalità ed intensità di tali eventi. Il tasso di innalzamento del livello del mare varierà in maniera disomogenea e quindi regionalmente, a causa di differenze locali nei livelli di subsidenza (influenzati dagli apporti di sedimenti, emungimenti dalle falde, estrazione di gas senza mitigazione dal sottosuolo), sollevamenti tettonici, compattamento dei suoli argillo-limosi. Gli ecosistemi di transizione si caratterizzano: (i) per l'estrema variabilità delle condizioni fisiche e chimiche legate agli scambi discontinui con il mare e con le acque interne; (ii) per la loro vulnerabilità ad un ampio spettro di tipologie di impatto umano, e (iii) per l'imprevedibilità delle risposte ai cambiamenti locali e globali a livello di popolazioni, di comunità e di funzioni ecosistemiche. L'aumento del livello del mare influenzerà

particolarmente le lagune costiere separate dal mare da cordoni sabbiosi (spiagge, scanni, dossi e barene). Questi sistemi comprendono nel territorio nazionale, oltre a tutte le lagune del Delta del Po, le lagune di Grado e Merano, Venezia, Lesina, Orbetello, Caprolace e Fogliano, e la quasi totalità delle lagune sarde. Questi sistemi rispondono naturalmente all'aumento del livello marino espandendosi, se la conformazione delle rive lo permette, verso terra, in maniera tale che il profilo generale e la fisiografia della laguna rimangono invariati se l'innalzamento è moderato. Se il processo è invece rapido, il rimodellamento delle linee di rive potrebbe non essere veloce a sufficienza per prevenire allagamenti o inondazioni. L'irrigidimento del profilo di numerose lagune costiere (per consolidamento degli argini con materiale inerte, es. la laguna di Scardovari, nel Delta del Po Veneto, o per antropizzazione delle sponde, es. laguna di Venezia) impedisce il naturale rimodellamento della conformazione delle rive e ne aumenta la vulnerabilità alle esondazioni. Gli effetti di un innalzamento rapido saranno prevedibilmente devastanti: sommersione degli scanni, allagamenti, maggiore vulnerabilità alle mareggiate e intensificazione dei processi di erosione costiera, marinizzazione degli ambienti lagunari e intrusione del cuneo salino nella rete tributaria di corpi di acqua dolce, riduzione delle superfici occupate da specie mesoaline e cambiamento radicale della composizione delle biocenosi acquatiche (Mackenzie et al., 2007), diminuzione dei territori di nidificazione per numerose specie di uccelli, modificazione dei percorsi di ciclizzazione dei nutrienti (Lloret et al., 2008), pesanti ripercussioni su molte delle attività produttive attualmente praticate in questi ambienti (Mistri, 2012).

Il massimo innalzamento termico è previsto alle medio-alte latitudini nei mesi invernali. L'innalzamento termico nell'atmosfera influenzerà la temperatura dell'acqua delle lagune costiere, corpi idrici a basso regime di circolazione e scarsa profondità. Siccome la temperatura dell'aria aumenta più velocemente sulle masse emerse che negli oceani, si prevede che la temperatura delle masse d'acqua costiere aumenterà più velocemente rispetto alle masse d'acqua oceaniche. Per esempio, nell'estuario di Narragansett Bay, Rhode Island, USA (profondità media 6,4 m), per il quale esistono serie storiche di misurazione dei parametri ambientali, la temperatura media annuale delle acque superficiali è aumentata di 1,1°C negli ultimi 50 anni (Nixon et al., 2004). Questo tasso di incremento termico è circa quattro volte superiore a quello nell'oceano. Le caratteristiche fisiografiche delle lagune costiere fanno ritenere che la temperatura delle acque aumenterà ancor più velocemente che negli estuari aperti. La temperatura dell'acqua a sua volta influenza le concentrazioni di ossigeno disciolto, così come la fisiologia degli organismi lagunari, i gradienti di distribuzione delle specie ed i pattern di migrazione. Molte specie marine nelle lagune vivono ai margini dei loro limiti di tolleranza termica, e anche minimi cambiamenti nel range di temperatura possono esercitare impatti significativi sulla distribuzione e sopravvivenza di tali organismi. Inoltre, gli ecosistemi lagunari saranno più suscettibili di quanto già non siano all'invasione di specie non-native originarie di climi più caldi (Stachowicz et al., 2002). All'aumentare della temperatura diminuirà la concentrazione dell'ossigeno disciolto, in particolar modo nelle zone alquanto più profonde ove l'eventuale stratificazione termica stagionale potrà isolare ulteriormente le acque ipossiche in prossimità del fondale. Crisi ipossiche ed anossiche determinano gravi conseguenze sul biota acquatico, e sulla fauna bentonica in particolare. Mentre nelle lagune aperte (ad esempio, Sacca di Goro) gli episodi ipossici ed anossici potranno essere

mitigati dall'intenso ricambio mareale, nelle lagune chiuse (ad esempio, Valli di Comacchio) le crisi ipossiche ed anossiche saranno più frequentemente intense e le loro conseguenze assai più severe. La cronicità dell'ipossia nelle acque costiere e di transizione è associata a cambiamenti persistenti nella struttura e composizione delle comunità bentoniche: le specie tolleranti e opportuniste (Capitellidi, Spionidi) sostituiscono le specie sensibili, e la biodiversità generalmente diminuisce.

Negli ambienti di transizione, l'aumento della pressione parziale di CO<sub>2</sub> atmosferica si tradurrà in un aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> disciolta; viceversa, l'aumento di temperatura della colonna acqua si tradurrà in una diminuzione della quantità di CO<sub>2</sub> disciolta. Tuttavia, se l'aumento di temperatura comporterà, come previsto, maggiori tassi di respirazione negli organismi acquatici non compensati da un aumento della fotosintesi, le concentrazioni di CO<sub>2</sub> potrebbero ulteriormente aumentare. L'acidificazione costituisce un rischio significativo anche per gli ambienti di transizione come le lagune, specialmente nel caso di aumentato isolamento dal mare, e conseguente ridotto potere tampone fornito dalle acque marine. La capacità tampone della laguna dipende anche dalla composizione dei sedimenti carbonatici, la cui dissoluzione può contribuire a controbilanciare la diminuzione del pH. Nella Laguna di Venezia, per esempio, i sedimenti a dolomite derivano dal trasporto dei fiumi Piave e Tagliamento (e si accumulano nella porzione settentrionale), mentre i silicati sono forniti da Brenta, Bacchiglione e Adige (che scorrono su rocce metamorfiche vulcaniche) e si ritrovano nei settori più meridionali. Presso le bocche a mare è la sabbia organogena marina che fornisce i carbonati. Pertanto, i sedimenti del settore settentrionale della laguna hanno un potenziale tampone maggiore (Tagliapietra et al., 2011).

Anche la fenologia lagunare sarà impattata dall'innalzamento termico: cambiamenti nella temperatura dell'aria influenzano rotte e periodi di migrazione dell'avifauna che tradizionalmente sosta nelle lagune. Lo sviluppo, la maturazione delle gonadi e l'emissione dei gameti nei molluschi bivalvi si modifica in risposta a rialzi termici. Alle medie-alte latitudini lo zooplancton diviene attivo precocemente nelle primavere che seguono inverni particolarmente miti, incrementando l'attività di pascolo sul fitoplancton, e fornendo parziale spiegazione ai fenomeni di diminuzione della biomassa fitoplanctonica associati a temperature miti (Oviatt, 2004). Si ritiene infine che l'innalzamento della temperatura possa contribuire ulteriormente al fenomeno di declino delle fanerogame acquatiche (*Ruppia*, *Zostera*, *Nannozostera*, *Cymodocea*) negli ambienti lagunari (Blintz et al., 2003). Variazioni di temperatura avranno importanti effetti sul biota. Le ondate di calore (heat-wave) compromettono l'insediamento larvale ed il reclutamento, generando colli di bottiglia per le popolazioni adulte. Per esempio, l'heat-wave dell'estate 2003, la più calda estate in Europa dal XVI secolo, ha causato, nella Salina di Comacchio, cambiamenti nella struttura della comunità bentonica tuttora persistenti (Munari, 2011). Per quegli organismi che vivono in ambienti fortemente stressati, e sono già al limite della loro tolleranza fisiologica, possono essere previsti cambiamenti nella distribuzione geografica. Gli organismi intertidali, sessili o sedentari, essendo più esposti allo stress termico possono essere utilizzati come indicatori del cambiamento climatico (Dillon et al., 2010).

Gli input di sostanza organica alloctona di origine terrestre costituiscono una importante fonte di energia a complemento della produzione primaria lagunare. La sedimentazione della sostanza

organica è la sorgente primaria che alimenta la rete trofica bentonica. Un flusso contrario, originato dalla risospensione dei sedimenti, può tuttavia essere importante nei bacini a minor profondità (Pusceddu et al., 1999; 2003). La produzione primaria dipende dalle fanerogame e/o dalle macroalghe perenni, che forniscono ossigeno alla colonna d'acqua e sostanza organica refrattaria ai sedimenti. L'incremento di nutrienti e sostanza organica di provenienza terrestre sposta la produzione primaria verso il fitoplancton e le macroalghe effimere. La produzione primaria di fitoplancton e macroalghe è limitata dalla disponibilità di luce e nutrienti, dagli input dal bacino idrografico e dall'atmosfera, dalla fissazione dell'azoto e dal rilascio di nutrienti causato dalla decomposizione della sostanza organica sedimentaria. La produzione primaria delle specie nitrofile è limitata dalla disponibilità di azoto (denitrificazione dei nitrati ad azoto nei sedimenti). Mutamenti dei cicli stagionali delle precipitazioni inducono alterazioni importanti del regime idrologico dei corsi d'acqua con l'alternarsi di eventi di piena sempre più frequenti e lunghi periodi di siccità.

Ulteriori effetti sono associati all'aumento del tasso di deposizione sedimentaria dal bacino imbrifero circostante e dall'aumento della quantità di nutrienti dilavati dai terreni e scaricati nella laguna, che ne accelerano il processo di eutrofizzazione (Wazniak et al., 2007). Negli ecosistemi lagunari la biogeochimica dei sedimenti superficiali è di fondamentale importanza, ed è regolata dall'interdipendenza tra la disponibilità di ossigeno e le variazioni degli equilibri ossido-riduttivi. La disponibilità di ossigeno dipende soprattutto dai processi di produzione primaria e di decomposizione delle biomasse vegetali. Gli equilibri ossido-riduttivi sono invece controllati da processi biogeochimici dal sistema solfuro-monosolfuro ferroso-pirite. Questo tipo di regolazione influisce anche sul ciclo del fosforo e può generare feedback positivi, come quello legato alla rigenerazione dello ione ortofosfato, in grado di mantenere su elevati livelli la produttività primaria. La diminuzione della trasparenza della colonna d'acqua riduce la penetrazione della luce e deprime l'attività fotosintetica delle fanerogame sommerse. Inoltre può inibire l'attività dei predatori a vista, con profonde modificazioni di struttura trofica nella comunità ittica (Fiksen et al., 2002; Horppila et al., 2004).

Anche le zone di mare aperto come il tratto di mare antistante il Delta del Po possono essere soggette ad importanti variazioni interannuali del ciclo delle comunità bentoniche sotto l'influsso degli apporti del fiume Po (Ambrogi et al., 1990; Occhipinti-Ambrogi et al., 2005); variazioni importanti nel regime delle portate avranno un'influenza decisiva nella produttività di tali ambienti. I cambiamenti nella quantità e qualità delle precipitazioni eserciteranno importanti effetti sulle caratteristiche fisico-chimiche ed ecologiche degli ambienti di transizione, modificandone gli afflussi di acqua dolce, alterandone salinità e concentrazione di ossigeno disciolto (Milly et al., 2005).

In molte zone costiere, specialmente in ambienti lagunari ed estuari, è evidente una tendenza alla omogeneizzazione delle comunità a livello mondiale, specialmente in presenza di stress derivanti dalle attività antropiche che favoriscono lo sviluppo di poche specie opportunistiche sia native sia cosmopolite. Se pur a un livello non paragonabile a quello delle comunità delle acque interne, dove per favorire la pesca sportiva, l'acquacoltura o il ripopolamento vegetale a scopi

estetici è stato introdotto in modo massiccio e ripetuto un numero veramente esiguo di specie cosmopolite (Rahel, 2007), anche in mare l'omogeneizzazione e la banalizzazione della fauna sono un fenomeno in costante aumento (Ruesink et al., 2005; Olden & Rooney, 2006).

### ***Sistemi marino- costieri***

Gli ecosistemi marino-costieri, insieme ai prodotti e i servizi che forniscono, sono minacciati dai cambiamenti climatici indotti da attività di origine antropica (IPCC, 2007). I sistemi marini costieri coprono una superficie di circa  $3.102 \times 10^6$  ha ed il valore economico di tutti i servizi ecosistemici forniti da queste aree su scala globale supera i  $12.000 \times 10^9$  euro l'anno (Costanza et al., 1997). Lo sviluppo di strategie che possano consentire un uso sostenibile delle risorse costiere richiede di conoscere come il funzionamento e la capacità di fornire beni e servizi degli ecosistemi possano essere mantenute in presenza di disturbi locali di natura antropica che interagiscono con le variazioni delle condizioni climatiche a scala regionale e globale. Come già osservato, vi sono chiari segnali che importanti fattori ecologici, come la temperatura, le precipitazioni e le tempeste stanno divenendo sempre più variabili nel tempo e nello spazio, a causa dell'incremento della frequenza di eventi estremi (Easterling et al., 2000). Accanto a questi cambiamenti globali vi è un gran numero di impatti antropici locali (ad esempio l'inquinamento puntiforme) che sono generalmente meglio compresi, ma raramente integrati concettualmente in modelli di cambiamento globale (Harley et al., 2006). L'aumento della torbidità delle acque costiere e del rischio di inondazioni (e la conseguente perdita e distruzione delle zone costiere) a causa del possibile aumento della frequenza e intensità delle tempeste (Airoldi et al., 2005; Burcharth et al., 2007) ed una moltitudine di attività umane alterano la naturale variabilità spaziale e temporale dei popolamenti di organismi (Claudet & Fraschetti, 2010). Queste perturbazioni locali, associate a condizioni climatiche instabili, possono contribuire a generare nuovi regimi di disturbo, con conseguenze sconosciute sulla biodiversità marina e terrestre. Il futuro degli ecosistemi naturali dipende in gran parte dalla capacità delle specie e dei popolamenti naturali di persistere in presenza di rapidi cambiamenti nelle condizioni fisiche e biologiche e di ampie fluttuazioni ambientali (Hughes et al., 2003). Allo scopo di aumentare la capacità di prevedere gli effetti cumulativi di cambiamenti globali e locali sulla biodiversità, è fondamentale capire fino a che punto le specie ed i popolamenti naturali saranno in grado di resistere a differenti tipi di disturbo e/o di recuperare in seguito al loro intervento. Molti disturbi agiscono a livello di interfaccia terra-mare e si prevede un aumento di fenomeni quali il moto ondoso particolarmente violento (a causa della maggiore frequenza delle tempeste), l'aumento della torbidità delle acque costiere e del rischio di inondazioni (e la conseguente perdita e distruzione delle zone costiere) a causa del possibile aumento della frequenza e intensità delle tempeste (Airoldi et al., 2005; Burcharth et al., 2007).

L'aumento del livello del mare, previsto a seguito dell'innalzamento della temperatura, rappresenta un grave pericolo per le comunità di specie che abitano le aree costiere in quanto esso implica un potenziale spostamento verso l'alto nella distribuzione degli individui ed un cambiamento importante della circolazione oceanica (che guida il trasporto larvale) con conseguenze rilevanti per la dinamica delle popolazioni ed effetti negativi sulla componente

biotica costiera (Harley et al., 2006). L'estensione, l'innalzamento ed il rafforzamento delle difese artificiali lungo le zone costiere contribuiscono a proteggere le aree densamente popolate, ma provocano la perdita di habitat marini costieri con drammatiche conseguenze per le risorse marine viventi (Airoldi et al., 2005; Martin et al., 2005; Anderson et al., 2005). Queste strutture artificiali possono fungere da trampolino di lancio per le specie che sono avvantaggiate dal cambiamento climatico (Helmuth et al., 2006; Hawkins et al., 2008). Lungo le coste dell'Adriatico, le scogliere artificiali erette a difesa ormai pressoché ininterrotta delle spiagge hanno permesso lo sviluppo di specie aliene, quali il muricide *Rapana venosa* (Savini & Occhipinti-Ambrogi, 2006) e l'alga verde *Codium fragile* (Bulleri et al., 2006). Inoltre le scogliere possono favorire lo sviluppo dei polipi di meduse, contribuendo all'aumento di questo gruppo (Richardson et al., 2009; Boero, 2013). Molti organismi marini, tra cui pesci economicamente importanti, trascorrono parte della loro vita nelle zone relativamente protette lungo la costa. La perdita di queste aree può influenzare questi animali in una specifica fase del loro ciclo di vita. Inoltre, i cambiamenti nell'intensità e stagionalità dei fenomeni di risalita delle acque profonde lungo le zone costiere, potrebbero influenzare i meccanismi di dispersione e di ritenzione (dei giovanili) di stock ittici e delle meduse tra le acque costiere e di mare aperto con conseguenze sconosciute per il reclutamento delle specie coinvolte (Philippart et al., 2011). Attualmente, le strategie di gestione delle risorse naturali considerano prevalentemente i disturbi locali e quindi potrebbero non essere adeguate a fronteggiare perturbazioni che si verificano su scala globale (ad esempio, le aree marine protette possono essere uno strumento valido per mitigare gli effetti dell'eccessivo sfruttamento di specie ittiche, ma non per fronteggiare eventi climatici devastanti).

Come già documentato la variabilità delle condizioni climatiche può influenzare significativamente la biomassa e la composizione del plancton su una vasta gamma di scale spaziali e temporali (Hays et al., 2005), attraverso l'impatto esercitato dal vento, per il suo effetto sul rimescolamento verticale e sulla circolazione costiera, la piovosità, che influenza gli input di acqua dolce da terra e dall'atmosfera e quindi gli apporti di nutrienti e di materia organica, e dalla torbidità. Spesso l'influenza del clima non si limita ad effetti locali, ma si origina da cambiamenti di clima su larga scala (Cloern et al., 2007; Borkman & Smayda, 2009). Questi fenomeni rappresentano uno dei maggiori problemi nelle aree costiere, a causa dell'impatto che possono esercitare sulla salute umana, l'acquacultura, la pesca e lo sviluppo turistico. Il numero sempre crescente di specie che vengono identificate come tossiche o dannose, l'intensificazione di eventi in cui la salute umana o le risorse nelle aree costiere vengono compromesse e l'aumento costante delle pubblicazioni scientifiche sull'argomento testimoniano un'espansione a livello globale di questi fenomeni. Per molti anni le cause di questa espansione venivano ricercate nell'aumento dell'eutrofizzazione costiera, che tuttavia sembra spiegare solo in parte o solo in casi specifici il trend positivo delle fioriture algali dannose. In diversi casi è stata invece evidenziata una relazione con il clima, attraverso l'espansione degli areali delle specie tossiche (Penna et al., 2005; Battocchi et al., 2010), o a causa dell'aumento della stratificazione o del rallentamento della circolazione costiera. Evidenziare e quantificare questa relazione, per poter anche predire l'evoluzione di questi eventi a scala locale e globale, è tuttavia una delle sfide maggiori nel campo dell'oceanografia biologica degli ambienti costieri (Hallegraeff, 2010).

Studi sperimentali hanno evidenziato come eventi disturbo estremi associati a mareggiate ed a essiccamento abbiano effetti negativi sulla biodiversità di coste rocciose, influenzando sia la diversità di specie che l'abbondanza di popolazioni. Tuttavia, l'aggregazione temporale di tali eventi, fenomeno in aumento con i cambiamenti climatici (Diaz & Murnane, 2008), ha un effetto di mitigazione inatteso, rendendo l'impatto degli eventi più intensi meno severo per gli organismi (Bertocci et al., 2002; Benedetti-Cecchi et al., 2006). Ciò è stato osservato anche in relazione all'impatto dei cicloni sui coralli. Quando distribuiti in modo aggregato nel tempo, i cicloni dei Caraibi hanno un impatto meno severo rispetto a quando sono distribuiti in modo più regolare nel tempo, a parità di intensità media (Mumby et al., 2011). Il meccanismo alla base di questo apparente effetto positivo dell'aggregazione di eventi estremi, potrebbe essere legato ai maggiori tempi di recupero che gli organismi avrebbero a disposizione rispetto ad un regime di disturbo più regolare. Un singolo evento estremo è spesso sufficiente a causare un forte impatto sugli organismi, per cui avere più di un evento in rapida sequenza non peggiora troppo le cose. Tuttavia, se gli eventi sono aggregati nel tempo vi saranno anche periodi relativamente lunghi di calma prima della comparsa di una nuova condizione estrema, periodi che potranno essere usati dagli organismi per ricolonizzare un'area perturbata o per ripristinare condizioni fisiologiche vitali. I periodi di recupero saranno necessariamente minori nel caso di eventi estremi distribuiti in modo regolare nel tempo. La coincidenza di risultati di esperimenti di campo a piccola scala con indagini descrittive su scale spaziali e temporali più ampie, suggerisce che il regime temporale con cui agiscono gli eventi climatici estremi può svolgere un ruolo fondamentale nel modularne l'impatto. E' quindi importante ampliare questo tipo di ricerca per determinare in quali sistemi e per quali organismi i supposti effetti di mitigazione sono verosimili, permettendo così previsioni più accurate relative all'impatto dei cambiamenti climatici su specie e comunità.

## ***Habitat con biocostruttori***

### ***Alghe calcaree, coralligeno ed habitat mesofotici***

Le alghe rosse coralline sono considerate, dopo i coralli, uno dei più importanti costruttori di reef negli ecosistemi tropicali attuali e sono il maggior costruttore di reef e produttore di carbonato di calcio nelle zone extratropicali. La letteratura scientifica che si è occupata della relazione tra alghe calcaree e conseguenze dei cambiamenti climatici, in particolar modo dell'acidificazione, si è focalizzata su tre aspetti differenti: 1. la risposta del singolo organismo; 2. l'impatto sul ciclo biologico delle diverse specie e 3. i processi di feedback degli ambienti dominati da alghe calcaree, ossia il loro ruolo nel regolare i flussi di CO<sub>2</sub> (Basso & Granier, 2012). Esperimenti in mesocosmo con valori elevati di CO<sub>2</sub> (due volte il valore attuale) indicano una riduzione del 92% della copertura areale da parte delle alghe calcaree e 52% delle alghe che non precipitano carbonato di calcio (Buddemeier, 2007; Kuffner et al., 2008). Osservazioni congiunte di specie cresciute lungo un gradiente naturale di acidificazione ed esperimenti in acquario con manipolazione del pH dimostrano che la copertura degli epifiti corallinacei sulle foglie di *Posidonia* decresce del 18-69% in condizioni di acqua marina normale per annullarsi a pH 7.7, con completa dissoluzione a pH 7 (Martin et al., 2008). Tuttavia, uno studio riguardante la risposta di *Neogoniolithon* a condizioni

$p\text{CO}_2$  corrispondenti a concentrazioni odierne e, rispettivamente, a 2, 3 nonché 10 volte maggiori rispetto ai livelli pre-industriali, fornisce informazioni complesse: la calcificazione netta sembra crescere dall'epoca pre-industriale ad oggi, rimane più o meno stabile a concentrazioni doppie rispetto ad oggi e decresce alle più alte condizioni di  $p\text{CO}_2$  (Ries et al., 2009). In condizioni sperimentali con elevata temperatura (ambiente + 3°C), la percentuale di mortalità delle alghe coralline incrostanti risulta essere da due a tre volte più alta all'aumentare di  $p\text{CO}_2$  (700 ppm), e la dissoluzione dei talli di alghe morte risulta essere da due a quattro volte maggiore (Martin & Gattuso, 2009). La calcificazione netta si riduce di metà in condizioni di elevata temperatura e  $p\text{CO}_2$  (Martin & Gattuso, 2009). Alte concentrazioni di  $\text{CO}_2$  e riscaldamento a 28-29°C sono causa di bleaching per le alghe coralline a condizioni di elevata irradianza, con calcificazione ridotta del 50% a pH 7.8 e dissoluzione netta a pH 7.6 (Anthony et al., 2008).

Dal 1999, dopo l'evento del El Niño del 1998, il Mediterraneo ha iniziato a registrare serie di morie di massa che si verificano ormai con frequenza quasi annuale e in aree diverse del Mediterraneo. Tali eventi hanno alterato in modo pressoché definitivo alcune comunità bentoniche e sono generalmente colpiti gli organismi filtratori, quali poriferi, cnidari, bivalvi ed ascidie (Cerrano & Bavestrello, 2009). La loro scomparsa libera improvvisamente ampie aree di substrato, prontamente occupate da specie opportuniste e/o aliene. Tali mortalità sono dovute ad una serie di concause, scatenate spesso da temperature anomale soprattutto durante il periodo estivo. L'oligotrofia del Mediterraneo è massima durante il periodo estivo determinando per i filtratori una condizione di deplezione trofica (Coma et al., 2009) che, sommata ad altri stress quali elevata temperatura, aumento del consumo di  $\text{O}_2$ , riproduzione sessuata, aumento di *Vibrio* spp., può portare a repentini fenomeni di necrosi su scala locale (Figura 4.8; Vezzulli et al., 2010). Soprattutto la scomparsa di forme erette come le gorgonie aumenta l'esposizione alla luce delle cornici coralligene che, anziché accrescersi grazie alla deposizione di talli calcarei, si ricoprono di alghe verdi filamentose, idrozoi e altre forme prive di scheletro calcareo. Si verifica quindi un vero e proprio shift da una comunità a componente sciafila insediata su un coralligeno in accrescimento verso una dominata da organismi fotofili, meno stabile e meno diversificata, dove l'equilibrio tra i processi di biocostruzione e bioerosione si sposta a favore di quest'ultima (Scinto et al., 2009). Gli eventi di moria di massa stanno rapidamente alterando gli ambienti sommersi, riducendo drasticamente la resilienza delle comunità colpite.

Gli ambienti mesofotici, sempre al di sotto del termoclino ed anche per questo più stabili, rappresentano un potenziale serbatoio di biodiversità (Cerrano et al., 2010), fondamentale per garantire un eventuale recupero delle comunità superficiali anche se ad oggi, i confronti genetici tra popolazioni profonde e superficiali di *Corallium rubrum* non confermano del tutto questa ipotesi (Costantini et al., 2011).

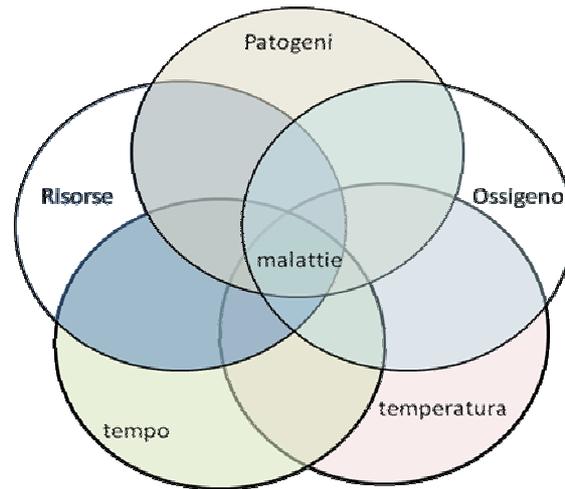


Figura 4.8: Modello concettuale relativo alla mortalità di massa di *P. clavata* nel Mediterraneo nord-occidentale che include il ruolo dell'infezione provocata da patogeni (ad es., *Vibrio ssp.*).

### Trottoirs a vermeti

Tra gli habitat più minacciati in Mediterraneo vi è l'habitat dei reef a vermeti. Questo habitat è probabilmente uno dei meno studiati a livello globale. I reef a vermeti sono biocostruzioni marine superficiali, che contribuiscono significativamente a modificare l'aspetto e le caratteristiche ecologiche della fascia di transizione tra il piano mediolitorale e quello infralitorale lungo le coste rocciose dei mari temperati e tropicali del globo. Sono costruzioni edificate da associazioni di molluschi gasteropodi ed alghe, definite con il termine di "biocostruttori" (Jones et al., 1997). La principale specie dei reef mediterranei, dal punto di vista del contributo strutturale alla formazione dei reef stessi, è *Dendropoma petraeum* (Monterosato, 1892). Questa specie coloniale vive al livello intermareale, al quale è particolarmente ben adattata in virtù di uno spesso opercolo corneo che chiude ermeticamente l'apertura della conchiglia; ciò consente all'animale di resistere alle periodiche emersioni durante l'alternanza dei cicli di marea (Chemello et al., 2000). Altre specie come il *Vermetus* (*V.*) *triquetrus* A. Bivona, 1832, le alghe *Lithophyllum byssoides* (Lamarck) Foslie (1900), *Lithophyllum incrustans* Philippi (1837) and *Neogoniolithon mamillosum* (Hauck) Secchell & Mason (1943) possono supportare *D. petraeum* e la rodoficea calcarea *Neogoniolithon brassica-florida* nel processo di biocostruzione (Chemello & Silenzi, 2011). I reef a vermeti sono tipici dei mari caldo-temperati come quelli della zona mediterranea e si distribuiscono attorno al 38° grado di latitudine, con picchi di abbondanza e frequenza lungo le coste della Sicilia e di Israele (Safriel, 1975). Il limite superiore di distribuzione sembra essere rappresentato dall'isoterma invernale dei 14°C. I reef formano habitat complessi il cui importante ruolo di ecosystem engineer è riconosciuto da molti autori (Chemello & Silenzi, 2011). Essi aggregano un numero molto elevato di specie come oltre 100 specie algali (Mannino, 1992), tra cui riveste un ruolo di particolare rilevanza strutturale la rodoficea calcarea *Neogoniolithon brassica-florida* (Harvey) Secchell & Mason (1943), che contribuisce al consolidamento della costruzione (Chemello et al., 2000) ed il *Lithophyllum*

*lichenoides*, che formando spesse incrostazioni o cuscinetti mammellonari si colloca alle estremità della piattaforma. Ma anche *Laurencia papillosa*, frequente nelle pozze della scogliera, e *Cystoseira amentacea var. stricta* che è caratteristica dell'estremità distale del marciapiede, ai limiti inferiori del livello di bassa marea (Chemello & Silenzi, 2011). Il reef ospita innumerevoli forme di vita sessile e vagile, da dense lettiere mono-strato del bivalve *Mytilaster minimus* e varie specie di patelle, al granchio *Eriphia verrucosa* ed alle specie ittiche sedentarie e transienti. La struttura di queste biocostruzioni in Mediterraneo segue, generalmente, uno schema ricorrente composto, nella parte più interna, da un sottile strato di alghe incrostanti a *N. brassica-florida* e *L. byssoides*, un margine interno ampio sino a 50 cm a *D. petraeum*, una zona a pozze di scogliera, detta cuvette, ricavate all'interno del reef, la parte distale più esterna composta *D. petraeum* ed infine la parte ai margini del limite inferiore di bassa marea caratterizzata da una cintura a *Cystoseira amentacea var. stricta*. La grande complessità strutturale dei reef a vermeti rappresenta al contempo la loro vulnerabilità. Come nel caso di tutte le specie strutturanti ogni fattore antropico che è in grado di minacciare la specie biocostruttrice principale, sarà in grado di minacciare, consequenzialmente, tutte le specie associate con ripercussioni sulla diversità locale. I fattori globali come innalzamento della temperatura, del livello del mare, ipossia ed acidificazione rappresentano una minaccia per questi habitat. Piccole alterazioni degli schemi di variabilità di temperatura corporea, al di fuori dei limiti di tolleranza termica delle specie biocostruttrici, possono essere in grado di compromettere il funzionamento metabolico delle specie biocostruttrici e questo avrebbe ripercussioni sul funzionamento dell'interno assemblage del reef. Basti pensare che vivendo a livello del mare, il *Dendropoma* rappresenta un buon indicatore delle fluttuazioni di livello marino in zone tettonicamente stabili (Laborel & Laborel-Deguen, 1996; Antonioli et al., 1999; Silenzi et al., 2009), e sembra essere un buon marker delle temperature superficiali delle masse d'acqua (Silenzi et al., 2004; Sisma-Ventura et al., 2009). All'innalzamento di temperatura delle masse d'acqua del bacino levantino che lambiscono le coste israeliane (Rilov et al., 2004), sembra sia dovuta la quasi totale estinzione del *Dendropoma* dei reef israeliani, anche se ulteriori approfondimenti si ritengono ancora necessari per comprendere a fondo le ragioni di tali morie. Con la scomparsa del *Dendropoma* viene meno anche la complessità strutturale dei reef che risulta essere ormai ridotta e severamente compromessa. La riduzione della componente vitale dei reef che rappresenta una vera e propria "protezione biogenica" per le coste, porta ad un incremento dell'erosione costiera con possibili distruzioni degli ecosistemi adiacenti (ad es. spiagge e lagune). Molte piattaforme a vermeti con margine ridotto a causa dell'erosione sono ora dominati dal bivalve invasivo di origine Lessepsiana (Sarà et al., 2000), *Brachidontes pharaonis*, che pur essendo molto raro in passato sino a qualche decennio fa, domina ora la comunità a vermeti sulle coste israeliane (Safriel & Sasson-Frostig, 1988). Questo fatto suggerisce che l'estinzione dei reef a *Dendropoma* potrebbe avere avuto un ruolo facilitativo nel determinare questa invasione biologica (Rilov et al., 2004). Questo bivalve, grazie al trasporto umano nelle acque di sentina delle grandi navi betoniere che solcano il Mediterraneo da levante verso Gibilterra (Rilov & Galil, 2009), ha di recente invaso anche le coste siciliane (Sarà et al., 2000) sebbene dati quantitativi ed osservazioni locali indicano abbondanze ancora piuttosto limitate all'interno delle cuvette dei vermeti di quest'area geografica. Recenti studi basati su proiezioni di tipo meccanicistico-bioenergetico mostrano come questo

bivalve lessepsiano ha potenzialità nell'invasione di molti siti attorno al 38° grado di latitudine, con possibili conseguenze sulla diversità associata ai reef a vermeti (Sarà et al., 2013a,b). Nonostante i pochi dati a disposizione, è possibile anche supporre che i futuri innalzamenti del livello del mare, anche di poco superiori ai 10 o 20 cm, porterebbero ulteriori minacce ai reef a vermeti. La maggior parte delle specie biocostruttrici e quelle associate al reef infatti investono nel mantenimento di strategie specifiche per resistere all'emersione prolungata a bassa marea; essi dovrebbero adattare le risposte funzionali alle nuove condizioni (sensu Helmuth et al., 2006) e ciò, comportando una ulteriore spesa energetica, determinerebbe la riduzione della fitness individuale con ripercussioni sulla persistenza delle popolazioni in Mediterraneo.

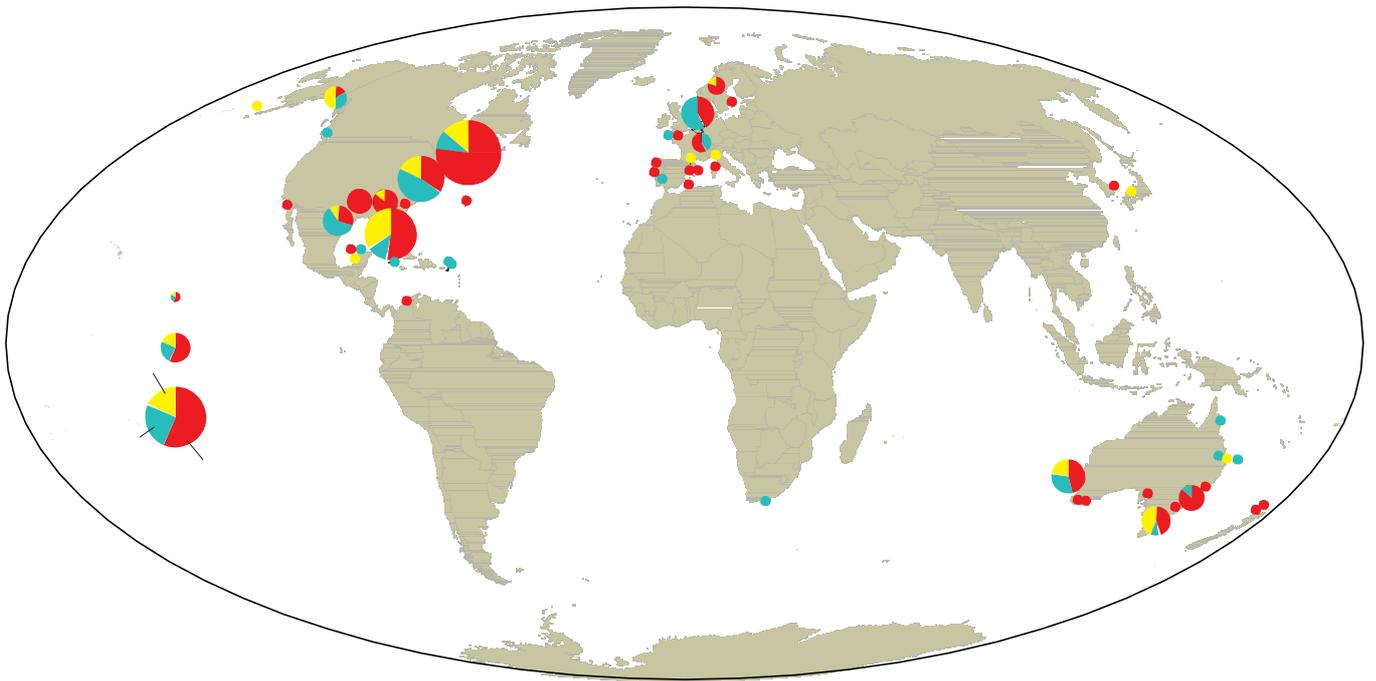
## ***Habitat vegetati***

### ***Habitat a fanerogame marine***

Le fanerogame marine coprono circa il 0,1-0,2% della superficie dell'oceano su scala globale, e sono ecosistemi altamente produttivi che giocano un ruolo chiave nell'ecosistema costiero. Una stima prudente della superficie totale coperta da piante marine è circa 177.000 km<sup>2</sup> (Green and Short F.T. et al., 2003), ed il valore economico di tutti i servizi ecosistemici forniti dalle fanerogame marine si avvicina ad oltre 3.800 × 10<sup>9</sup> dollari all'anno su scala globale (Costanza et al., 1997). Le fanerogame marine forniscono importanti servizi ecologici, tra cui la produzione e l'export di carbonio organico, influenzano il ciclo dei nutrienti, stabilizzano i sedimenti, sono caratterizzate da una elevata biodiversità, e regolano importanti trasferimenti trofici verso gli habitat adiacenti nelle regioni tropicali e temperate (Orth et al., 2006).

I cambiamenti del livello del mare, della salinità, della temperatura, della CO<sub>2</sub> atmosferica, e delle radiazioni UV possono alterare la distribuzione, la produttività, e la composizione delle fanerogame marine. Ne consegue che i potenziali cambiamenti nella distribuzione e struttura delle comunità di fanerogame marine possono avere implicazioni importanti per il biota sia su scala locale sia su scala regionale, per la geomorfologia della linea di costa e per i cicli biogeochimici (Short & Neckles, 1999). La riduzione dell'estensione delle praterie a fanerogame marine è ormai ben documentata a causa dei molteplici stress a cui questi ecosistemi sono sottoposti. Tra questi possiamo elencare: i danni meccanici (dragaggio, pesca e ancoraggio), l'eutrofizzazione, l'acquacoltura, l'interramento delle praterie, la massiccia urbanizzazione della costa e le alterazioni della rete alimentare. Oltre al disturbo di origine prettamente antropico, le praterie di fanerogame sono sottoposte agli effetti negativi dei cambiamenti climatici come l'erosione a causa dell'aumento del livello del mare, le tempeste sempre più violente, l'aumento dell'irraggiamento degli ultravioletti, cicloni ed inondazioni (Duarte, 2002). Una recente revisione di 215 studi condotti su scala globale ha messo in evidenza che le praterie di fanerogame sono scomparse con un tasso di 110 km<sup>2</sup> anno<sup>-1</sup> a partire dal 1980 e che il 29% dell'estensione conosciuta è cominciata a partire dal 1870 quando è stata documentata l'esistenza della prima prateria. Inoltre, i tassi di perdita di praterie sono cresciuti da una media di 0.9% all'anno prima del 1940 al 7% all'anno a partire dal 1990. Questi tassi sono confrontabili con quanto riportato per mangrovie, barriere coralline e foreste tropicali e inseriscono le fanerogame fra i sistemi più minacciati sul pianeta. Le

attuali perdite di praterie di fanerogame marine sono destinate ad aumentare nel tempo in particolare nelle aree del Sud-est asiatico e dei Caraibi, dove la pressione umana è in forte crescita proprio lungo le zone costiere caratterizzate dalla presenza di questo habitat (Figura 5.8). Il problema è esacerbato dal fatto che la perdita di fanerogame ha la conseguenza di distruggere importanti relazioni funzionali con altri habitat, e il loro declino è presumibilmente in grado di determinare impatti molto più ampi e duraturi rispetto alla semplice perdita (Waycott et al., 2009). Da qui nasce l'esigenza di una legislazione mirata a proteggere questi habitat e la stessa fascia costiera, e della necessità di maggiori sforzi per monitorare e ripristinare l'ecosistema marino.



**Figura 5.8:** Mappa globale che indica i cambiamenti avvenuti nell'estensione di fanerogame in diverse regioni costiere. Tali cambiamenti vengono rappresentati in termini di declino (rosso) o aumento (verde) quando l'estensione dell'area aumenta di una percentuale superiore al >10%. In giallo vengono rappresentati cambiamenti non percepibili in cui l'area finale corrisponde al  $\pm 10\%$  dell'area iniziale (Fonte: Dati da 131 siti in Nord America, 34 siti in Europa e 40 siti in Australia).

### Foreste di macroalghe

Le foreste di macroalghe e "kelp" sono presenti lungo molti tratti rocciosi delle coste temperate del mondo, e sono tra i sistemi filogeneticamente più diversi e produttivi degli oceani (Steneck et al., 2002). Temperatura, precipitazioni e idrodinamismo svolgono un ruolo importante nel controllare le differenze su scala locale e regionale nella dinamica delle popolazioni e nella distribuzioni delle diverse specie. In molte zone costiere dove la presenza di attività umane ha modificato le condizioni chimiche e biologiche dell'area, le foreste di kelp sono state sostituite da tappeti di

alghe filamentose (Airoldi & Beck, 2007). La presenza di una foresta di kelp inibisce lo sviluppo di tappeti algali (Russell, 2007): le teorie recenti suggeriscono che il cambiamento di habitat dalle foreste di macroalghe e kelp ai tappeti di alghe è causato da una riduzione della qualità dell'acqua (Gorman et al., 2009) impedendo il recupero di foreste di macroalghe e kelp. La combinazione di più fattori di stress sia su scala globale (ad esempio aumento della CO<sub>2</sub>) e locale (ad esempio l'eutrofizzazione) può determinare l'espansione di altre coperture algali che vanno ad occupare lo spazio a disposizione, causando la conseguente riduzione delle foreste di kelp (Russell et al., 2009), del loro reclutamento (Connell & Russell, 2010), della loro capacità a resistere al disturbo. Quando la copertura di kelp viene meno, si verificano profondi cambiamenti delle condizioni ambientali locali, con effetti a cascata sulla diversità e sul funzionamento del sistema nel suo complesso. Recentemente è stato messo in evidenza che gli effetti negativi del riscaldamento globale sull'ecosistema possono venir mitigati grazie alla comprensione del legame tra le risposte fisiologiche ed ecologiche delle specie di alghe rispetto all'ambiente circostante (Wernberg et al., 2010).

Le foreste di macroalghe erette (canopies di alghe appartenenti all'ordine Fucales) e la vegetazione delle paludi a salinità variabile rappresentano alcuni tra gli habitat più ricchi di specie, produttivi e di grande valore ecologico lungo le coste temperate. Questi habitat stanno diventando sempre più rari a livello locale, regionale e globale. Ciò è preoccupante in quanto tali habitat giocano un ruolo chiave nella produzione primaria costiera, nel ciclo dei nutrienti e nella mitigazione del disturbo antropico. Nel Mar Mediterraneo, consistenti riduzioni di habitat ed estinzioni locali sono state segnalate in molte regioni. I frammenti di habitat rimasti sono sotto crescente minaccia, ed i benefici complessivi delle attuali misure di protezione sono complessivamente modeste (Airoldi & Beck, 2007).

Le foreste mediterranee sono dominate da *Cystoseira*. Queste foreste offrono ombra e riparo per vari popolamenti di animali e piante. Tale habitat è in regressione soprattutto nelle aree urbane (Benedetti-Cecchi et al., 2001; Thibaut et al., 2005; Mangialajo et al., 2008) ed è stato sostituito da alghe a feltro e da specie invasive (Airoldi, 1998; Benedetti-Cecchi et al., 2001), con conseguenze importanti per le comunità ad esse associate (Mangialajo et al., 2008). Lungo la costa adriatica, rimangono solo 2 delle 7 specie di Fucales (Perkol-Finkel & Airoldi, 2010). Le rimanenti porzioni sono ancora in pericolo, con 6 specie mediterranee di *Cystoseira* e 2 specie di *Laminaria* elencate nell'Allegato I della Convenzione di Berna<sup>81</sup>. Il Piano d'Azione per il Mediterraneo, adottato nel quadro della convenzione di Barcellona<sup>82</sup>, identifica la conservazione di *Cystoseira* come una priorità. Molte altre macroalghe sono elencate nel Red Book del Mediterraneo e del Mar Nero<sup>83</sup> e

---

<sup>81</sup> Specie di flora rigorosamente protette, pag. 9-23, [http://www3.unisi.it/did/dip-direcon/convenzione\\_berna\\_19\\_09\\_79.pdf](http://www3.unisi.it/did/dip-direcon/convenzione_berna_19_09_79.pdf).

<sup>82</sup> La Convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dai rischi dell'inquinamento, o Convenzione di Barcellona, è lo strumento giuridico e operativo del Piano d'Azione delle Nazioni Unite per il Mediterraneo (MAP). La Convenzione è stata firmata a Barcellona il 16 febbraio 1976 da 16 governi ed è entrata in vigore nel 1978. L'Italia l'ha ratificata il 3 febbraio 1979 con legge 25.1.1979, n. 30.

<sup>83</sup> Black Sea Red Data Book - <http://www.grid.unep.ch/bsein/redbook/index.htm>.

ad oggi sono state registrate pochissime inversioni di tendenza, sempre associate alla presenza di Aree Marine Protette (Sala et al., 2012; Frascchetti et al., 2012).

La perdita di canopy è probabilmente legata ad una sinergia di fattori di stress di origine antropica e naturale, tra cui la modifica e la frammentazione degli habitat, l'arricchimento di nutrienti e l'aumento della sedimentazione, dei metalli pesanti, dell'inquinamento in genere, il pascolo e la raccolta diretta, le tempeste, le malattie, e le epidemie di erbivori (Guidetti et al. 2004; Guidetti & Boero 2004; Sales & Ballesteros, 2009; Perkol-Finkel & Airoidi, 2010). Alcune evidenze suggeriscono che i futuri scenari climatici possono rappresentare ulteriori minacce per questi ecosistemi (Gorman et al., 2009; Russell et al., 2009; Connell & Russell, 2010).

Le foreste scomparse tendono ad essere sostituite da formazioni di minore complessità strutturale, come ad esempio le alghe a feltro, mitili o i barren di ricci (Benedetti-Cecchi et al., 2001; Perkol-Finkel & Airoidi, 2010). Le foreste e il sistema a barren-feltri algali sono stati proposti quali stati alternativi in diversi regimi di disturbo e stress (Irving et al., 2009). Le cause prossime di questi cambiamenti di habitat sono spesso facilmente osservabili (ad esempio, un grande apporto di sedimenti), ma i fattori che impediscono il recupero delle foreste di canopy sono notoriamente più difficili da identificare. Così, mentre ci sono esempi di recupero di canopy dopo suo impoverimento derivante da esplosioni demografiche di ricci (Shears & Babcock, 2002), o da gravi ed intensi eventi di disturbo (ad es. El Niño-Southern Oscillation-ENSO; Dayton et al., 1992), nelle regioni dove le foreste algali vengono sostituite da feltri, sedimenti, o mitili non è chiaro cosa impedisca il loro recupero (Airoidi, 1998; Perkol-Finkel & Airoidi, 2010; Gorman & Connell, 2009). Al momento, ci sono poche informazioni disponibili sulla misura in cui diverse sorgenti di disturbo possano impedire la ricrescita delle foreste e praticamente non si sa nulla su come i fattori di stress di origine antropica (ad es. nutrienti e sedimenti) possano essere gestiti per facilitare il recupero di questi habitat.

## *Habitat profondi*

### *Canyon sottomarini*

Il riscaldamento globale può influenzare la frequenza e l'intensità degli eventi episodici guidati dal clima che agiscono negli ecosistemi marini. Tra gli eventi episodici il fenomeno più noto è il Dense Shelf Water Cascading (DSWC), ovvero una caduta di acqua densa lungo le scarpate continentali (Canals et al., 2006; 2009). I canyon sottomarini, per la loro struttura e morfologia, possono essere considerati come dei veri e propri canali che favoriscono la caduta di acque dense dalla piattaforma alla maggiori profondità, con un meccanismo che può essere paragonato ad una cascata (Canals et al., 2006). Questo evento è stagionale e deriva dalla formazione di acqua densa a causa del raffreddamento e/o evaporazione delle acque in superficie, e si verifica nei margini continentali sia ad alta che a bassa latitudine (Ivanov et al., 2004). Gli eventi di cascata sono in grado di trasportare grandi quantità di acqua e di sedimenti, di rimodellare il fondo dei canyon sottomarini e di influenzare rapidamente il fondo marino anche a considerevoli profondità (piane adali). Inoltre, la frequenza e l'intensità di questi fenomeni (determinati dai cambiamenti climatici)

possono avere un impatto significativo sulla distribuzione della materia organica negli ecosistemi di acque profonde e sulla quantità di carbonio organico immagazzinato nei margini continentali e nei bacini oceanici (Canals et al., 2006).

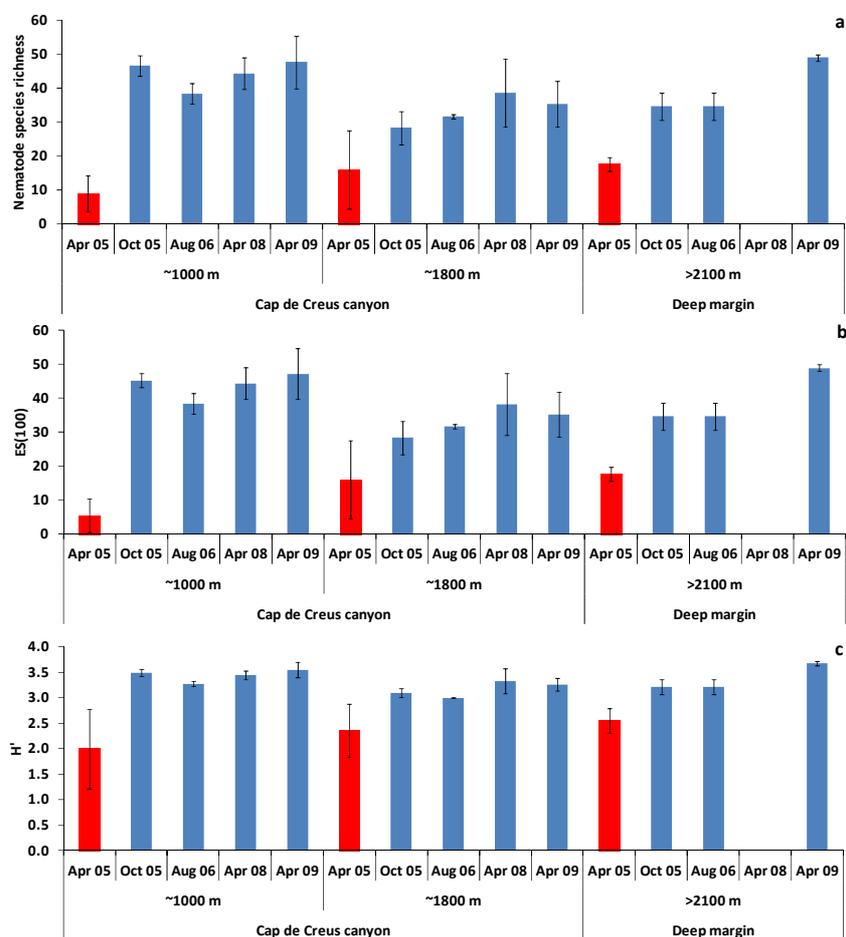


Figura 6.8: Impatto della cascata di acque dense sulla biodiversità del canyon Cap de Creus e del bacino profondo adiacente. a: numero di specie di nematodi; b: numero atteso di specie di nematodi; c: indice di Shannon-Wiener.

In un recente studio condotto lungo il margine catalano, ad ovest del Golfo del Leone, è stato dimostrato un effetto diretto del DSWC sugli ecosistemi di acque profonde (Figura 6.8, Pusceddu et al., 2010; 2012), nonché sulle loro risorse biologiche (Company et al., 2008; Pusceddu et al., 2010). In questa zona, è stato visto che gli eventi di cascading possono causare il crollo delle catture del gamberetto *Aristeus antennatus*, specie importante anche dal punto vista economico. La popolazione di questa specie è stata in grado di recuperare e tornare ai livelli di abbondanza confrontabili a quelli precedenti ad un drammatico evento di cascading in un periodo relativamente breve (circa 3 anni) (Company et al., 2008). Tuttavia specie diverse hanno capacità di recupero molto diverse rispetto a questi eventi di disturbo. Dal momento che questo tipo di eventi è un fenomeno globale che interessa numerosi margini continentali, la sua influenza sugli

ecosistemi di acque profonde e sulla pesca in tutto il mondo potrebbe essere più grande di quanto fino ad ora ipotizzato (Company et al., 2008).

### *I bacini profondi*

Gli oceani occupano circa il 71% della superficie terrestre e presentano una profondità media di 3.700 m. Gli ambienti profondi (oltre i 2.000 m profondità) rappresentano circa il 60% della superficie terrestre e possono essere influenzati dai cambiamenti climatici, con importanti implicazioni e conseguenze su scala globale. Per gran parte del secolo scorso, si è pensato che il mare profondo fosse in qualche modo “tamponato” dai processi che regolano l'oceano superficiale. Oggi sappiamo che sebbene l'oceano profondo sia più stabile degli ambienti di margine continentale, tale stabilità è solo relativa: i fondali marini infatti rispondono dinamicamente al cambiamento globale.

Il riscaldamento globale continuerà nel futuro e non influenzerà unicamente le acque, ma anche i fondali marini. Ad esempio, recenti simulazioni hanno dimostrato che ~ 85% del metano allocato lungo i margini continentali potrebbe essere destabilizzato qualora il riscaldamento delle acque di fondo superi i 3°C: la prevista sublimazione dei gas idrati potrebbe a sua volta guidare una massiccia iniezione di gas ad effetto serra in atmosfera, inducendo, con un meccanismo di feedback positivo, un ulteriore riscaldamento del pianeta (Archer, 2007; Buffett & Archer, 2004).

Gli ecosistemi batiale e abissale (> 1000 m di profondità) sono i più grandi habitat solidi sulla Terra, e ricoprono circa il 50% della superficie terrestre. Soltanto una frazione molto piccola di questi ambienti è stata esplorata e la superficie che è stata fisicamente campionata fino ad oggi ammonta a pochi ettari. Gli oceani profondi sono caratterizzati da livelli di biodiversità tra le più alte del pianeta e dalla presenza di importanti risorse biologiche e non rinnovabili. Gli ambienti profondi dipendono da sussidi energetici alloctoni principalmente derivati dalla produttività primaria in superficie, interessata, in alcune aree peculiari, da notevoli input di origine terrestre che passano sopra i margini continentali (Canals et al., 2006). Anche se le quantità di carbonio e di altri elementi che raggiungono la profondità dei fondali marini sono spesso molto basse, la vasta superficie di questi sistemi implica che essi siano di rilievo globale per i cicli biogeochimici di carbonio, azoto e fosforo (Dell'Anno & Danovaro, 2005). I biota bentonici di acque polari e profonde sono adattati a temperature basse e costanti (da -1,8 a ca. +4 °C, a seconda della regione e la profondità dell'acqua). Pertanto il riscaldamento del fondo marino influenzerà in modo significativo uno degli ecosistemi più grandi e più ricchi della Terra, peraltro largamente ancora sconosciuto. Anche se la nostra conoscenza di alcuni eventi climatici [ad esempio El Niño Southern Oscillation (ENSO) event] in grado di indurre modificazioni significative nella struttura e funzionamento degli ecosistemi stia migliorando, il ruolo delle variazioni climatiche nella regolazione delle popolazioni e comunità marine non è ben chiaro (Fields et al., 1993); ancora meno informazioni sono disponibili circa gli impatti sugli oceani profondi (Lamshead et al., 2002; Danovaro et al., 2001; Danovaro et al., 2002; Danovaro et al., 2004). Importanti studi sugli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini hanno avuto luogo nel Oceano Pacifico e molti di loro si sono concentrati sulle conseguenze di eventi ENSO. Il fenomeno El Niño nel Pacifico

orientale provoca un approfondimento della stratificazione, diminuendo le concentrazioni di nutrienti nelle acque superficiali, e diminuendo la produzione primaria e l'esportazione di materiale organico verso il fondo. Nel corso di questi eventi di riscaldamento, gli ecosistemi bentonici di acque profonde sono sottoposti a condizioni oligotrofiche, con ripercussioni sull'intera rete alimentare. A questo proposito Smith & Kaufmann, (1999) hanno riportato una riduzione significativa di approvvigionamento di particelle alimentari al fondo importanti implicazioni sui cicli biogeochimici, nonché sulla struttura e la dinamica delle comunità. Il Mar Mediterraneo è un sistema unico per la sua omeotermia permanente sotto i 200-300 m di profondità, con acque profonde particolarmente calde (12-14 °C). E' anche un sistema caratterizzato da forti gradienti climatici e trofici (Turley et al., 2007; Danovaro et al., 1999). Altre caratteristiche importanti di questo "oceano in miniatura" semi-chiuso sono: limitati input di acque dolci (il Mediterraneo è caratterizzato da un deficit d'acqua dolce di 0,9 m all'anno per effetto di una prevalenza dell'evaporazione su precipitazioni e deflusso; Bethoux et al., 2002a); maree di piccola ampiezza (regime microtidale), alte concentrazioni di ossigeno. Anche se occupa solo 0<1% della superficie degli oceani del mondo e circa lo 0,32% del suo volume, il Mediterraneo è un hot spot di biodiversità. La ricchezza di specie del Mediterraneo (ca. 8500 specie di metazoi) rappresenta il 7,5% di tutte le specie marine descritte (4-18% secondo il gruppo considerato). Il 67% delle specie mediterranee si trovano nel bacino occidentale, il 38% nel Mare Adriatico, il 35% nella parte centrale, il 44% nel Mar Egeo e il 28% nel mare levantino. Questa tendenza indica un chiaro impoverimento della biodiversità da ovest ad est, riflettendo i ben noti gradienti climatici e soprattutto trofici. Il Mar Mediterraneo è inoltre altamente "biodiverso" in quanto è un mare caldo a latitudini temperate: ospita pertanto sia specie temperate sia subtropicali. Le variazioni stagionali del clima marino mediterraneo seguono la stagionalità tipica unimodale per la temperatura, mentre la maggior parte degli altri fattori ambientali mostra una complessa struttura della varianza, con scale temporali di oscillazione di 50-100 giorni (per esempio, l'azione delle onde) (Duarte & Chiscano, 1999). Nonostante ciò possa influenzare il livello di confidenza delle previsioni da modello, la tendenza al riscaldamento del Mediterraneo (ca. +0,5 °C negli ultimi 15 anni), l'aumento del livello del mare (0,8-3 mm all'anno negli ultimi 100 anni), le variazioni in intensità e frequenza delle precipitazioni, l'aumento della frequenza di eventi estremi (ondate di calore, siccità, tempeste di pioggia) sono oggi un dato di fatto (EEA, 2005). Recenti evidenze indicano senza dubbio il riscaldamento del Mar Mediterraneo (Bethoux et al., 1990). Tendenze in aumento di temperatura e salinità sono state osservate sin dagli anni '60 anche nei bacini profondi del Mediterraneo occidentale (Bethoux & Gentili, 1999; Bethoux et al., 2002b). In soli 30 anni (1959-1989) la temperatura delle acque profonde al di sotto di 400 m di profondità è aumentata di circa 0,12 °C (Bethoux et al., 1990). Utilizzando una raccolta decennale di dati (dal 1989 al 1998) nel Mediterraneo orientale, Danovaro et al., (2001; 2004) hanno dimostrato che anche gli ambienti di acque profonde e le comunità che vi abitano possono essere fortemente influenzati da piccole variazioni di temperatura. Infatti, un improvviso e modesto cambiamento di temperatura (di circa 0,4°C) ha causato un cambiamento significativo della biodiversità dei nematodi che vivono nei sedimenti profondi del bacino orientale del Mediterraneo. Questa diminuzione della temperatura ha determinato anche una riduzione della diversità funzionale ed una maggiore uniformità nella

composizione delle specie tra comunità di nematodi del Mediterraneo con quelle che vivono a temperature più fredde dell'Atlantico (Figura 7.8).

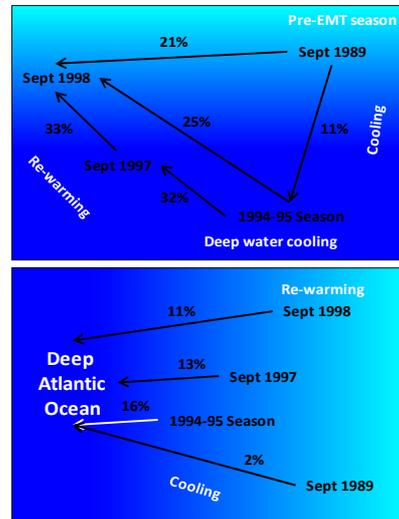


Figura 7.8: Variazioni nella composizione del popolamento a nematodi nei sedimenti del Mediterraneo orientale durante fasi alterne di raffreddamento e riscaldamento (Fonte: Pusceddu et al., 2010).

Questi risultati suggeriscono che la fauna di ambienti profondi è vulnerabile alle alterazioni ambientali, anche nel caso di variazioni di temperatura molto modeste. Nel Pacifico nord-orientale, i cambiamenti nell'abbondanza della megafauna sembrano essere in relazione a cambiamenti a lungo termine del flusso di carbonio organico e, quindi, alla produttività nelle acque superficiali sovrastanti (Ruhl & Smith, 2004). L'aumento di abbondanza è associato ad una diminuzione della dimensione media del corpo, suggerendo il verificarsi di eventi di reclutamento, mentre forti cali di abbondanza sono stati indotti dalla competizione e dalla sopravvivenza (Ruhl, 2007). Nell'Atlantico nord-orientale si sono verificati importanti cambiamenti su larga scala dell'abbondanza della megafauna nel 1996, quando alcune specie, praticamente rare per molti anni, sono diventate particolarmente abbondanti. Tra queste ricordiamo la specie di oloturia *Amperima rosea*, la cui abbondanza è aumentata di più di tre ordini di grandezza divenendo una specie dominante della megafauna di questa area (Billett et al., 2001). Le serie temporali raccolte in questa zona hanno messo in evidenza la presenza di importanti cambiamenti nel flusso di materia organica al fondo, in particolare nel 2001, che potrebbero essere legati all'improvvisa massiccia comparsa di *A. rosea* (Billet et al., 2010). Nell'Artico, nei pressi della Stazione Hausgarten vicino alle isole Svalbard è stata raccolta la prima serie temporale a lungo termine del benthos della regione. Nell'ambito del progetto di DEEPSETS (Deep-sea & Extreme Environments, Patterns of Species and Ecosystem Time Series), uno studio basato su una raccolta dati di cinque anni (2000-2004) sui nematodi marini ha rivelato che i cambiamenti di abbondanza e composizione delle comunità sono dovuti alle modifiche della disponibilità di cibo. Per gli organismi più grandi, un sistema di

telecamera ha evidenziato una diminuzione significativa dell'abbondanza della megafauna a 2.500 m di profondità (Barange et al., 2011). Impatti indotti dal cambiamento globale si verificano in tutti i tipi di habitat esaminati finora, anche se in misura diversa. I cambiamenti sono principalmente dovuti alla presenza di variazioni a lungo termine sia per la temperatura che per la riduzione di ossigeno o l'acidificazione degli oceani. Tuttavia, alcuni degli impatti legati al cambiamento climatico si verificano episodicamente. Questo è il caso della formazione di acqua densa sulla scarpata continentale che scendendo in profondità trasporta sedimenti e acqua fredda (Canals et al., 2006) o le anomalie di temperatura che possono provocare una mortalità di massa nelle comunità costiere (Cerrano et al., 2000; CIESM, 2008).

## **Impatto dei cambiamenti climatici sul funzionamento degli ecosistemi marini**

Gli effetti del cambiamento globale possono influenzare un'ampia varietà di componenti dell'ecosistema inclusi una vasta gamma di organismi quali batteri, Archaea e protisti, con diversa distribuzione geografica (Walther et al., 2001; Genner et al., 2004). I virus sono le componenti più abbondanti tra le "forme di vita" nei sistemi marini (Suttle, 2005; 2007), con un numero che è circa 15 volte più elevato di batteri e Archaea. Studi recenti hanno dimostrato che i virus giocano un ruolo chiave sul metabolismo e sui cicli biogeochimici globali dei sistemi marini profondi (Danovaro et al., 2008a). Dato che la maggior parte della biomassa negli oceani è costituita da microrganismi, si può prevedere che i virus e gli altri microrganismi (inclusi procarioti ed eucarioti) giocheranno un ruolo importante come agenti e beneficiari dei cambiamenti climatici globali. La replicazione ed il ciclo vitale di un virus sono strettamente connesse con il metabolismo della cellula ospite, e si può quindi prevedere che gli aumenti di temperatura possano influenzare le interazioni tra i virus e le cellule che sono in grado di infettare (Danovaro et al., 2011). Una recente analisi condotta su scala globale ha rivelato che la frazione della varianza totale spiegata dal rapporto tra temperatura e virus è generalmente bassa, indicando che i fattori che influenzano la distribuzione del virioplancton sono più complessi di quelli previsti dalla sola temperatura (Danovaro et al., 2011). I virus hanno il potenziale per interagire con il clima attraverso il loro contributo alle particelle biotiche dell'aerosol marino e contribuendo al rilascio del DMS (dimetilsolfuro) attraverso la lisi dei loro ospiti autotrofi. Questi processi devono essere quantificati e inclusi negli studi di modellizzazione che si occupano delle interazioni oceano-atmosfera. Le zone di minimo di ossigeno aumenteranno negli oceani nel prossimo futuro a causa dei cambiamenti climatici, con conseguenze importanti sui cicli biogeochimici di azoto e fosforo e sulla distribuzione degli organismi. Giacché gli eucarioti erbivori e batterivori sono più sensibili rispetto ai procarioti alla riduzione dei livelli di ossigeno, si può prevedere che la mortalità indotta dai virus sui procarioti aumenterà a spese di protisti e batterivori. Gli effetti dell'acidificazione degli oceani su virus marini sono incerti, ma possiamo anticipare che la maggior parte dei cambiamenti sono dovuti agli effetti del pH sugli organismi ospiti dei virus come batteri, Archaea, protisti e metazoi, che sono altamente dipendente dal pH. Inoltre, poiché alcuni processi metabolici fondamentali delle comunità microbiche sono molto sensibili (e inibiti) da piccole

riduzioni di pH, l'acidificazione degli oceani può avere una profonda influenza sul funzionamento globale delle comunità microbiche e sulla interazione virus-ospite (Danovaro et al., 2011). Una recente analisi sui possibili effetti del riscaldamento globale sui procarioti effettuata nel Mare Artico ha rivelato che la luce per il fitoplancton e nutrienti inorganici/organici per i batteri eterotrofi sono più importanti rispetto ai cambiamenti avvenuti a causa della temperatura (Kirchman et al., 2009). Nei sistemi polari, dove gli effetti dei cambiamenti climatici sono più gravi, i processi microbici sono particolarmente sensibili a piccole variazioni ed hanno impatti potenzialmente molto grandi sui flussi di carbonio e sulle funzioni dell'ecosistema.

Anche a livello di organizzazione biologica più elevata, come già fatto rilevare nelle sezioni precedenti, ci si attende che il cambiamento climatico abbia un ruolo rilevante nel modificare la distribuzione delle specie e le loro interazioni.

Anche se di fatto è molto difficile prevedere come questi cambiamenti potranno modificare il funzionamento dei diversi ecosistemi, ci si attende che una generalizzata diminuzione nella beta diversità, in termini di turnover di specie tra habitat o lungo gradienti ambientali. Ne consegue la banalizzazione di habitat ed ecosistemi con l'aumento della presenza di specie resistenti all'acidificazione ed alle temperature più elevate che possono determinare la perdita/riduzione di funzioni ecosistemiche, beni e servizi ad esse associate.

Le modificazioni del clima possono indurre effetti nelle funzioni ecosistemiche con la mediazione di metazoi alieni introdotti ad affinità calda: ad esempio due specie di pesci Siganidi erbivori provenienti dal Mar Rosso hanno indotto profonde modifiche nella comunità di fondo duro sulle coste Levantine prelevando la copertura algale e lasciando libero lo spazio all'insediamento del bivalve *Brachidontes pharaonis* (anch'esso di origine Eritrea), con il risultato di accelerare il flusso del carbonio (Galil, 2007; Sarà et al., 2013a). Da notare che le tre specie si ritrovano ora anche in località italiane. A questo proposito Occhipinti-Ambrogi & Ambrogi, (2009) citano diversi casi di possibili interazioni tra clima e specie introdotte invasive che hanno prodotto variazioni significative negli habitat e nelle funzioni di ecosistemi mediterranei, e propongono una rinnovata serie di ricerche per sostenere la possibilità di prevedere l'evoluzione di questo mare. Il cambiamento è la caratteristica principale dell'evoluzione e, quindi, della ecologia. Variazione delle caratteristiche abiotiche di un ambiente possono indurre cambiamenti nella composizione di comunità di specie che possono, a loro volta, modificare il funzionamento degli ecosistemi. I cambiamenti biotici, a loro volta, possono modificare le caratteristiche abiotiche. Il risultato è una reazione a catena che provoca un cambiamento continuo, eventualmente alterando non solo la struttura ma anche il funzionamento degli ecosistemi (Boero & Bonsdorff, 2007).

## **Casi di studio**

### *Effetti dei cambiamenti climatici sulla presenza di mucillagini in Adriatico*

Il Mar Adriatico, molto produttivo e poco profondo (in particolare la sua porzione a Nord), è l'area maggiormente colpita dal fenomeno di una massiccia produzione di mucillagini marine nel bacino

del Mediterraneo (Danovaro et al., 2009). Le mucillagini sono composte da sostanze colloidali che vengono rilasciate da organismi marini attraverso diversi processi, tra cui essudati di fitoplancton prodotti in condizioni di stress (Fonda Umani et al., 2005; 2007; Degobbis et al., 1995; Boero & Bonsdorff, 2007). Le mucillagine marine possono galleggiare sulla superficie o in colonna d'acqua per un periodo di 2-3 mesi e, una volta depositate sul fondo del mare, si adagiano sui sedimenti in grandi aggregati, coprendo superfici molto ampie (anche per alcuni chilometri), dove possono provocare fenomeni di ipossia e/o anossia nei sedimenti (Precali et al., 2005). Il conseguente soffocamento degli organismi bentonici (tra cui anche il bento-necton) (Danovaro et al., 2005) provoca un grave danno economico alla pesca e al turismo (Rinaldi et al., 1995). Le mucillagini non sono strettamente associate alla presenza di condizioni eutrofiche dal momento che fenomeni importanti di mucillagini sono stati recentemente osservati anche in mari oligotrofi come il Mar Egeo. Inoltre, la frequenza della presenza di mucillagini nel mare Adriatico è aumentata negli ultimi 2 decenni, in concomitanza con una significativa riduzione nella produzione primaria (Danovaro et al., 2009). Recentemente un'analisi basata su una raccolta di dati sui fenomeni di mucillagine nel Mar Mediterraneo negli ultimi 60 anni (1950-2008), ha messo in evidenza che le anomalie climatiche (ad esempio, l'anomalia positiva della temperatura superficiale) spiegano una gran parte della varianza dei fenomeni di mucillagini, su base annuale e decennale. Se i fenomeni a mucillagine continueranno ad aumentare per frequenza, durata, e diffusione nelle zone costiere del Mar Mediterraneo, aumenterà lo stress per gli ecosistemi bentonici (anossia) con importanti conseguenze per la biodiversità, i beni ed i servizi prodotti dalle aree influenzate da questi fenomeni. Le mucillagini possono essere considerate come il risultato della alterazione dell'ecosistema provocato dall'effetto sinergico dei cambiamenti climatici e dall'uso insostenibile delle risorse marine. Le mucillagini da un lato rappresentano la risposta sintomatica dell'ecosistema marino agli impatti antropici, e dall'altro un potenziale vettore di virus e batteri, tra cui forme patogene che possono essere nocive per la salute delle persone e degli organismi marini (Danovaro et al., 2009).

### ***Bilancio della CO<sub>2</sub> ed effetti dei cambiamenti climatici sulla calcificazione degli organismi marini***

Parte della CO<sub>2</sub> di origine antropica può essere assorbita dagli oceani, e particolare attenzione è stata data ai flussi di CO<sub>2</sub> negli ecosistemi marini. Recenti calcoli sul bilancio di massa del carbonio (Takahashi et al., 2009) indicano che gli oceani aperti e le piattaforme continentali sono dei sink per la CO<sub>2</sub> atmosferica. Al contrario, gli ecosistemi di transizione sono considerati come probabili source di CO<sub>2</sub> atmosferica, a causa della quantità di carbonio organico di origine terrestre e/o fluviale che ivi è degradato e rilasciato in atmosfera come CO<sub>2</sub>. L'assorbimento di CO<sub>2</sub> mediante fotosintesi ed il suo rilascio mediante la respirazione sono i più importanti processi mediante i quali gli organismi acquatici modificano la concentrazione di CO<sub>2</sub>. Anche reazioni mediate biologicamente (precipitazione e dissoluzione del carbonato di calcio, CaCO<sub>3</sub>), possono però contribuire al bilancio globale della CO<sub>2</sub>. Negli ecosistemi costieri, fitoplancton, fitobenthos, e gli organismi che secernono CaCO<sub>3</sub> per formare il proprio materiale scheletrico, come molluschi e coralli, fanno parte di una "pompa biologica" marina che rimuove CO<sub>2</sub> (Lerman & Mackenzie,

2005). Il ruolo del processo di calcificazione biogenica sul bilancio del carbonio è di particolare interesse negli ecosistemi costieri e di transizione, in quanto particolarmente soggetti a pratiche di molluschicoltura. Nelle lagune dell'Alto Adriatico, la molluschicoltura consiste in gran parte nell'allevamento della vongola filippina (*Ruditapes philippinarum*), di cui l'Italia è il secondo produttore mondiale dopo la Cina (FAO, 2010). Le vongole vivono infossate nei sedimenti ed il loro allevamento viene svolto unicamente sul fondale. Recentemente vi sono stati alcuni tentativi di accreditare la molluschicoltura come possibile fonte di carbonio, ai sensi dell'Annex B del Protocollo di Kyoto (UN, 1998). Il principio utilizzato dai promotori è il seguente: i bivalvi si cibano di fitoplancton che organica CO<sub>2</sub> mediante la fotosintesi, quindi le conchiglie dei bivalvi allevati per scopi commerciali costituiscono un sink per quella CO<sub>2</sub> sequestrata come CaCO<sub>3</sub> (Hickey, 2008; Wolff & Beaumont, 2011). Tuttavia, nel processo di calcificazione biogenica una mole di CO<sub>2</sub> viene rilasciata per ogni mole di CaCO<sub>3</sub> generata (la cosiddetta "contro-pompa del carbonato", Takahashi, 2004), secondo l'equazione:  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Il rilascio di CO<sub>2</sub> risultante dalla formazione di CaCO<sub>3</sub> è a sua volta modulato dalla capacità tampone del sistema carbonato-bicarbonato:  $\text{CO}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{HCO}_3^-$ , a sua volta modulato dalla temperatura e dalla salinità (Frankignoulle et al., 1994). L'emissione di CO<sub>2</sub> derivante dai processi di calcificazione biogenica è da tempo ben documentata, per esempio, per le formazioni a coralli ermatipici tropicali, fonti nette di CO<sub>2</sub> in atmosfera (Gattuso et al., 1999), ed una recente stima relativa al bilancio di CO<sub>2</sub> del bivalve *R. philippinarum* evidenzia chiaramente come esso (considerando crescita somatica, respirazione e biodeposizione) costituisca una sorgente netta di CO<sub>2</sub> nella colonna d'acqua (Mistri & Munari, 2012). La quantità di CO<sub>2</sub> rilasciata dai bivalvi oggetto di pratiche di acquacoltura è addirittura destinata ad aumentare nel prossimo futuro, in quanto il tasso di CO<sub>2</sub> rilasciata per ogni mole di CaCO<sub>3</sub> precipitata aumenterà di circa il 12% al raddoppiare della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> rispetto all'era preindustriale (Frankignoulle et al., 1994).

### *Circuito microbico nell'Adriatico Settentrionale*

L'eutrofizzazione è uno dei fenomeni più frequenti e diffusi di degradazione degli ambienti marino-costieri (Cloern, 2001). Il Mediterraneo, grazie alla sua particolare posizione geografica ed alla presenza di una vasta popolazione umana lungo le sue coste, è incline all'eutrofizzazione costiera, che, a livello di bacino, rappresenta già un problema ecologico sia sociale sia economico. Tra le zone più colpite del Mediterraneo, il Mare Adriatico ha conosciuto negli ultimi 50 anni un'esacerbazione dell'eutrofizzazione (Danovaro et al., 2009; Conversi et al., 2010). A causa delle proporzioni "in miniatura" di questo bacino ed alla luce dei cambiamenti climatici attuali, i cui segnali sono già stati rilevati in questa piccola porzione e poco profonda del Mediterraneo, le variazioni nello stato trofico del Mare Adriatico possono rappresentare una proiezione di ciò che ci si può attendere nel prossimo futuro in altre regioni oceaniche. I virus sono responsabili di una frazione rilevante della mortalità di procarioti e fitoplancton (Fuhrman, 1999; Wilhelm & Suttle, 1999; Wommak & Colwell, 2000; Danovaro et al. 2008b). La lisi virale, provocando il rilascio di nuovi virus contenuti nella cellula ospite, può portare ad un significativo aumento del carbonio organico disciolto (DOC) nell'ambiente, che a sua volta può influenzare le comunità procariotica e fitoplanctonica (Van Hannen et al., 1999) ed avere un forte impatto sul ciclo del carbonio mediato

dai procarioti eterotrofi (Middelboe & Lyck. 2002). I tassi di mortalità procariotica e fitoplanctonica indotta da virus dipendono a loro volta dalle condizioni trofiche del sistema (Noble & Fuhrman, 2000; Corinaldesi et al., 2003). Diversi studi hanno trovato che negli ambienti eutrofici la maggiore abbondanza di procarioti sostiene una maggiore abbondanza di fagi. Le condizioni trofiche quindi possono influenzare la produzione di nuove particelle virali modificando il metabolismo e la dimensione delle cellule ospiti (Corinaldesi et al., 2003).

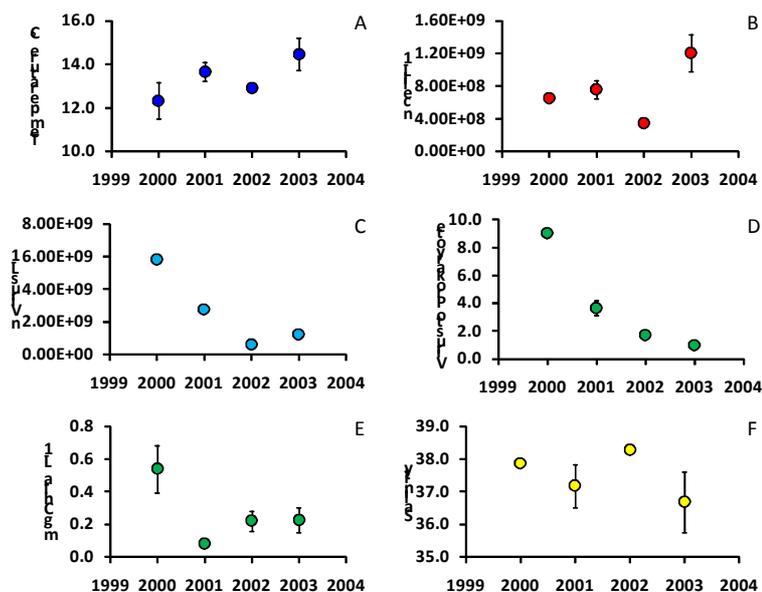


Figura 8.8: Variazioni inter-annuali della temperatura (A), abbondanza procariotica (B), abbondanza virale (C), rapporto virus:batteri (D), clorofilla-a (E), e salinità (F) nel Mare Adriatico tra il 2000 ed il 2003.

Ad esempio, Bongiorno et al., (2007) hanno dimostrato che in Adriatico condizioni trofiche crescenti inducono un aumento dei tassi di lisi virale del batterioplancton. Un'analisi dello stato trofico e delle abbondanze virali e procariotiche nel corso di quattro anni consecutivi caratterizzati da un incremento delle temperature superficiali ha evidenziato un aumento dell'abbondanza procariotica, associata ad una diminuzione dello stato trofico (in termini di clorofilla-a) ed una diminuzione del tasso di infezione virale (in termini del rapporto virus:batteri) (Figura 8.8).

### Il collasso della biomassa bentonica nell'Adriatico settentrionale

Tra il 1996 ed il 2002, il Mare Adriatico è stato caratterizzato da una evidente tendenza all'aumento dell'anomalia di temperatura superficiale (Russo et al., 2005; Figura 9.8). Tale tendenza è proseguita fino al 2005, in accordo con la tendenza al riscaldamento della temperatura atmosferica dell'emisfero settentrionale (Figura 10.8). L'incremento termico di oltre  $0,1^{\circ}\text{C}$  è stato documentato fino al fondo (Figura 11.8).

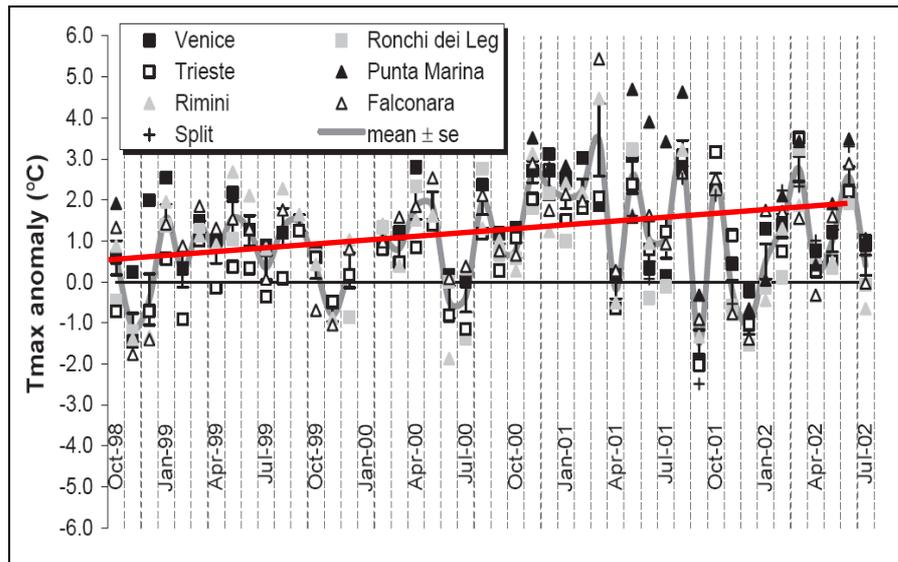


Figura 9.8: Massimo di anomalia termica dal 1998 al 2002 (Fonte: Russo et al., 2005).

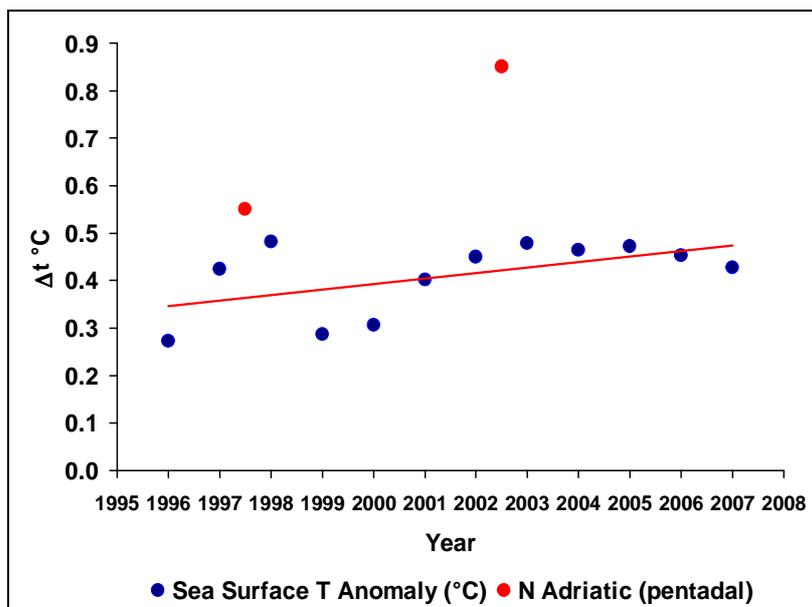
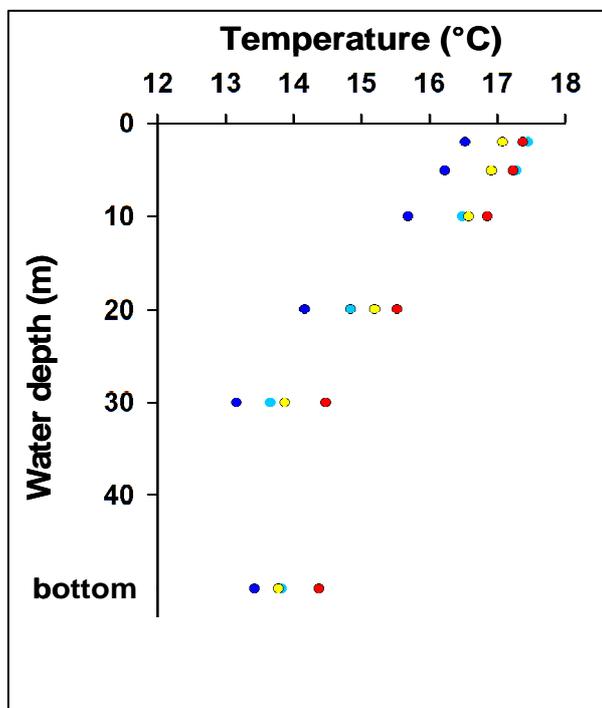


Figura 10.8: Aumento dal 1996 al 2007 (media annuale) e nel Mar



del Massimo di anomalia termica nell'emisfero Settentrionale (media Adriatico (media pentadale)).



Figura 11. Aumento del Massimo di anomalia termica dal 1961 al 2005 nel Mar Adriatico registrato a 6 differenti profondità.

Nel periodo compreso tra il 1996 ed il 2006 lo stato trofico dei sedimenti costieri dell'Adriatico è diminuito di oltre l'80% (Figura 12.8).

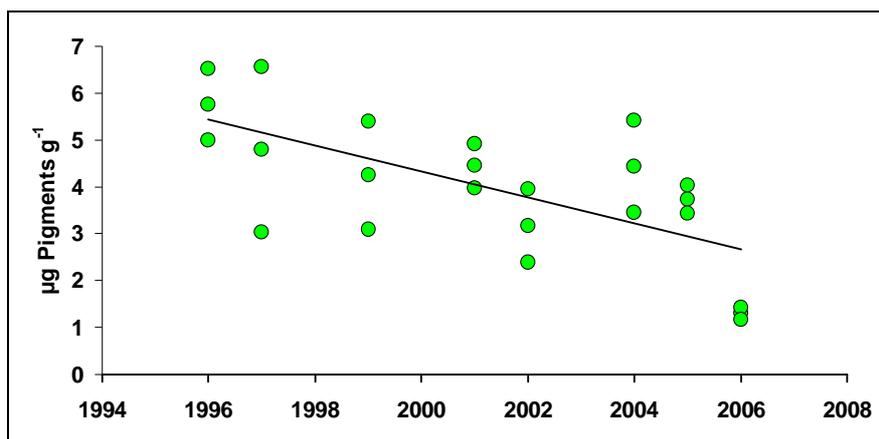
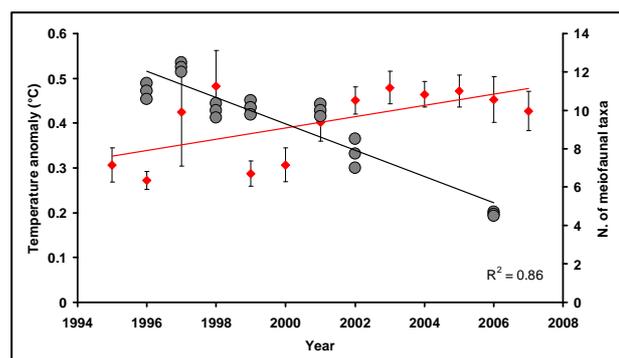
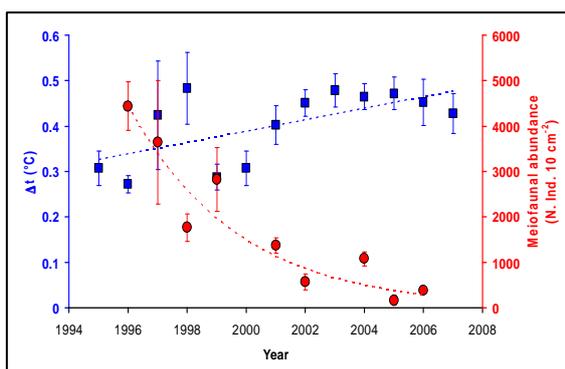


Figura 12.8: Variazione su scala decennale della concentrazione di fitopigmenti nei sedimenti del Mar Adriatico.

Al contempo è stato osservato che sia l'abbondanza sia la biodiversità della meiofauna sono significativamente diminuite per oltre l'80% nel decennio di interesse (Figura 13.8).



**Figura 13.8:** Variazioni decadali nell'abbondanza e biodiversità della meiofauna nell'Adriatico in relazione all'aumento delle temperature dell'emisfero settentrionale.

## Impatto dei cambiamenti climatici sui beni e servizi degli ecosistemi marini

L'analisi del costo della perdita di beni e servizi a causa dei cambiamenti climatici e le principali implicazioni sociali ed economiche sia per gli ecosistemi marini e terrestri è stata fatta ed aggiornata dal Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2010). Allo stato attuale, anche se è evidente che diversi ecosistemi si stanno degradando e stanno perdendo una frazione importante della loro produzione di beni e servizi, una stima dei costi di questa perdita è difficile da effettuare. In alcune zone costiere si stima che gli habitat marini abbiano perso dal 30% al 50% dei loro prodotti e servizi. La Tabella 1.8 mostra un elenco degli habitat marini e il loro valore stimato all'anno 1994.

Tipo di habitat	Valore economico
Estuari	US\$ 22,832 ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
Praterie di fanerogame ed alghe	US\$ 19,004 ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
Paludi/mangrovie	US\$ 9,990 ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
Pianure alluvionali	US\$ 19,580 ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
Barriere coralline	US\$ 6,075 ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
Piattaforme continentali	US\$ 1,610 ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>

**Tabella 1.8:** Lista degli habitat marini costieri e del loro valore economico stimato nell'anno 1994 (Fonte: Costanza et al., 1997).

Considerando una rivalutazione di questi valori nel corso degli ultimi 2 decenni, si può stimare che l'ammontare della perdita economica degli habitat sopraelencata può essere dell'ordine di 10.000-20.000 US\$ per ettaro all'anno. Si ritiene che i cambiamenti indotti dal riscaldamento globale e dall'acidificazione degli oceani potranno avere importanti conseguenze dirette / indirette sugli ecosistemi marini e sulla vita umana. Tutti gli habitat marini inclusi quelli costieri, di mare aperto e di acque profonde forniscono beni e servizi essenziali per il benessere umano (Costanza et al., 1997; Grehan et al., 2009). Gli ecosistemi marini come le foreste di kelp, le barriere coralline e le praterie di fanerogame sono socialmente ed economicamente importanti, ed i loro servizi ecosistemici sono stimati essere per l'economia globale nell'ordine di migliaia di miliardi di dollari ogni anno (Costanza et al., 1997).

La perdita di questi habitat rappresenta una delle principali cause della perdita di biodiversità e servizi ecosistemici (Lotze et al., 2006; Airoidi & Beck, 2007) che possono avere anche importanti conseguenze socioeconomiche. Come per gli ambienti terrestri (Sala et al., 2000), la biodiversità marina è influenzata negativamente da una serie di attività antropiche che nello specifico possono essere riassunte con la pesca non regolamentata, la distruzione degli habitat e l'inquinamento (Dulvy et al., 2003; Lotze et al., 2006; Worm et al., 2006). I cambiamenti climatici possono aggiungere ed ampliare tali impatti sulla biodiversità marina (Walther et al., 2002; Cheung et al., 2009). In particolare per il Mediterraneo, il riscaldamento globale ha portato verso una tropicalizzazione che sembra preludere ad una diminuzione delle specie autoctone (Bianchi, 2007). Gli effetti negativi dei cambiamenti climatici su determinati habitat possono avere conseguenze imprevedibili su altre specie e/o habitat e sulle attività umane (sia in termini di interesse sociale ed economico). I cambiamenti nella distribuzione e nella struttura della comunità di specie marine possono effettivamente incidere sulle attività di pesca (sia quella commerciale che ricreativa) e possono avere un forte impatto socio-economico sulle comunità costiere (Allison et al., 2009). Le risorse ittiche sono già state ampiamente sfruttate ed i cambiamenti climatici possono contribuire alla ulteriore diminuzione degli stock. I cambiamenti nella diversità e nell'abbondanza della fauna che mostra attività di erosione possono provocare un indebolimento della struttura delle scogliere, aggravando l'impatto delle tempeste e dell'aumento del livello del mare (Przeslawski et al., 2008). Ciò può portare ad una diminuzione della capacità di protezione delle barriere coralline dal moto ondoso, con conseguente aumento dell'erosione delle spiagge e delle strutture costiere (Hutchings & Salvat, 2000; Sheppard et al., 2005). Gli invertebrati bentonici sono una ricca fonte di composti bioattivi con varie applicazioni mediche (Hogg, 2006), industriali e commerciali. Tutti i composti con un potenziale interesse economico sono influenzati dalle fonti di cibo, dai cambiamenti nella fauna microbica o dalle condizioni degli habitat che cambiano stagionalmente (Fahey & Garson, 2002; Page et al., 2005). La perdita di una specie significa la perdita di questi composti importanti per la vita umana. Spugne, briozoi, ascidie e molluschi sono le principali fonti di metaboliti secondari in mare e, pertanto, sono stati il primo obiettivo per la ricerca di nuove molecole (Battershill et al., 2005; Page et al., 2005). L'impatto attuale del cambiamento globale sugli oceani suggerisce l'urgenza di ridurre al minimo le emissioni di gas responsabili del riscaldamento globale e la necessità di sviluppare strategie di conservazione delle risorse marine (Cheung et al., 2009). Se consideriamo che il 61% del valore dei servizi ecosistemici deriva dagli ecosistemi costieri, la necessità di un'azione immediata per preservare lo sviluppo sostenibile dell'umanità non può essere ulteriormente ignorata. Inoltre, la valutazione sull'importanza economica degli ambienti marini fatta da Costanza et al., (1997) non considera gli habitat di acque profonde, che però rappresentano circa il 95% degli oceani. La conservazione e l'uso sostenibile della diversità marina è una priorità per tutti i paesi, e in particolare nelle zone non soggette a giurisdizione nazionale, dove la mancanza di leggi adeguate rappresenta un grave pericolo per la loro conservazione. La conoscenza attuale relativa agli ecosistemi costieri e profondi suggerisce che la creazione di network di Aree Marine Protette (AMP) (sia nelle zone costiere sia in mare aperto) potrebbe essere estremamente efficace nel mantenere la biodiversità marina, senza compromettere (e viceversa migliorando) i valori ed i benefici per la società. Le AMP in effetti hanno un ruolo

chiave nel ridurre gli impatti cumulativi e possono quindi migliorare le condizioni nell'ambiente marino (Halpern et al., 2010; Frascchetti et al., 2011; Frascchetti et al., 2012). Le AMP che escludono la pesca possono promuovere il recupero di popolazioni target di pesca, stimolare la resa di pesca favorendo lo spill over attraverso i confini delle riserve, restaurare le dinamiche associate alle reti trofiche, guidare passaggi di stato da popolamenti a bassa diversità a popolamenti ad alta diversità, rinforzando le comunità locali da un punto di vista economico e fornendo guadagni addizionali alla pesca e al turismo (ad es. Shears & Babcock, 2002; Lester et al., 2009; Sala et al., 2012). Oggi, vi sono anche evidenze che le riserve marine possano mitigare gli effetti a larga scala, inclusi i cambiamenti climatici, aumentando la resistenza dei popolamenti protetti (Micheli et al., 2012).

## **Verso l'individuazione di azioni di adattamento**

L'adattamento ai cambiamenti climatici rappresenta una nuova area strategica adottata recentemente anche in ambito europeo dall'European Climate Change Programme<sup>84</sup>. L'adattamento comprende quel set di misure deliberate ed attuate dalla governance per ridurre gli impatti potenziali negativi che i cambiamenti climatici avranno in un prossimo futuro sugli ecosistemi.

Gli impatti reali dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini potranno essere visibili anche dopo la riduzione dell'entità delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera; ciò deriva dalle caratteristiche di maggiore resistenza sistemica dell'ambiente marino rispetto agli altri ecosistemi. Ad ogni modo, si ritiene che le misure di adattamento abbiano un ruolo complementare alle misure di mitigazione che invece sono definite come le azioni che tendono a ridurre il cambiamento climatico per se (Agrawala & Fankhauser, 2008). Le misure di adattamento devono essere prese ed effettuate da attori pubblici e privati attraverso azioni politiche integrate, di investimento in infrastrutture e in nuove tecnologie, ed attraverso misure di sensibilizzazione sociale che spingano la popolazione ad adottare modifiche significative del comportamento quotidiano di ciascuno.

La ricerca ecologica ha messo ben in evidenza negli ultimi anni che gli effetti negativi sul funzionamento dei vari livelli gerarchici ecologici a partire dall'individuo sino agli ecosistemi, si amplificano laddove è presente un numero maggiore di sorgenti di stress.

I costi delle misure di adattamento sono molto grandi, si stima che oltre 25.000 miliardi di dollari saranno necessari a livello globale tra il 2005 ed il 2030 per l'attuazione di tali misure. I costi per le misure di adattamento dovranno essere sommati ai costi di mitigazione, ed ai costi residuali dovuti alla perdita per se di componenti culturali, sociali e naturali importanti (non sanabili economicamente). Per esempio, una parte dei costi dei cambiamenti climatici sono dovuti alle

---

<sup>84</sup> [http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/index_en.htm).

misure di mitigazione (ad es. le misure che tendono a limitare a solo 2°C l'incremento della temperatura globale), una altra parte dei costi è dovuta alle misure di adattamento (ad es. investimenti in sistemi di protezione costiera per ridurre l'impatto negativo derivante dall'incremento di 2°C) ed una altra parte dei costi, detta parte residuale, è quella derivante dall'aver perso in modo definitivo porzioni importanti non più recuperabili della linea costiera, e con essa componenti importanti della cultura delle popolazioni costiere.

L'impatto dei cambiamenti in atto sarà diverso da regione a regione. Se da un lato è evidente l'aumento delle temperature superficiali degli oceani, recenti studi hanno evidenziato come tali aumenti siano molto più forti e rapidi in Mediterraneo e vedano nel Mare Adriatico (oltre 1,5 °C negli ultimi decenni) uno dei sistemi a maggiore vulnerabilità climatica. Servono quindi scelte immediate ed efficaci. Questi cambiamenti non avranno solo un impatto su erosione costiera ed infrastrutture ma colpiranno in primo luogo il funzionamento naturale degli ecosistemi marini.

Alcuni degli impatti previsti sui sistemi marini includono:

- i) aumento della variabilità di tutti i processi che interessano l'ambiente marino;
- ii) aumento della stratificazione delle masse d'acqua che potrebbe ridurre la connessione tra ambienti profondi e costieri con alterazione dei cicli biogeochimici;
- iii) alterazione della produzione primaria e della produzione di risorse alieutiche;
- iv) cambiamento nella struttura e distribuzione di comunità planctoniche e bentoniche marine costiere e profonde;
- v) alterazione dei cicli vitali e riproduttivi delle specie di vertebrati ed invertebrati marini con aumento della loro vulnerabilità e dei tassi di estinzione;
- vi) alterazione delle reti trofiche marine dovuti a mancata sincronizzazione dei processi di produzione e consumo;
- vii) alterazione della distribuzione e degli effetti dei contaminanti e dell'impatto dell'inquinamento;
- viii) diminuita capacità di contrastare l'ingresso di specie non indigene;
- ix) aumento di fenomeni epidemiologici a carico degli organismi marini.

La capacità di comprendere se determinate variazioni nel regime finora noto delle successioni stagionali del plancton in dipendenza dalle caratteristiche termoaline e di circolazione delle masse d'acqua abbiano o meno delle conseguenze negative per lo sfruttamento delle risorse alieutiche di molluschi, crostacei e pesci potrebbe fornire importanti indicazioni sulla gestione della pesca.

I cicli stagionali in Adriatico sono sufficientemente noti da un lungo periodo di tempo in relazione alle caratteristiche idrografiche e alla circolazione in questo mare nel quale le forzanti della circolazione sono il gradiente termoalino ed il vento. Assieme ad una buona conoscenza del ciclo

dei nutrienti, le condizioni secondo le quali si realizza la grande produttività di questo mare sono sufficientemente note. Ora il cambiamento della circolazione nel Mediterraneo a seguito dei cambiamenti climatici, con il noto spostamento delle zone di formazione delle acque dense, ha comportato modifiche anche nella circolazione dell'Adriatico, senza dimenticare la variazione degli apporti dei fiumi nord adriatici, in funzione della mutata piovosità. Le conseguenze sugli stock alieutici, che si sommano a quelle dovute allo sfruttamento da prelievo, dovranno essere tenute in conto per una futura regolazione della pesca in questo mare.

In una recente revisione (Giani et al., 2012) basata su serie storiche pluridecennali si rileva che i maggiori cambiamenti intervenuti negli ultimi decenni nel Nord Adriatico sono stati: 1) il riscaldamento delle acque superficiali a scala regionale; 2) un decremento significativo degli apporti fluviali negli anni 2000 dovuto alla riduzione delle precipitazioni, che, assieme all'aumento delle ingressioni di acque di provenienza orientale, ha determinato un aumento evidente della salinità superficiale; 3) un aumento degli apporti fluviali di azoto, che assieme alla riduzione degli apporti di fosforo, voluti dalla legge italiana, ha causato un aumento del rapporto N/P; 4) un'acidificazione delle acque più dense dovuto all'aumento della CO<sub>2</sub> atmosferica.

Nonostante la disponibilità di serie storiche per quest'area e più in generale di una notevole mole di dati, è estremamente difficile separare gli effetti antropici su scala locale da quelli globali dovuti ai cambiamenti climatici. Il riscaldamento progressivo e l'aumento degli eventi estremi potrebbero aumentare la stratificazione mentre la riduzione degli scambi delle masse d'acqua potrebbe aumentare i tempi di residenza delle masse d'acqua nel Nord Adriatico. In questa situazione, in futuro, potrebbero aumentare i processi di acidificazione ed eutrofizzazione, nonostante l'attuale oligotrofizzazione. L'oligotrofizzazione in atto ha alterato il bilanciamento, aumentando il rischio di collasso della produzione ittica ed aumentando la probabilità del manifestarsi di cambiamenti significativi nella struttura e funzionamento dell'ecosistema. Le variazioni del regime idrologico sono normalmente avvertite più di dieci anni dopo che si sono manifestate. E' necessario identificare indicatori biologici che permettano di anticipare la constatazione di un cambiamento in atto, oltre naturalmente, alla disponibilità di dati di monitoraggio ed osservazioni adatte per l'identificazione e la previsione di variazioni del clima e del regime idrografico conseguente. Per quel che riguarda l'Adriatico si auspica l'individuazione di aree chiave che, se adeguatamente tutelate, possano rappresentare aree ad elevata resilienza, in grado di agevolare ed amplificare le capacità di adattamento dell'intero bacino.

Le lagune adriatiche rappresentano un inestimabile patrimonio storico e culturale, ed in tali ecosistemi il cambiamento climatico ha effetti ecologici globali (comuni a tutte le lagune), ed effetti sito-specifici (determinati dalle interazioni tra fattori climatici ed antropici), quest'ultimi determinati dall'utilizzo socio-economico delle risorse e dal valore attribuito ai servizi forniti da ciascuna specifica laguna. Poiché i tassi metabolici degli organismi acquatici aumentano esponenzialmente con la temperatura, l'aumento della temperatura influenza la risposta degli organismi lagunari a condizioni di ipossia.

In un ecosistema lagunare, una riduzione nei rapporti Produzione:Respirazione al crescere della temperatura potrebbe avere come risultato una riduzione della concentrazione dell'ossigeno, con conseguente incremento della frequenza e della intensità degli eventi ipossici. In base alla previsione del verificarsi di estati più secche ed inverni più miti, le lagune del nord Adriatico probabilmente diventeranno più simili a quelle localizzate più a sud di 3-5 gradi di latitudine, come le lagune di Lesina e Varano, in Puglia. L'aumento della temperatura influenza il reclutamento larvale di *Ruditapes philippinarum*: valori estremi nelle temperature minime e massime compromettono l'insediamento delle larve, e causano effetti collo di bottiglia alle popolazioni adulte.

Il cambiamento nella distribuzione delle precipitazioni farà aumentare la concentrazione dei nutrienti durante la stagione fredda, quando non possono essere utilizzati dal fitoplancton. I nutrienti, non utilizzati in laguna, saranno esportati in mare. Si creerà un disaccoppiamento a cascata tra l'apporto di nutrienti e la produzione primaria, e tra produttori primari e secondari. Tale disaccoppiamento, insieme all'effetto negativo della temperatura sulla crescita della specie *Ruditapes philippinarum*, ridurrà l'abbondanza degli stock del bivalve di circa il 10%, con conseguente rilevante perdita economica. Disaccoppiamenti temporali hanno effetti a cascata sull'intera rete trofica, in particolare quando influiscono su stadi sensibili come quelli larvali e giovanili.

Temperature più elevate favoriscono la diffusione di parassiti e patogeni, modificando l'interazione ospite-parassita nelle specie native e innescando effetti a cascata con ripercussioni sulla struttura delle popolazioni e delle comunità. Nelle lagune adriatiche, il gasteropode *Hydrobia ulvae* e l'anfipode *Corophium insidiosum* sono entrambi presenti in elevate abbondanze e sono ospiti intermedi di trematodi; un aumento dell'incidenza dei parassiti legata all'incremento delle temperature, potrebbe deprimere profondamente le popolazioni di entrambe le specie.

Per tutti questi impatti è necessario procedere all'identificazione di appropriate misure, così come indicato dalla Strategia Nazionale di Adattamento.

## Bibliografia

- Agius, B.P. (2007). Spatial and temporal effects of pre-seeding plates with invasive ascidians: growth, recruitment and community composition, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342, 30-39.
- Agrawala, S., Fankhauser, S. (Eds.) (2008). *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change. Costs, Benefits and Policy Instruments*. Paris: OECD.
- Airoldi, L., Beck, M.W. (2007). Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe, *Oceanography and Marine Biology: Annual Review*, 45, 345-405.
- Airoldi, L. (1998). Roles of disturbance, sediment stress, and substratum retention on spatial dominance in algal turf, *Ecology*, 79, 2759-2770.
- Airoldi, L., Abbiati, M., Beck, M.W., Hawkins, S.J., Jonsson, P.R., Martin, D., Moschella, P.S., Sundelöf, A., Thompson, R.C., Aberg, P. (2005). An ecological perspective on the deployment and design of low-crested and other hard coastal defense structures, *Coastal Engineering*, 52, 1073-1087.
- Allison, E.H., Perry, A.L., Adger, W.N., Brown, K., Conway, D., Halls, A.S., Pilling, G.M., Reynolds, J.D., Andrew, N.L., Dulvy, N.K. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries, *Fish and Fisheries*, 10(2), 173-196.
- Amarasekare, P., Savage, V. (2012). A framework for elucidating the temperature dependence of fitness, *American Naturalist*, 179, 178-191. doi:10.1086/663677.
- Ambrogi, R., Bedulli, D., Zurlini, G. (1990). Spatial and temporal patterns in structure of macrobenthic assemblages A three-year study in the Northern Adriatic Sea in front of the Po river delta, *PSZN I Marine Ecology*, 11, 25-41.
- Anderson, J.M., Åberg, P., Hawkins, S.J., Bacchiocchi, F., Satta, M.P., Dinesen, G.E., Sundelöf, A.F., Jonsson, P.R., Airoldi, L., Thompson, R.C., Gacia, E., Moschella, P.S., Abbiati, M., Frost, M., Granhag, L. (2005). Low-crested coastal defence structures as artificial habitats for marine life: using ecological criteria in design, *Coastal Engineering*, 52, 1053-1071.
- Angilletta, M.J. (2009). *Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis*. Oxford, UK. Oxford University Press.
- Anthony, K.R.N., Kline, D.I., Diaz-Pulido, G., Dove, S., Hoegh-Guldberg, O. (2008). Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 17442-17446.
- Antonioli, F., Chemello, R., Improta, S., Riggio, S. (1999). *Dendropoma* lower intertidal reef formations and their palaeoclimatological significance, NW Sicily, *Marine Geology*, 161, 155-170.
- Archer, D. (2007). Methane hydrate stability and anthropogenic climate change, *Biogeosciences Discussions*, 4(2), 993-1057.
- Azzurro, E., Moschella, P., Maynou, F. (2011). Tracking Signals of Change in Mediterranean Fish Diversity Based on Local Ecological Knowledge, *PLoS ONE* 6(9): e24885. doi:10.1371/journal.pone.0024885.
- Barange, M., Heip, C., Meysman, F. (2011). 2.13 Biological impacts. Climate change and marine ecosystem research, *Synthesis of European research on the effects of climate change and marine environments*. Marine board special report, 65-79.
- Basso D., Granier B. (2012). Calcareous algae in changing environments, *Geodiversitas*, 34, 5-11.

- Battershill, C.N., Jaspars, M., Long, P.F. (2005). Marine biodiscovery: new drugs from the ocean depths, *Biologist*, 52, 107-114.
- Battocchi, C., Totti, C., Vila, M., Masò, M., Capellacci, S., Accoroni, S., Reñé, A., Scardi, M., Penna, A. (2010). Monitoring toxic microalgae *Ostreopsis* (Dinoflagellate) species in coastal waters of the Mediterranean Sea using molecular PCR-based assay combined with light microscopy, *Marine Pollution Bulletin*, 60(7), 1074-1084.
- Bavestrello, G., Boero, F. (1987). Necrosi e rigenerazione in *Eunicella cavolinii* (Anthozoa, Cnidaria) in Mar Ligure. In: *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova*, 52, 295-300.
- Beardall, J., Raven, J.A. (2004). The potential effects of global climate change on microalgal photosynthesis, growth and ecology. *Phycologia* 43(1), 26-40. doi: <http://dx.doi.org/10.2216/i0031-8884-43-1-26.1>.
- Beaufort, L., Probert, I., de Garidel-Thoron, T., Bendif, E.M., Ruiz-Pino, D., Metzl, N., Goyet, C., Buchet, N., Coupel, P., Grelaud, M., Rost, B., Rickaby, R. E. M., de Vargas C. (2011). Sensitivity of coccolithophores to carbonate chemistry and ocean acidification. *Nature* 476, 80-83.
- Beaugrand, G., Edwards, M., Legendre, L. (2010). Marine biodiversity, ecosystem functioning, and carbon cycles. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 107, 10120-10124. doi: 10.1073/pnas.0913855107.
- Beaugrand, G., Reid, P.C., Ibañez, F., Lindley, J.A., Edwards, M. (2002). Reorganization of North Atlantic Marine Copepod Biodiversity and Climate, *Science*, 296(5573), 1692-1694. doi: 10.1126/science.1071329.
- Benedetti-Cecchi, L., Bertocci, I., Vaselli, S., Maggi, E. (2006). Temporal variance reverses the impact of high mean intensity of stress in climate change experiments, *Ecology*, 87, 2489-2499.
- Benedetti-Cecchi, L., Pannacciulli, F., Bulleri, F., Moschella, P.S., Airoidi, L., Relini, G., Cinelli, F. (2001). Predicting the consequences of anthropogenic disturbance : large-scale effects of loss of canopy algae on rocky shores, *Marine Ecology Progress Serie*, 214, 137-150.
- Berkelmans, R. (2002). Time-integrated thermal bleaching thresholds of reefs and their variation on the Great Barrier Reef, *Marine Ecology Progress Series* 229, 73-82. doi:10.3354/meps229073.
- Berrigan, D., Charnov, E.L. (1994). Reaction norms for age and size at maturity in response to temperature: a puzzle for life historians, *Oikos*, 70, 474-478.
- Bertocci, I., Maggi, E., Bethoux, J.P., Durieu de Madron, X., Nyffeler, F., Tailliez, D. (2002). Deep water in the western Mediterranean: peculiar 1999 and 2000 characteristics, shelf formation hypothesis, variability since 1970 and geochemical inferences *Journal of Marine Systems* 33-34, 117-131.
- Bethoux, J.P., Gentili, B. (1999). Functioning of the Mediterranean Sea: past and present changes related to freshwater input and climate changes, *Journal of Marine Systems*, 20(1-4), 33-47.
- Bethoux, J.P., Gentili, B., Raunet, J., Tailliez, D. (1990). Warming trend in the western Mediterranean deep water, *Nature*, 347, 660-662.
- Bethoux, J.P., Morin, P., Ruiz-Pino, D.P. (2002a). Temporal trends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driven by human activity, *Deep Sea Research Part II*, 49(11), 2007-2016.
- Bianchi, C.N. (2007). Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea, *Hydrobiologia*, 580, 7-21. doi 10.1007/s10750-006-0469-5.
- Billett, D.S.M., Bett, B.J., Reid, W.D.K., Boorman, B., Friede, I.G. (2010). Long-term change in the abyssal NE Atlantic: The Amperima Event revisited, *Deep-Sea Research II*, 57, 1406-1417.

- Billett, D.S.M., Bett, B.J., Rice, A.L., Thurston, M.H., Galéron, J., Sibuet, M., Wolff, G.A. (2001). Long-term change in the megabenthos of the Porcupine Abyssal Plain (NE Atlantic), *Progress in Oceanography*, 50, 325-348.
- Blintz, J.C., Nixon, S., Buckley, B., Granger, S. (2003). Impacts of temperature and nutrients on coastal lagoon plant communities, *Estuaries*, 26, 765-776.
- Boero, F., Bouillon, J., Gravili, C., Miglietta, M.P., Parsons, T.R., Piraino, S. (2008). Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes), *Marine Ecology Progress Series*, 356, 299-310.
- Boero, F., Bonsdorff, E. (2007). A conceptual framework for marine biodiversity and ecosystem functioning, *Marine Ecology-An evolutionary perspective*, 28 (Suppl. 1), 134-145.
- Boero, F. (2013). Review of jellyfish blooms in the Mediterranean and Black Sea, *GFCM Studies and Reviews*, 92, 53 pp.
- Bongiorni, L., Armeni, M., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Pusceddu, A., Danovaro, R. (2007). Viruses, prokaryotes and biochemical composition of organic matter in different types of mucilage aggregates, *Aquatic Microbial Ecology*, 49(1), 15-23.
- Bopp, L., Monfray, P., Aumont, O., Dufresne, J.-L., Le Treut, H., Madec, G., Terray, L., Orr, J.C. (2001). Potential impact of climate change on marine export production, *Global Biogeochemical Cycles*, 15, 81-99.
- Boyce, D.G., Lewis, M.R., Worm, B. (2010). Global phytoplankton decline over the past century, *Nature*, 466, 591-596.
- Borkman, D.G., Smayda, T. (2009). Multidecadal (1959–1997) changes in *Skeletonema* abundance and seasonal bloom patterns in Narragansett Bay, Rhode Island, USA. *Journal of Sea Research* 61, 84–94.
- Bozinovic, F., Calosi, P., Spicer, J.I. (2011). Physiological correlates of geographic range in animals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42, 155-179. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-102710-145055.
- Brankart, J.M., Pinardi, N. (2001). Abrupt cooling of the Mediterranean Levantine intermediate water at the beginning of the 1980s: observational evidence and model simulation, *Journal of physical oceanography*, 31, 2307-2320. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(2001\)031<2307:ACOTML>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(2001)031<2307:ACOTML>2.0.CO;2).
- Brierley, A.S., Kingsford, M.J. (2009). Impacts of Climate Change on Marine Organisms and Ecosystems, *Current Biology* 19, 602-614. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.046>.
- Buddemeier, R.W. (2007). The future of tropical reefs and coastlines. In: American Association for the Advancement of Science Annual Meeting.
- Buffett, B., Archer, D. (2004). Global inventory of methane clathrate: sensitivity to changes in the deep ocean, *Earth and Planetary Science Letters*, 227(3-4), 185-199.
- Bulleri, F., Abbiati, M., Airoidi, L. (2006). The colonisation of human-made structures by the invasive alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in the north Adriatic Sea (NE Mediterranean), *Hydrobiologia*, 555, 263-269.
- Burcharth, H.F., Hawkins, S.J., Zanuttigh, B., Lamberti, A. (Eds.) (2007). *Environmental Design Guidelines for Low Crested Coastal Structures*. Elsevier. 395 pp.
- Byers, J.E., Pringle, J.M. (2006). Going against the flow: retention, range limits and invasions in advective environments, *Marine Ecology Progress Series*, 313, 27-41.
- Caldeira, K., Wickett, M.E. (2003). Anthropogenic carbon and ocean pH, *Nature*, 425, 365. doi:10.1038/425365a.
- Canals, M., Danovaro, R., Heussner, S., Lykousis, V., Puig, P., Trincardi, F., Calafat, A.M., Durrieu de Madron, X., Palanques, A., Sánchez-Vidal, A. (2009). Cascades in Mediterranean Submarine Grand Canyons, *Oceanography*, 22, 26-43.

- Canals, M., Puig, P., Durrieu de Madron, X., Heussner, S., Palanques, A., Fabres, J. (2006). Flushing submarine canyons, *Nature*, 444, 354-357.
- Cerrano, C., Bavestrello, G., Bianchi, C.N., Cattaneo-Vietti, R., Bava, S., Morganti, C., Morri, C., Picco, P., Sara, G., Schiaparelli, S., Siccardi, A., Sponga, F. (2000). A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999, *Ecology Letters* 3, 284-293.
- Cerrano, C., Danovaro, R., Gambi, C., Pusceddu, A., Riva, A., Schiaparelli, S. (2010). Gold coral (*Savalia savaglia*) and gorgonian forests enhance benthic biodiversity and ecosystem functioning in the mesophotic zone, *Biodiversity and Conservation*, 19: 153-167.
- Cerrano, C., Bavestrello, G. (2009). Mass mortalities and extinctions. In: *Marine Hard Bottom Communities, Patterns, Dynamics, Diversity, and Change*. (M Wahl ed). Cap. 21. *Ecological Studies* 206, 295-307. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/b76710\_21.
- Cerrano, C., Arillo, A., Azzini, F., Calcinai, B., Castellano, L., Muti, C., Valisano, L., Zega, G., Bavestrello, G. (2005). Gorgonian population recovery after a mass mortality event. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15(2), 147-157.
- Chemello, R., Dieli, T., Antonioli, F. (2000). Il ruolo dei 'reef' a Molluschi vermetidi nella valutazione della biodiversità, *Int. Work. 'Mare e cambiamenti globali'*, Roma, Quaderni ICRAM, 2000, 105-118.
- Chemello, R., Silenzi, S. (2011). Vermetid reefs in the Mediterranean Sea as archives of sea-level and surface temperature changes, *Chemistry and Ecology*, 27(2), 121-127.
- Cheung, W., Vicky, W.L., Lam, W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D. (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios, *Fish and Fisheries*, 10 (3), 235-251.
- Chevin, L.M., Lande, R., Mace, G.M. (2010). Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory, *PLoS Biology* 8, e1000357. doi:10.1371/journal.pbio.1000357.
- CIESM (2001). Gelatinous zooplankton outbreaks: theory and practice. CIESM Workshop Series, n°14, Naples, Italy, 29 August - 1st September 2001, 112 pp.
- CIESM (2002). Alien marine organisms introduced by ships in the Mediterranean and Black seas. CIESM Workshop monograph n°20, Istanbul (Turkey), 6-9 November 2002, 136 pp., Monaco.
- CIESM (2008). Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota. CIESM workshop monographs n° 35 (F Briand, ed), Helgoland 27-31 May 2008, 152 pp., Monaco.
- Claudet, J., Fraschetti, S. (2010). Human-driven impacts on marine habitats: A regional meta-analysis in the Mediterranean Sea, *Biological Conservation*, 143 (9), 2195-2206.
- Cloern, J.E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem, *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223-253.
- Cloern, J.E., Jassby, A.D., Thompson, J.K., Hieb K.A. (2007). A cold phase of the East Pacific triggers new phytoplankton blooms in San Francisco Bay. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 18561-18563.
- Coma, R., Ribes, M., Serrano, E., Jiménez, E., Salat, J., Pascual, J. (2009). Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 106, 6176-6181. doi: 10.1073/pnas.0805801106.
- Company, J.B., Puig, P., Sardà, F., Palanques, A., Latasa, M., Scharek, R. (2008). Climate influence on deep sea populations, *PLoS ONE* 3(1):e1431, doi:10.1371/journal.pone.0001431.

- Coll, M., Piroddi, C., Albouy, C., Ben Rais Lasram, F., Cheung, W.W.L., Christensen, V., Karpouzi, V.S., Guilhaumon, F., Mouillot, D., Paleczny, M., Palomares, M.L., Steenbeek, J., Trujillo, P., Watson, R., Pauly, D. (2012). The Mediterranean Sea under siege: Spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. *Global Ecology and Biogeography* 21(4), 465-480.
- Connell, S.D., Russell, B.D. (2010). The direct effects of increasing CO<sub>2</sub> and temperature on non-calcifying organisms: increasing the potential for phase shifts in kelp forests. In: *Proceeding of Royal Society Part B: Biological Sciences*, 277, 1409-1415.
- Connett, R.J., Honig, C.R., Gayeski, T.E.J., Brooks, G.A. (1990). Defining hypoxia: a systems view of VO<sub>2</sub>, glycolysis, energetics, and intracellular PO<sub>2</sub>, *Journal of Applied Physiology*, 68, 833-842.
- Conversi, A., Fonda Umani, S., Peluso, T., Molinero, J.C., Santojanni, A., Edwards, M. (2010). The Mediterranean sea regime shift at the end of the 1980s, and intriguing parallelisms with other European basins. *Plos ONE* 5(5): e10633. doi: 10.1371/journal.pone.0010633.
- Corinaldesi, C., Crevatin, E., Del Negro, P., Marini, M., Russo, A., Fonda-Umani, S., Danovaro, R. (2003). Large-scale spatial distribution of virioplankton in the Adriatic sea: testing the trophic state control hypothesis, *Applied and Environmental Microbiolog*, 69(5), 2664-2673.
- Costantini, F., Rossi, S., Pintus, E., Cerrano, C., Gili, J.-M., Abbiati, M. (2011). Low connectivity and declining genetic variability along a depth gradient in *Corallium rubrum* populations, *Coral Reefs*. 30, 991-1003.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature* 387, 253-260.
- Costello, M.J., Coll, M., Danovaro, R., Halpin, P., Ojaveer, H., Miloslavich, P. (2010). A Census of Marine Biodiversity Knowledge, Resources, and Future Challenges. *PLoS ONE* 5(8): e12110. doi:10.1371/journal.pone.0012110.
- Crisci, C., Bensoussan, N., Romano, J.C., Garrabou, J. (2011). Temperature Anomalies and Mortality Events in Marine Communities: Insights on Factors behind Differential Mortality Impacts in the NW Mediterranean. *PLoS ONE* 6(9): e23814. doi:10.1371/journal.pone.0023814.
- Cunningham, S.A., Kanzow, T., Rayner, D., Baringer, M.O., Johns, W.E., Marotzke, J., Longworth, H.R., Grant, E.M., Hirschi, J. J.-M., Beal, L.M., Meinen, C.S., Bryden, H.L. (2007). Temporal Variability of the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 26.5°N. *Science*: 317(5840), 935-938.
- Danovaro, R., Armeni, M., Luna, G.M., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Ferrari C.R., Fiordelmondo, C., Gambi, C., Gismondi, M., Manini, E., Mecozzi, M., Perrone, F.M., Pusceddu, A., Giani, M. (2005). Exo-enzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea, *Science of the Total Environment*, 353, 189-203.
- Danovaro, R., Company, J.B., Corinaldesi, C., D'Onghia, G., Galil, B., Gambi, C., Gooday, A.J., Lampadariou, N., Luna, G.M., Morigi, C., Olu, K., Polymenakou, P., Ramirez-Llodra, E., Sabbatini, A., Sardà, F., Sibuet, M., Tselepides, A. (2010). Deep-sea biodiversity in the Mediterranean Sea: the known, the unknown, and the unknowable, *PLoS ONE* 5, e11832. doi:10.1371/journal.pone.0011832.
- Danovaro, R., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Fuhrman, J.A., Middelburg, J.J., Noble, R.T., Suttle, C.A. (2011). Marine viruses and global climate change, *FEMS Microbiology Reviews*, 35(6), 993-1034.
- Danovaro, R., Dell'Anno, A., Corinaldesi, C., Magagnini, M., Noble, R., Tamburini, C. & Weinbauer, M. (2008b). Major viral impact on the functioning of benthic deep-sea ecosystems. *Nature* 454, 1084-1087.

- Danovaro, R., Dell'Anno, A., Fabiano, M., Pusceddu, A., Tselepidis, A. (2001). Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study, *Trends in Ecology and Evolution*, 16, 505-510.
- Danovaro, R., Dell'Anno, A., Pusceddu, A. (2004). Biodiversity response to climate change in a warm deep sea, *Ecology Letters*, 7(9), 821-828.
- Danovaro, R., Dinet, A., Duineveld, G., Tselepidis, A. (1999). Benthic response to particulate fluxes in different trophic environments: a comparison between the Gulf of Lions-Catalan Sea (western-Mediterranean) and the Cretan Sea (eastern-Mediterranean), *Progress in Oceanography*, 44(1-3), 287-312.
- Danovaro, R., Fonda Umani, S., Pusceddu, A. (2009). Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea, *PLoS ONE* 4(9), e7006. doi:10.1371/journal.pone.0007006.
- Danovaro, R., Gambi, C., Della Croce, A. (2002). Meiofauna hotspot in the Atacama Trench, eastern South Pacific Ocean, *Deep Sea Research Part I*, 49(5), 843-857.
- Danovaro, R., Gambi, C., Dell'Anno, A., Corinaldesi, C., Frascchetti, S., Vanreusel, A., Vincx, M., Gooday, A.J. (2008a) Exponential decline of deep-sea ecosystem functioning linked to benthic biodiversity loss, *Current Biology*, 18, 1-8.
- Dayton, P.K., Tegner, M.J., Parnell, P.E., Edwards, P.B. (1992). Temporal and spatial patterns of disturbance and recovery in a kelp forest community, *Ecological Monographs*, 62, 421-445.
- Degobbis, D., Fonda Umani, S., Franco, P., Malej, A., Precali, R., Smodlaka, N. (1995). Changes in the northern Adriatic ecosystem and hypertrophic appearance of gelatinous aggregates, *Science of the Total Environment* 165, 43-58.
- Dell'Anno, A., Danovaro, R. (2005). Extracellular DNA Plays a Key Role in Deep-Sea Ecosystem Functioning, *Science*, 309(5744), 2179.
- Deutsch, C.A., Tewksbury, J.J., Huey, R.B., Sheldon, K.S., Ghalambor, C.K., Haak, D.C., Martin, P.R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 105, 6668-6672. doi: 10.1073/pnas.0709472105.
- Diaz, H.F., Murnane, R.J. (Eds.) (2008). *Climate extremes and society*. 340pp. Cambridge University Press.
- Dillon, M.E., Wang, G., Huey, R.B. (2010). Global metabolic impacts of recent climate warming, *Nature*, 467, 704-707.
- Doney, S.C., Schimel, D.S. (2007). Carbon and climate system coupling on timescales from the Precambrian to the Anthropocene, *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 31-66. doi: 10.1146/annurev.energy.32.041706.124700.
- Doney, S.C. (2010). The growing human footprint on coastal and open-ocean biogeochemistry, *Science*, 328, 1512.
- Doney, S.C. (2006). Oceanography: Plankton in a warmer world. *Nature* 444, 695-696.
- Duarte, C. (2002). The future of seagrass meadows, *Environmental conservation*, 29(2), 192-206.
- Duarte, C. (2007). Marine ecology warms up to theory. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 331-333.
- Duarte, C.M., Chiscano, C.L. (1999). Seagrass biomass and production: a reassessment, *Aquatic Botany*, 65(1-4), 159-174.
- Dulvy, N.K., Sadovy, Y., Reynolds, J.D. (2003). Extinction vulnerability in marine populations, *Fish and Fisheries*, 4, 25-64.
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts, *Science*, 289(5487), 2068-2074.

- Edwards, M., Richardson, A.J. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430, 881-884.
- EEA (2005). European Environment Agency Report 11/2005 - Household consumption and the environment.
- Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A., Orr, J.C. (2008). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes, *ICES Journal of Marine Sciences*, 65, 414-432. doi: 10.1093/icesjms/fsn048.
- Fahey, S.J., Garson, M.J. (2002). Geographic variation of natural products of tropical nudibranch *Asteronotus cespitosus*, *Journal of Chemical Ecology*, 28, 1773-1785.
- FAO (2010). *FAO Yearbook 2008: Fishery and Aquaculture Statistics*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, 74 pp.
- Fields, P.A., Graham, J.B., Rosenblatt, R.H., Somero, G.N. (1993). Effects of expected global climate change on marine faunas, *Trends in Ecology and Evolution*, 8(10), 361-367.
- Fields, P.A., Rudomin, E.L., Somero, G.N. (2006). Temperature sensitivities of cytosolic malate dehydrogenases from native and invasive species of marine mussels (genus *Mytilus*): sequences-function linkages and correlations with biogeographic distribution, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 209, 656-667.
- Fiksen, Ø., Aksnes, D.L., Flyum, M.H., Giske, J. (2002). The influence of turbidity on growth and survival of fish larvae: a numerical analysis, *Hydrobiologia*, 484, 49-59.
- Fonda Umani, S., Del Negro, P., Larato, C., De Vittor, C., Cabrini, M., Celio, M., Falconi, C., Tamberlich, F., Azam, F. (2007). Major inter-annual variations in microbial dynamics in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) and their ecosystem implications, *Aquatic Microbial Ecology*, 46, 163-17.
- Fonda Umani, S., Milani, L., Borme, D., de Olazabal, A., Parlato, S., Precali, R., Kraus, R., Lučić, D., Njire, J., Totti, C., Romagnoli, T., Pompei, M., Cangini, M. (2005). Inter-annual variations of planktonic food webs. *Sci Total Environ*. 2005 Dec 15; 353(1-3), 218-31.
- Frankignoulle, M., Canon, C., Gattuso, J.P. (1994). Marine calcification as a source of carbon dioxide: positive feedback of increasing atmospheric CO<sub>2</sub>, *Limnology and Oceanography*, 39, 458-462.
- Fraschetti, S., Bevilacqua, S., Guarnieri, G., Terlizzi, A. (2012). Remote marine reserves: the risk of being small, isolated and without regulation, *Marine Ecology Progress Series*, 466, 21-34.
- Fraschetti, S., Guarnieri, G., Bevilacqua, S., Terlizzi, A., Claudet, J., Russo, G.F., Boero, F. (2011). Conservation of Mediterranean habitats and biodiversity countdowns: What information do we really need?. *Aquatic Conservation Marine Freshwater Ecosystem*, 21, 299-306.
- Fry, F.E.J. (1947). *Effects of the environment on animal activity*. University of Toronto Studies, Biological Series 55. Publication of the Ontario Fisheries Research Laboratory 68, 1-62.
- Fuhrman, J.A. (1999). Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects, *Nature*, 399, 541-548.
- Galil, B.S. (2012). Truth and consequences: the bioinvasion of the Mediterranean Sea, *Integrative Zoology*, 7, 299-311.
- Galil, B.S. (2007). Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 55, 314-322.
- Gattuso, J.P., Frankignoulle, M., Smith, S.V. (1999). Measurement of community metabolism and significance in the coral reef CO<sub>2</sub> source-sink debate. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USAPNAS*, 96, 13017-13022.

- Gazeau, F., Quiblier, C., Jansen, J.M., Gattuso, J.-P., Middelburg, J.J., Heip, C.H.R. (2007). Impact of elevated CO<sub>2</sub> on shellfish calcification, *Geophysical Research Letters*, 34, L07603, doi:10.1029/2006GL028554.
- Genner, M.J., Sims, D.W., Wearmouth, V.J., Southall, E.J., Southward, A.J., Henderson, P.A., Hawkins, S.J. (2004). Regional climatic warming drives long-term community changes of British marine fish. In: *Proceeding of Royal Society, Part B: Biological Sciences*, 271, 655-661.
- Giani, M., Djakovac, T., Degobbis, D., Cozzi, S., Solidoro, C., Fonda Umani, S. (2012). Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 115, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2012.08.023>.
- Gilchrist, G.W. (1995). Specialists and generalists in changing environments. I. Fitness landscapes of thermal sensitivity, *American Naturalist*, 146, 252-270.
- Glanville, E.J., Seebacher, F. (2006). Compensation for environmental change by complementary shifts of thermal sensitivity and thermoregulatory behavior in an ectotherm, *Journal of Experimental Biology*, 209, 4869-4877.
- Gleeson, M.W., Strong, A.E. (1995). Applying MCSST to coral reef bleaching. *Advances in Space Research* 16(10), 151-154.
- Gorman, D., Russell, B.D., Connell, S.D. (2009). Land to-sea connectivity: linking human-derived terrestrial subsidies to subtidal habitat change on open rocky coasts, *Ecological Applications*, 19, 1114-1126.
- Goy, J., Morand, P., Etienne, M. (1989). Long-term fluctuations of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphomedusa) in the western Mediterranean Sea. Prediction by climatic variables, *Deep Sea Research Part A* 36(2), 269-279.
- Green, E.P., Short, F.T. (2003). *World Atlas of seagrasses*. Prepared by the UNEP World Conservation monitoring centre. University of California press, Berkeley USA.
- Grehan, A.J., van den Hove, S., Armstrong, C.W., Long, R., van rensburg, T., Gunn, V., Mikkelsen, E., De Mol, B., Hain, S. (2009). HERMES: promoting ecosystem-based management and the sustainable use and governance of deep water resources, *Oceanography*, 22(1), 154-166.
- Gruber, N. (2011). Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change, *Philosophical Transactions of The Royal Society, A* 369, 1980-1996.
- Guidetti, P., Fraschetti, S., Terlizzi, A., Boero, F. (2004). Effects of desertification caused by *Lithophaga lithophaga* (Mollusca) fishery on littoral fish assemblages along rocky coasts of southeastern Italy. *Conservation Biology* 18(5), 1417-1423.
- Guidetti, P., Boero, F. (2004). Desertification of Mediterranean rocky reefs caused by date-mussel, *Lithophaga lithophaga* (Mollusca: Bivalvia), fishery: Effects on adult and juvenile abundance of a temperate fish. *Marine Pollution Bulletin* 48(9-10), 978-982
- Hallegraeff, G.M. (2010). Ocean Climate Change, Phytoplankton Community Responses, And Harmful Algal Blooms: A Formidable Predictive Challenge. *Journal of Phycology* 46, 220-235.
- Halpern, B.S., Cottenie, K. (2007). Little evidence for climate effects on local-scale structure and dynamics of California kelp forest communities, *Global Change Biology*, 13, 236-251. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01243.x.
- Halpern, B.S., Lester, S.E., McLeod, K.L. (2010). Placing marine protected areas onto the ecosystem-based management seascape. *PNAS* 107(43), 18312-18317.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Kharecha, P., Lacis, A., Miller, R.L., ... Zhang, S. (2007). Climate simulations for 1880-2003 with GISS modelE, *Clim. Dyn.*, 29, 661-696.

- Harley, C.D.G., Hughes, A.R., Hultgren, K.M., Miner, B.G., Sorte, C.J.B., Thornber, C.S., Rodriguez, L.F., Tomanek, L., Williams, S.L. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems, *Ecology Letters*, 9, 228-241.
- Hawkins, S.J., Moore, P.J., Burrows, M.T., Poloczanska, E., Mieszkowska, N., Herbert, R.J.H., Jenkins, S.R., Thompson, R.C., Genner, M.J., Southward, A.J. (2008). Complex interactions in a rapidly changing world: responses of rocky shore communities to recent climate change, *Climate Research*, 37, 123-133.
- Hays, G.C., Richardson, A.J., Robinson, C. (2005). Climate change and marine plankton, *Trends in Ecology and Evolution*, 20(6), 337-344.
- Helly, J.J., Levin, L.A. (2004). Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins, *Deep-Sea Research Part I*, 51, 1159-1168.
- Helmuth, B., Mieszkowska, N., Moore, P., Hawkins, S.J. (2006). Living on the edge of two changing worlds: Forecasting the responses of rocky intertidal ecosystems to climate change, *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 37, 373-404.
- Hickey, J.P. (2008). Carbon sequestration potential of shellfish. Technical report, School of Natural and Built Environments, LMES, University of South Australia. Seminars in Sustainability-UniSA, [www.oysterssa.com.au/media/files/755.pdf](http://www.oysterssa.com.au/media/files/755.pdf).
- Hickling, R., Roy, D.B., Hill, J.K., Fox, R., Thomas, C.D. (2006). The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards, *Global Change Biology*, 12, 450-455.
- Hoegh-Guldberg, O. & Bruno, J.F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328, 1523-1528. doi: 10.1126/science.1189930.
- Hogg, R.C. (2006). Novel approaches to pain relief using venom-derived peptides, *Current Medicinal Chemistry*, 13, 3191-3201.
- Horppila J., Liljendahl-Nurminen J., Malinen T. (2004). Effects of clay turbidity and light on the predator-prey interaction between smelts and chaoborids, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 61, 1862-1870.
- Huey, R.B., Berrigan, D., Gilchrist, G.W., Herron, J.C. (1999). Testing the adaptive significance of acclimation: a strong inference approach, *American Zoologist*, 39, 323-336.
- Huey, R.B., Kingsolver, J.G. (1989). Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance, *Trends in Ecology and Evolution*, 4, 131-135. doi: 10.1016/0169-5347(89)90211-5.
- Huey, R.B., Kingsolver, J.G. (1993). Evolutionary responses to extreme temperatures in ectotherms, *The American Naturalist*, 143, S21-S46.
- Huey, R.B., Slatkin, M. (1976). Costs and benefits of lizard thermoregulation, *The Quarterly Review of Biology*, 51, 363-384.
- Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C., Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J.B.C., Kleypas, J., Lough, J.M., Marshall, P., Nyström, M., Palumbi, S.R., Pandolfi, J.M., Rosen, B., Roughgarden, J. (2003). Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science*, 301 (5635), 929-933. doi: 10.1126/science.1085046.
- Hutchings, P.A., Salvat, B. (2000). The Indian Ocean to the Pacific: French Polynesia. In: *Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation* (ed. Sheppard C), 813-826. Elsevier, Amsterdam.
- Hutchings, P.A., Ah Yong, S., Byrne, M., Przeslawski, R., Worheide, G. (2007). Vulnerability of benthic invertebrates of the Great Barrier Reef to climate change. In: *Climate Change and the Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment* (eds.

- Johnson J, Marshall P), 309-356. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Townsville.
- Iglesias-Rodriguez, M.D., Halloran, P.R., Rickaby, R.E.M., Hall, I.R., Colmenero-Hidalgo, E., Gittins, J.R., Green, D.R.H., Tyrrell, T., Gibbs, S.M., von Dassow, P., Rehm, E., Armbrust, E.V., Boessenkool, K.P. (2008). Phytoplankton Calcification in a High-CO<sub>2</sub> World. *Science* 320(5874), 336-340.
- IPCC (2007). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2012). Glossary of terms. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 555-564.
- Irving, A.D., Balata, D., Colosio, F., Ferrando, G.A., Airoidi, L. (2009). Light, sediment, temperature, and the early life-history of the habitat-forming alga *Cystoseira barbata*. *Marine Biology* 156(6), 1223-1231.
- Ivanov, V.V., Shapiro, G.I., Huthnance, J.M., Aleynik, D.L., Golovin, P.N. (2004). Cascades of dense water around the world ocean, *Progress in Oceanography*, 60, 47-98.
- Jager, T. (2012). Bad habits die hard; the NOEC's persistence reflects poorly on ecotoxicology, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31, 228-229.
- Janzen, D.H. (1967). Why mountain passes are higher in the tropics, *The American Naturalist*, 101, 233-249.
- Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M. (1997). Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers, *Ecology*, 78, 1946-1957.
- Kearney, M., Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges, *Ecology Letters*, 12, 334-350. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x.
- Kearney, M., Simpson, S.J., Raubenheimer, D., Helmuth, B. (2010). Modelling the ecological niche from functional traits. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 365, 3469-3483. doi: 10.1098/rstb.2010.0034.
- Keeling, R.F., Garcia, H. (2002). The change in oceanic O<sub>2</sub> inventory associated with recent global warming. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 99(12), 7848-7853.
- Keeling, R.F., Körtzinger, A., Gruber, N. (2010). Ocean Deoxygenation in a Warming World, *Annual Review of Marine Science*, 2, 199-229.
- Khatiwala, S., Primeau, F., Hall, T. (2009). Reconstruction of the history of anthropogenic CO<sub>2</sub> concentrations in the ocean, *Nature*, 462, 346-349. doi:10.1038/nature08526.
- Kirchman, D.L., Anxelu, X., Morán, G., Ducklow, H. (2009). Microbial growth in the polar oceans role of temperature and potential impact of climate change, *Nature Reviews*, 7, 451-459.
- Kooijman, S.A.L.M. (Bas) (2010). *Dynamic Energy Budget theory for metabolic organisation*. Cambridge University Press.
- Kuffner, I.B., Andersson, A.J., Jokiel, P.L., Rodgers, K.S., Mackenzie, F.T. (2008). Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification, *Nature Geoscience*, 1, 114-117.

- Kushmaro, A., Loya, Y., Fine, M., Rosenberg, E. (1996). Bacterial infection and coral bleaching, *Nature*, 380, 396. doi:10.1038/380396a0.
- Laborel, J., Laborel-Deguen, F. (1996). Biological indicators of holocene sea-level and climatic variations on rocky coasts of tropical and subtropical regions, *Quaternary International*, 31, 53-60.
- Lambhead, P.J.D., Brown, C.J., Ferrero, T.J., Mitchell, N.J., Smith, C.R., Hawkins, L.E., Tietjen, J. (2002). Latitudinal diversity patterns of deep-sea marine nematodes and organic fluxes : a test from the central equatorial Pacific, *Marine Ecology Progress Series*, 236, 129-135.
- Laws, E.A. (2004). Export flux and stability as regulators of community composition in pelagic marine biological communities: implications for regime shifts, *Progress in Oceanography*, 60, 343-354.
- Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., Pérez, T. (2009). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea.
- Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., Pérez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(4), 250-260. doi: 10.1016/j.tree.2009.10.009.
- Lerman, A., Mackenzie, F.T. (2005). CO<sub>2</sub> air-sea exchange due to calcium carbonate and organic matter storage, and its implications for the global carbon cycle, *Aquatic Geochemistry*, 11, 345-390.
- Leroi, A.M., Bennett, A.F., Lenski, R.E. (1994). Temperature acclimation and competitive fitness: an experimental test of the beneficial acclimation assumption In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 91, 1917-1921. doi: 10.1073/pnas.91.5.1917.
- Lester, S.E., Halpern, B.S., Grorud-Colvert, K., Lubchenco, J., Ruttenberg, B.I., Gaines, S.D., Airamé, S., Warner, R.R. (2009). Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis, *Marine Ecology Progress Series*, 384, 33-46.
- Levin, L.A. (2010). Anaerobic Metazoans: No longer an oxymoron, *BMC Biology* 2010, 8,31, <http://www.biomedcentral.com/1741-7007/8/31>.
- Lloret, J., Marín, A., Marín-Guirao, L. (2008). Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78, 403-412.
- Lohbeck, K.T., Riebesell, U., Reusch, T.B.H. (2012). Adaptive evolution of a key phytoplankton species to ocean acidification. *Nature Geoscience* 5, 346-351.
- Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M.C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H., Jackson, J.B.C. (2006). Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas, *Science*, 312 (5781), 1806-1809.
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., Stocker, T.F. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present, *Nature*, 453, 379-382. doi:10.1038/nature06949.
- Mackenzie, B.R., Gislason, H., Möllmann, C., Köster, F.W. (2007). Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries, *Global Change Biology*, 13, 1348-1367.
- Maggs, C., Mineur, F., Bishop, J., McCollin, T. (2010). Non-native species: in MCCIP Annual Report Card 2010-11, MCCIP Science Review, 11pp. Available online at [www.mccip.org.uk/arc](http://www.mccip.org.uk/arc).

- Mangialajo, L., Bertolotto, R., Cattaneo-Vietti, R., Chiantore, M., Grillo, C., Lemeed, R., Melchiorre, N., Moretto, P., Povero, P., Ruggieri, N. (2008). The toxic benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata*: Quantification of proliferation along the coastline of Genoa, Italy, *Marine Pollution Bulletin*, 56 (6), 1209-1214.
- Mannino, A.M. (1992). Studio fitosociologico della vegetazione mesolitorale a *Lithophyllum lichenoides* PHILIPPI (Rhodophyceae, Corallinales), *Naturalista sicil.*, Palermo, s. IV, 16 (1-2), 3-25.
- Martin, D., Bertasi, F., Colangelo, M.A., de Vries, M.F., Frost, M., Hawkins, S.J., Macpherson, E., Moschella, P.S., Satta, M.P., Thompson, R.C., Ceccherelli, V.U. (2005). Ecological impact of coastal defense structures on sediment and mobile fauna: evaluating and forecasting consequences of unavoidable modifications of native habitats, *Ecological Engineering*, 52, 1027-1051.
- Martin, S., Gattuso, J.-P. (2009). Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature, *Global Change Biology*, 15, 2089-2100.
- Martin, S., Rodolfo-Metalpa, R., Ransome, E., Rowley, S., Buia, M.C., Gattuso, J.P., Hall-Spencer, J. (2008). Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts, *Biology Letters*, 4(6), 689-692.
- McCarty, J.P. (2001). Ecological consequences of recent climate change, *Conservation Biology* 15, 320-331. doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x.
- McClain, C.R., Rex, M.A., Jabbour, R. (2005). Deconstructing bathymetric body size patterns in deep-sea gastropods, *Marine Ecology Progress Series*, 297, 181-187.
- McGinty, N., Power, A.M. Johnson, M.P. (2011). Variation among northeast Atlantic regions in the responses of zooplankton to climate change: not all areas follow the same path. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, 120-131. doi:10.1016/j.jembe.2011.02.013.
- McGowan, J.A., Cayan, D.R., LeRoy, M.D. (1998). Climate-ocean variability and ecosystem response in the Northeast Pacific, *Science* 281, 210-217. doi: 10.1126/science.281.5374.210.
- MEA (2010). The Millennium Ecosystem Assessment (Agenda item 21), IUCN Policy, Biodiversity & International Agreements.
- Micheli, F., Saenz-Arroyo, A., Greenley, A., Vazquez, L., Espinoza Montes, J.A., Rossetto, M., De Leo, G.A. (2012). Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts, *Plos ONE*, 7 e40832.
- Middelboe, M., Lyck, P.G. (2002). Regeneration of dissolved organic matter by viral lysis in marine, *Aquat Microb Ecol*, 27, 187-194. doi:10.3354/ame027187.
- Milly, P.C.D., Dunne, K.A., Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in stream flow and water availability in a changing climate, *Nature*, 438, 347-350.
- Mistri, M. (2012). Le lagune del Delta del Po, tra conservazione e gestione, *Aracne Ed RM*, 203 pp.
- Mistri, M., Munari, C. (2012). Clam farming generates CO<sub>2</sub>: A study case in the Marinetta lagoon (Italy), *Marine Pollution Bulletin*, 64, 2261-2264.
- Monterosato, T.A. (1892). Monografia dei vermeti del Mediterraneo. *Bollettino della Società Malacologica Italiana*, Pisa, 17, 7-48.
- Mumby, P.J., Vitolo, R., Stephenson, D.B. (2011). Temporal clustering of tropical cyclones and its ecosystem impacts. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 17626-17630.
- Munari, C. (2011). Effects of the 2003 European heatwave on the benthic community of a severe transitional ecosystem (Comacchio Saltworks, Italy), *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2761-2770.

- Myers, R.A., Worm, B. (2003). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities, *Nature*, 423, 280-283.
- Nixon S.W., Grange S., Buckley B.A., Lamont M., Rowell B. (2004). A one hundred and seventeen year coastal water temperature record from Woods Hole, Massachusetts, *Estuaries*, 27, 397-404.
- Noble, R.T., Fuhrman, J.A. (2000). Rapid virus production and removal as measured with fluorescently labeled viruses as tracers, *Applied and Environmental Microbiology*, 66(9), 3790-3797.
- Nykjaer, L. (2009). Mediterranean Sea surface warming 1985-2006, *Climate Research*, 39, 11-17. doi: 10.3354/cr00794
- Occhipinti-Ambrogi, A. (2007). Global change and marine communities: Alien species and climate change, *Marine Pollution Bulletin*, 55, 342-352.
- Occhipinti-Ambrogi, A., Ambrogi, R. (2009). Global change and loss of biodiversity in the world's oceans. *Studi trentini di scienze naturali*, 86, 1-6.
- Occhipinti-Ambrogi, A., Galil, B. (2010). Marine alien species as an aspect of global change, *Advances in Oceanography and Limnology*, 1(1), 199-218.
- Occhipinti-Ambrogi, A., Savini, D., Forni, G. (2005). A six-years monitoring of the macrobenthos off Cesenatico coast (Emilia-Romagna, Northern Adriatic), *Science of Total Environment*, 353, 317-328.
- Olden, J.D., Rooney, T.P. (2006). On defining and quantifying biotic homogenization, *Global Ecology and Biogeography*, 15, 113-120.
- Orth, R.J., Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Heck, jr K.L., Hughes, R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Olyarnik, S., Short, F.T., Waycott, M., Williams, S.L. (2006). Global crisis for seagrass ecosystems, *BioScience*, 56(12), 987-996.
- Oviatt, C.A. (2004). The changing ecology of temperate coastal waters during a warming trend, *Estuaries*, 27, 895-904.
- Page, M., West, L., Horthcote, P., Battershill, C., Kelly, M. (2005). Spatial and temporal variability of cytotoxic metabolites in populations of the New Zealand sponge *Mycale hentscheli*, *Journal of Chemical Ecology*, 31, 1161-1174.
- Painter, S.C., Tsimplis, M.N. (2003). Temperature and salinity trends in the upper waters of the Mediterranean Sea as determined from the MEDATLAS dataset, *Continental Shelf Research*, 23 (16), 1507-1522. doi:10.1016/j.csr.2003.08.008.
- Passow, U. (2004). Switching perspectives: Do mineral fluxes determine particulate organic carbon fluxes or vice versa? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5, Q04002.
- Pearson, R.G. (2006). Climate change and the migration capacity of species, *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 111-113.
- Penna, A., Garcés, E., Vila, M., Giacobbe, M.G., Fraga, S., Luglié, A., Bravo, I., Bertozzini, E., Vernesi, C. (2005). *Alexandrium catenella* (Dinophyceae), a toxic ribotype expanding in the NW Mediterranean Sea, *Marine Biology*, 148, 13-23.
- Perkol-Finkel, S., Airoidi, L. (2010). Loss and recovery potential of marine habitats: an experimental study of factors maintaining resilience in subtidal algal forests at the Adriatic sea, *PLoS ONE* 5(5): e10791. doi:10.1371/journal.pone.0010791.
- Philippart, C.J.M., Anadón, R., Danovaro, R., Dippner, J.W., Drinkwater, K.F., Hawkins, S.J., Oguz, T., O'Sullivan, G., Reid, P.C. (2011). Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, 52-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.023>.

- Poloczanska, E.S., Babcock, R.C., Butler, A., Hobday, A.J., Hoegh-Guldberg, O., Kunz, T.J., Matear, R., Milton, D.A., Okey, T.A., Richardson, A.J. (2007). Climate change and Australian marine life, *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 45, 407-478.
- Pörtner, H.O., Peck, M.A. (2010). Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding, *Journal of Fish Biology*, 77, 1745-1779. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x.
- Pörtner, H.O. (2010). Climate variations and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 132 (4), 739-761.
- Pörtner, H.O. (2010). Oxygen and capacity limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems, *Journal of Experimental Biology*, 213, 881-893. doi: 10.1242/jeb.037523.
- Pörtner, H.O., Knust, R. (2007). Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance, *Science*, 315(5808), 95-97.
- Pörtner H.O. Peck M.A. (2010). Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding, *Journal of Fish Biology*, 77, 1745-1779.
- Pound, J.A., Bustamante, M.R., Coloma, L.A., Consuegra, J.A., Fogden, M.P.L., Foster, P.N., La Marca, E., Masters, K.L., Merino-Viteri, A., Puschendorf, R., Ron, S.R., Sanchez-Azofeifa, G.A., Still, C.J., Young, B.E. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming, *Nature*, 439, 161-167.
- Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C.R., Pečar, O. (2005). Mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic in the period 1999-2002: typology and distribution, *Science of the Total Environment*, 353, 10-23.
- Przeslawski, R., Ahyong, S., Byrne, M., Worheide, G., Hutchings, P. (2008). Beyond corals and fish: the effects of climate change on noncoral benthic invertebrates of tropical reefs, *Global Change Biology*, 14, 2773-2795.
- Puce, S., Bavestrello, G., Di Camillo, C.G., Boero, F. (2009). Long-term changes in hydroid (Cnidaria Hydrozoa) assemblages: effect of Mediterranean warming? *Marine Ecology-An evolutionary perspective*, 30(3), 313-326.
- Pusceddu, A., Dell'Anno, A., Danovaro, R., Manini, E., Sarà, G., Fabiano, M. (2003). Enzymatically hydrolyzable protein and carbohydrate sedimentary pools as indicators of the trophic state of 'detritus sink' systems: a case study in a Mediterranean coastal lagoon, *Estuaries*, 26, 641-650.
- Pusceddu, A., Mea, M., Canals, M., Sanchez-Vidal, A., Heussner, S., Durrieu de Madron, X., Bianchelli, S., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Thomsen, L., Danovaro, R. (2012). Deep-sea benthic ecosystem collapse and recovery after an intense Dense Shelf Water Cascading event, *Biogeosciences discussions*, Vol. 9 Issue 12, p17855.
- Pusceddu, A., Mea, M., Gambi, C., Bianchelli, S., Canals, M., Sanchez-Vidal, A., Calafat, A., Heussner, S., Durrieu De Madron, X., Avril J., Thomsen, L., Garcia, R., Danovaro, R. (2010). Ecosystem effects of dense water formation on deep Mediterranean Sea ecosystems: an overview, *Advances in Oceanography and Limnology*, 1(1), 67-83.
- Pusceddu, A., Sarà, G., Armeni, M., Fabiano, M., Mazzola, A. (1999). Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W-Mediterranean Sea), *Hydrobiologia*, 397, 59-70.
- Rahel, F.J. (2007). Biogeographic barriers, connectivity, and biotic homogenization: it's a small world after all, *Freshwater Biology*, 52, 696-710.
- Ramirez-Llodra, E., Brandt, A., Danovaro, R., De Mol, B., Escobar, E., German, C.R., Levin, L.A., Martinez Arbizu, P., Menot, L., Buhl-Mortensen, P., Narayanaswamy, B.E., Smith, C.R., Tittensor, D.P., Tyler, P.A., Vanreusel, A., Vecchione, M. (2010). Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem, *Biogeosciences*, 7, 2851-2899.

- Ramirez-Llodra, E., Tyler, P.A., Baker, M.C., Aksel Bergstad, O., Clark, M.R., Escobar, E., Levin, L.A., Menot, L., Rowden, A.A., Smith, C.R., Van Dover, C.L. (2011). Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea, *PLoS ONE*, 6(7): art. e22588.
- Richardson, A.J., Bakun, A., Hays, G.C., Gibbons, M.J. (2009). The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future, *Trends in Ecology and Evolution*, 24, 312-322.
- Riedel, B., Stachowitsch, M., Zuschin, M. (2008). Sea anemones and brittle stars: unexpected predatory interactions during induced in situ oxygen crises, *Mar Biol* 153, 1075-1085.
- Ries, J.B., Cohen A.L., McCorkle, D.C. (2009). Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO<sub>2</sub>-induced ocean acidification, *Geology*, 37, 1131-1134.
- Rilov, G., Benayahu, Y., Gasith, A. (2004). Prolonged lag in population outbreak of an invasive mussel: a shifting-habitat model, *Biological Invasions*, 6, 347-364.
- Rilov, G., Galil, B. (2009). Marine bioinvasions in the Mediterranean Sea - history, distribution and ecology. In: *Biological Invasions in Marine Ecosystems: Ecological, Management, and Geographic Perspectives* (eds. Rilov G & Crooks JA), 549-575. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Rinaldi, A., Vollenweider, R.A., Montanari, G., Ferrari, C.R., Ghetti, A. (1995). Mucilages in Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988–1991, *Science of the Total Environment*, 165, 165-183.
- Rixen, M., Beckers, J., Levitus, S., Antonov, J., Boyer, T., Maillard, C., Fichaut, M., Balopoulos, E., Iona, S., Dooley, H., Garcia, M., Manca, B., Giorgetti, A., Manzella, G., Mikhailov, N., Pinardi, N., Zavatarelli, M. (2005). The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change, *Geophysical Research Letters*, (0094-8276) (AGU), 2005-06, Vol. 32(12). doi: 10.1029/2005GL022702.
- Roff, D.A. (1992). *The evolution of life histories: Theory and Analysis*. Chapman and Hall New York.
- Royal Society (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Policy Document 12/05, The Royal Society, London. 60 pp.
- Ruesink, J.L., Lenihan, H.S., Trimble, A.C., Heiman, K.W., Micheli, F., Byers, J.E., Kay, M.C. (2005). Introduction of non-native oysters: ecosystem effects and restoration implications, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36, 643-689.
- Ruhl, H.A., Smith, Jr, K.L. (2004). Shifts in deep-sea community structure linked to climate and food supply, *Science*, 305, 513-515.
- Ruhl, H.A. (2007). Abundance and size distribution dynamics of abyssal epibenthic megafauna in the northeast Pacific, *Ecology*, 88, 1250-1262.
- Russell, B.D. (2007). Effects of canopy-mediated abrasion and water flow on the early colonisation of turf-forming algae, *Marine Freshwater Research*, 58, 657-665.
- Russell, B.D., Connell, S.D. (2009). Eutrophication science: moving into the future, *Trends in Ecology and Evolution*, 24(10), 527-528.
- Russell, B.D., Thompson, J.I., Falkenberg, L.J., Connell, S.D. (2009). Synergistic effects of climate change and local stressors: CO<sub>2</sub> and nutrient driven change in subtidal rocky habitats, *Global Change Biology*, 15, 2153-2162.
- Russo, A., Maccaferri, S., Djakovac, T., Precali, R., Degobbis, D., Deserti, M., Paschini, E., Lyons, D.M. (2005). Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999-July 2002: influence on the mucilage phenomenon, *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 24-38.

- Safriel, U.N. (1975). The role of vermetid gastropods in the formation of Mediterranean and Atlantic reefs, *Oecologia* (Berlin), 20, 85-101.
- Safriel, U.N., Sasson-Frostig, Z. (1988). Can colonizing mussel outcompete indigenous mussel?, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 117, 211-226.
- Sala, E., Ballesteros, E., Dendrinis, P., Di Franco, A., Ferretti, F., Foley, D., Fraschetti, S...Zabala, M. (2012). The structure of Mediterranean rocky reef ecosystems across environmental and human gradients, and conservation implications, *PLOS One*, 7, 2.
- Sala, O.E., Chapin, F.S. III, Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., ...Wall D.H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100, *Science*, 287, 1779-1774.
- Sales, M., Ballesteros, E. (2009). Shallow *Cystoseira* (Fucales: Ochrophyta) assemblages thriving in sheltered areas from Menorca (NW Mediterranean): Relationships with environmental factors and anthropogenic pressures, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84 ( 4), 476-482.
- Sarà, G., Kearney, M., Helmuth, B. (2011a). Combining heat-transfer and energy budget models to predict local and geographic patterns of mortality in Mediterranean intertidal mussels. *Chemistry and Ecology*, 27, 135-145.
- Sarà, G., Lo Martire, M., Sanfilippo, M., Pulicanò, G., Cortese, G., Mazzola, A., Manganaro, A., Pusceddu, A. (2011b). Impacts of marine aquaculture at large spatial scales: evidences from N and P catchment loading and phytoplankton biomass, *Marine Environmental Research*, 71, 317-324.
- Sarà, G., Reid, G.K., Rinaldi, A., Palmeri, V., Troell M., Kooijman, S.A.L. (2012). Growth and reproductive simulation of candidate shellfish species at fish cages in the Southern Mediterranean: Dynamic Energy Budget (DEB) modelling for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture* 324-325, 259-266 Sarà G., Palmeri V., Montalto V., Rinaldi A., Widdows J. (2013a). The parameterisation of bivalve functional traits in a context of mechanistic ecophysiological Dynamic Energy Budget (DEB) model, *Marine Ecology Progress Series*, 480,99-117. doi:10.3354/meps10195.
- Sarà, G., Palmeri, V., Rinaldi, A., Montalto, V., Helmuth, B. (2013b). Predicting biological invasions in marine habitats through eco-physiological mechanistic models: a study case with the bivalve *Brachidontes pharaonis*, *Diversity and Distribution*, 19(10), 1235-1247. doi: 10.1111/ddi.12074.
- Sarà, G., Romano, C., Caruso, M., Mazzola, A. (2000). The new Lessepsian entry *Brachidontes pharaonis* (Fischer P., 1870) (*Bivalvia*, *Mytilidae*) in the western Mediterranean: A physiological analysis under varying natural conditions, *Journal of Shellfish Research*, 19, 967-977.
- Sarmiento, J.L., Hughes, T.M.C., Stouffer, R.J., Manabe, S. (1998). Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming, *Nature*, 393, 245-249.
- Saunders, M., Metaxas, A. (2007). Temperature explains settlement patterns of the introduced bryozoan *Membranipora membranacea* in Nova Scotia, Canada, *Marine Ecology Progress Series*, 344, 95-106.
- Savini, D., Occhipinti-Ambrogi, A. (2006). Consumption rates and prey preference of the invasive gastropod *Rapana venosa* in the Northern Adriatic Sea, *Helgolander Marine Research*, 60, 153-159.
- Schindler, D.W. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication, *Limnology and Oceanography*, 51, 356-363.
- Schoener, T.W. (1986). Mechanistic Approaches to Community Ecology: A New Reductionism?, *American Zoologist*, 26, 81-106. doi: 10.1093/icb/26.1.81.

- Scinto, A., Bertolino, M., Calcinai, B., Huete-Stauffer, C., Previati, M., Romagili, T., Cerrano, C. (2009). Role of a Paramuricea clavata forest in modifying the coralligenous assemblages. Actes du Ier Symposium sur le Coralligène et autres Bio-Concrétions calcaires de Méditerranée 136-140. Tabarka.
- Shears, N.T., Babcock, R.C. (2002). Marine reserves demonstrate top-down control of community structure on temperate reefs, *Oecologia*, 132, 131-142.
- Sheppard, C., Dixon, D.J., Gourlay, M.J., Sheppard, A., Payet, R. (2005). Coral mortality increases wave energy reaching shores protected by reef flats: examples from the Seychelles, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64, 223-234.
- Short, F.T., Neckles, H.A. (1999). The effects of global climate change on seagrasses, *Aquatic Botany*, 63, 169-196.
- Silenzi, S., Antonioli, F., Chemello, R. (2004). A new marker for surface sea temperature trend during the last centuries in temperate areas: vermetid reef, *Global Planet Change*, 40, 105-114.
- Silenzi, S., Calvo, M., Chemello, R., Devoti, S., Fallon, S., McCulloch, M., Montagna, P., Templado, J., Trotter, J. (2009). Sea level rise in the Mediterranean Sea: high resolution constraints from vermetid reefs, *Goldschmidt 2009, Davos, Switzerland, Geochemical Cosmochimical Acta*, 25, A1222.G.
- Simberloff, D. (2009). The role of propagule pressure in biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 40, 81-102. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120304.
- Sisma-Ventura, B., Guzner, B., Yam, R., Fine, M., Shemesh, A. (2009). The reef builder gastropod *Dendropoma petreum*. A proxy of short and long term climatic events in the Eastern Mediterranean, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 6697-6703.
- Smith C.R., De Leo F.C., Bernardino A.F., Sweetman A.K., Martinez Arbizu P. (2008). Abyssal food limitation, ecosystem structure and climate change, *Trends in Ecology and Evolution*, 23, 518-528.
- Smith, Jr. K.L., Ruhl, H.A., Bett, B.J., Billett, D.S.M., Lampitt, R.S., Kaufmann, R.S. (2009). Climate, carbon cycling, and deep-ocean ecosystems. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 106(46), 19211-19218.
- Smith, K.L. jr., Kaufmann, R.S. (1999). Long-term discrepancy between food supply and demand in the deep eastern north Pacific, *Science*, 284(5417), 1174-1177.
- Sokolova, I.M., Frederich, M., Bagwe, R., Lannig, G., Sukhotin, A.A. (2012). Energy homeostasis as an integrative tool for assessing limits of environmental stress tolerance in aquatic invertebrates, *Marine Environmental Research*, 79, 1-15.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Somero, G.N. (2010). The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine "winners" and "losers.", *Journal of Experimental Biology*, 213, 912-920. doi: 10.1242/jeb.037473.
- Stachowitsch, M. (1991). Anoxia in the northern Adriatic sea: rapid death, slow recovery. In: *Modern and ancient continental shelf anoxia*, Tyson RV & Pearson TH eds, *Geol Soc Spec publ* 58: 119-129.
- Stachowitsch, M., Avcin, A. (1988). Eutrophication-induced modifications of benthic communities. In: *Eutrophication of the Mediterranean Sea: receiving capacity and monitoring of long-term effects*. Unesco technical reports in marine science, 49: 67-80.
- Stachowicz, J.J., Terwin, J.R., Whitlatch, R.B., Osman, R.W. (2002). Linking climate change and biological invasions: ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. In: *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 99, 15497-15500.

- Stearns, S.C. (1992). *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press. 262 pp.
- Steneck, R.S., Graham, M.H., Bourque, B.J., Corbett, D., Erlandson, J.M., Estes, J.A., Tegner, M.J. (2002). Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future, *Environmental Conservation*, 29, 436-459.
- Stillman, J.H. (2003). Acclimation capacity underlies susceptibility to climate change, *Science*, 301, 65. doi: 10.1126/science.1083073.
- Stramma, L., Johnson, G.C., Sprintall, J., Mohrholz, V. (2008). Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans, *Science*, 320, 655-658.
- Strathmann, R.R., Strathmann, M.F. (1982). The Relationship Between Adult Size and Brooding in Marine Invertebrates, *American Naturalist*, 119, 91-101. doi:10.1086/283892.
- Stroeve, J., Holland, M.M., Meier, W., Scambos, T. and Serreze, M. (2007). Arctic sea ice decline: Faster than forecast, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09501, doi:10.1029/2007GL029703.
- Suttle, C.A. (2005). Viruses in the sea, *Nature*, 437, 356-361.
- Suttle, C.A. (2007). Marine viruses – major players in the global ecosystem, *Nature Reviews Microbiology*, 5, 801-812.
- Tagliapietra, D., Aloui-Bejaoui, N., Bellafiore, D., De Wit, R., Ferrarin, C., Gamito, S., Lasserre, P., ... Viaroli P. (2011). The Ecological Implications of Climate Change on the Lagoon of Venice. In: UNESCO 2nd Workshop Report. UNESCO Venice, 45 pp.
- Takahashi, T. (2004). The fate of industrial carbon dioxide, *Science*, 305, 352-353.
- Takahashi, T., Sutherland, S.C., Wanninkhof, R., and 28 other authors. (2009). Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO<sub>2</sub>, and net sea-air CO<sub>2</sub> flux over the global oceans, *Deep-Sea Research II*, 56, 554-577.
- Thibaut, T., Pinedo, S., Torras, X., Ballesteros, E. (2005). Long-term decline of the populations of *Fucales* (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Albères coast (France, North-western Mediterranean), *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1472-1489.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., Ferreira de Siqueira, M., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Peterson, A.T., Phillips, O.L., Williams, S.E. (2004). Extinction risk from climate change, *Nature*, 427, 145-148.
- Tittensor, D.P., Mora, C., Jetz W., Lotze, H.K., Ricard, D., Vanden, B.E., Worm, B. (2010). Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa, *Nature*, 466, 1098-1101. doi:10.1038/nature09329.
- Touratier, F., Goyet, C. (2009). Decadal evolution of anthropogenic CO<sub>2</sub> in the northwestern Mediterranean Sea from the mid-1990s to the mid-2000s, *Deep Sea Research Part I*, 56, 1708-1716. doi:10.1016/j.dsr.2009.05.015.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., O'Dell, C. and Wong, T. (2010). Relationships between tropical sea surface temperature and top-of-atmosphere radiation, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L03702
- Tunin-Ley, A., Ibañez, F., Labat, J-P., Zingone, A., Lemée, R. (2009). Phytoplankton biodiversity and NW Mediterranean Sea warming: changes in the dinoflagellate genus *Ceratium* in the 20th century. *Marine Ecology Progress Series* 375, 85-99.
- Turley, C.M., Roberts, J.M., Guinotte, J.M. (2007). Corals in deep-water: will the unseen hand of ocean acidification destroy cold-water ecosystems?, *Coral Reefs*, 26, 445-448.
- UN (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations Audiovisual Library of International Law, 20 pp.

- van Hannen, E.J., Zwart, G., van Agterveld, M.P., Gons, H.J., Ebert, J., Laanbroek, H.J. (1999). Changes in bacterial and eukaryotic community structure after mass lysis of filamentous cyanobacteria associated with viruses, *Applied and Environmental Microbiology*, 65(2), 795-801.
- Vacelet, J. (1994). The struggle against the epidemic which is decimating Mediterranean sponges. In: FAO, rapport technique, 39 p.
- Vaquer-Sunyer, R., Duarte, C.M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 105, 15452-15457.
- Vezzulli, L., Previati, M., Pruzzo, C., Marchese, A., Bourne, D.G., Cerrano, C., the VibrioSea consortium (2010). Vibrio infections triggering mass mortality events in a warming Mediterranean Sea, *Environmental Microbiology*, 12, 2007-2019. doi: 10.1111/j.1462-2920.2010.02209.x.
- Walther, G.-R., Burga, C.A., Edwards, P.J. (eds.). (2001). "Fingerprints" of climate change: adapted behaviour and shifting species ranges (Kluwer Academic/Plenum, New York, 2001).
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee T.J.C., Fromentin J-M., Hoegh-Guldberg I.O., Bairlein F. (2002). Ecological responses to recent climate change, *Nature*, 416, 389-395.
- Walther, G.-R., Roques, A., Hulme, P.E., Sykes, M.T., Pysek, P., Kuhn, I., Zobel, M., Bacher, S., ...Settele J. (2009). Alien species in a warmer world: risks and opportunities, *Trends in Ecology and Evolution*, 24(12), 686-693.
- Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J.B., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.F., ..., Williams S.L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 106(30), 12377-12381.
- Wazniak, C.E., Hall, M.R., Carruthers, T.J.B., Sturgis, B., Dennison, W.C., Orth, R.J. (2007). Linking water quality to living resources in a mid-Atlantic lagoon system, USA, *Ecological Applications*, 17, 64-78.
- Wernberg T., Thomsen M.S., Tuya F., Kendrick G.A., Staehr P.A., Toohey B.D. (2010). Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: potential implications for a warmer future, *Ecology Letters*, 13, 685-694.
- Whitney, F.A., Freeland, H.J., Robert, M. (2007). Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific, *Progress in Oceanography*, 75, 179-199.
- Wilhelm, S.W., Suttle, C.A. (1999). Viruses and Nutrient Cycles in the Sea Viruses play critical roles in the structure and function of aquatic food webs, *BioScience* 49(10), <http://www.jstor.org/stable/10.1525/bisi.1999.49.10.781>.
- Wolff, G.J., Beaumont, A. (2011). Shellfish Sequestration: The Augmented Cultivation of Molluscs, and the Preservation of their Shells, as a Means of Sequestering Carbon Dioxide. <http://www.mng.org.uk/gh/private/ssr7a.pdf>.
- Wood, H.L., Spicer, J.I. and Widdicombe, S. (2008). Ocean acidification may increase calcification rates, but at a cost. *Proceedings Royal Society B*, 275(1644), 1767-1773
- Wommack, K.E., Colwell, R.R. (2000). Virioplankton: Viruses in Aquatic Ecosystems. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64(64), 69-114.
- Worm, B., Lotze, H.K. (2009). Changes in Marine Biodiversity as an Indicator of Climate Change. In: *Climate and Global Change: Observed Impacts on Planet Earth*, (ed. Leccher, T.), 263-279.Elsevier.
- Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J., Watson, R. (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services, *Science*, 314, 787-790.

Zecca, A., Chiari, L. (2012). Lower bounds to future sea-level rise, *Global and Planetary Change*, 98-99, 1-5.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.08.002>.

# Ecosistemi di acque interne e di transizione

## Sintesi

La valutazione dello stato di conservazione di biodiversità, funzioni e servizi degli ecosistemi di acque interne e la stima della loro vulnerabilità ai cambiamenti climatici sono affrontate considerando tipologie omogenee di ecosistemi acquatici, alla scala integrata del bacino idrografico e della zona di transizione adiacente. Gli ecosistemi acquatici sono ripartiti, secondo uno schema tradizionale, in: bacini fluviali, laghi, zone umide e acque lentiche<sup>85</sup> di piccole dimensioni, ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee (Groundwater Dependent Ecosystems - GDE) e ambienti di transizione a mare. I bacini fluviali e i laghi sono inoltre analizzati nel contesto della regione geografica cui appartengono, assumendo che vi siano associate diverse pressioni e minacce derivanti dai cambiamenti climatici.

I cambiamenti climatici hanno effetti diretti sulla fenologia e sulla distribuzione delle specie che si manifestano in seguito a modificazioni della durata delle fasi di crescita, anticipazione o ritardo nelle migrazioni, sfasamento dei cicli vitali di predatore e preda, e migrazione verso nord e verso monte delle specie sensibili all'aumento di temperatura. Negli ecosistemi acquatici queste perturbazioni sono causate non solo dall'aumento della temperatura, ma anche dalle variazioni del regime idrologico e delle proprietà fisiche delle masse d'acqua. Tra gli ecosistemi a maggiore vulnerabilità si annoverano le acque lentiche di piccole dimensioni, i GDE e i laghi d'alta quota, e i corsi d'acqua appenninici e delle isole maggiori, sui quali già insistono pressioni importanti per l'elevato tasso di sfruttamento del territorio e delle risorse idriche.

La vulnerabilità dei grandi corsi d'acqua dipende dall'interazione tra le pressioni locali (uso del suolo, urbanizzazione, alterazioni idro-morfologiche), le variazioni del regime idrologico e la gestione delle risorse idriche. Attualmente si segnalano problemi legati al dissesto idro-morfologico dei corsi d'acqua, al deflusso residuo a valle delle derivazioni idriche, alle variazioni improvvise e intense delle portate dovute all'esercizio delle centrali idroelettriche (hydropeaking), all'inquinamento delle acque, alla perdita di specie indigene e alla crescente diffusione di specie aliene. Queste situazioni potrebbero essere amplificate dalle variazioni del regime idrologico indotte dai cambiamenti climatici.

I grandi laghi subalpini profondi sono regolati e costituiscono la più importante riserva di acqua dolce in Italia. Negli ultimi decenni si sono osservate condizioni critiche per il bilancio termico e la conseguente stratificazione della colonna d'acqua: l'aumento della temperatura atmosferica ha già causato una notevole riduzione della frequenza del rimescolamento delle intere masse d'acqua (oligomissi) e potrebbe portare a un rimescolamento limitato ai soli strati superficiali (meromissi).

---

<sup>85</sup> Ambienti di acque ferme, con corrente nulla o molto debole.

Le condizioni di meromissi sono in genere accompagnate dall'esaurimento dell'ossigeno disciolto nelle acque di fondo e da notevoli alterazioni della composizione delle comunità lacustri. Nel lungo termine, la diminuzione degli apporti nivali e glaciali e l'aumento dei prelievi potrebbero determinare oscillazioni del livello idrico con gravi impatti anche sulle zone litoranee di basso fondale.

Condizioni di particolare vulnerabilità sono previste per i laghi dell'Italia centrale, in particolare per quelli poco profondi come il Lago Trasimeno, nei quali si stanno verificando l'interramento delle zone litoranee, l'aumento delle concentrazioni dei soluti e il riscaldamento delle acque. Nei laghi artificiali dell'Italia meridionale e delle isole, la diminuzione delle precipitazioni e l'aumento della temperatura, combinate con un maggiore consumo idrico, potrebbero accentuare le variazioni di livello, favorendo così il peggioramento della qualità delle acque e l'affermazione di specie invasive e di cianobatteri tossici.

Le acque di transizione (foci fluviali e lagune costiere) sono esposte alle variazioni del regime idrologico dei bacini di monte, all'innalzamento del livello marino e all'aumento della temperatura. Trattandosi di sistemi a bassa profondità, sono attesi effetti particolarmente marcati nelle comunità bentoniche, con comparsa di fioriture di macroalghe, microalghe tossiche e cianobatteri e scomparsa delle specie animali maggiormente sensibili. Le opere di difesa idraulica a protezione dei centri abitati e delle zone agricole subsidenti potrebbero fare aumentare il confinamento delle aree lagunari interne, con rischi crescenti di stagnazione e anossia delle acque, condizioni che comportano la perdita di specie sensibili al tenore di ossigeno e alla temperatura. Complessivamente, si ritiene che le tendenze evolutive degli ecosistemi lagunari possano essere sfavorevoli per le specie native a vantaggio di quelle esotiche, con possibili impatti anche sulle attività di pesca e acquacoltura. Nelle foci fluviali, nei periodi di secca si potrà verificare la risalita del cuneo salino, un fenomeno che si è già manifestato in modo significativo in anni particolarmente siccitosi, ad esempio dal 2003 al 2007.

Nella maggior parte degli ambienti acquatici considerati, al crescere della temperatura e della durata della stagnazione delle masse idriche potranno aumentare il metabolismo microbico e l'eterotrofia, con possibili retroazioni sulle emissioni di gas clima-alteranti (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>).

## **Introduzione**

I temi trattati in questo capitolo sono già in parte presenti negli studi prodotti dal *tavolo tecnico su cambiamenti climatici e biodiversità: studio della mitigazione e proposte per l'adattamento*, attivato in preparazione della Strategia nazionale per la biodiversità (Attorre et al., 2009).

In questo contributo la vulnerabilità degli ecosistemi acquatici ai cambiamenti climatici è analizzata in relazione ai meccanismi di organizzazione e mantenimento della biodiversità e dei processi ecosistemici. Dai processi degli ecosistemi derivano funzioni che forniscono una serie di

benefici o servizi per il genere umano (Daily et al., 2009). Tali servizi sono in larga misura dipendenti dalle componenti biologiche degli ecosistemi<sup>86</sup>. Negli ecosistemi acquatici i processi biogeochimici (ad es. denitrificazione batterica e assimilazione da parte della vegetazione acquatica), garantiscono l'abbattimento dei nutrienti, una funzione ecosistemica che produce il servizio di depurazione dell'acqua. Altri servizi sono la laminazione delle piene, la ricarica degli acquiferi, la regolazione del microclima locale, la produzione di risorse alimentari quali pesci, crostacei, ecc. (Jones, 2013). Le alterazioni degli ecosistemi, in particolare la perdita di specie e la diminuzione della biodiversità danneggiano questi servizi, con ricadute anche di tipo economico (si pensi, ad esempio, ai costi della depurazione dell'acqua destinata al consumo umano).

Gli impatti dei cambiamenti climatici possono presentarsi a livello di ecosistema, habitat e specie. Si osservano anzitutto effetti diretti sulla fenologia<sup>87</sup> e sulla distribuzione delle specie, sia vegetali sia animali (Parmesan, 2006). Nel caso dei vegetali, l'aumento della temperatura tende a favorire le specie tolleranti, che possono presentare un incremento della durata delle fasi di crescita vegetativa e della produttività, e a sfavorire le specie stenoterme<sup>88</sup>. Il riscaldamento influisce sui tempi di riproduzione causando mutamenti di comportamento degli animali migratori: in genere si osserva la migrazione verso Nord e verso monte delle specie maggiormente sensibili. Può anche avvenire uno sfasamento dei cicli vitali di predatore e preda, parassita e ospite, con una propagazione degli effetti nell'intera rete alimentare. Negli ecosistemi di acque correnti le perturbazioni sono dovute non solo all'aumento della temperatura, ma anche alle variazioni del regime idrologico o delle proprietà fisiche delle masse d'acqua (Jones, 2013). Nei corsi d'acqua non perturbati, le variazioni regolari del regime idrologico, caratterizzate dalla successione di fasi di secca, morbida e piena, modellano gli alvei e gli habitat, selezionano le specie che hanno cicli vitali adattati alla frequenza degli eventi estremi, determinano le condizioni termiche e la qualità della massa d'acqua, diluendo e allontanando gli eventuali inquinanti. Le piene fluviali svolgono un ruolo essenziale nel mantenimento della connettività laterale e longitudinale che consente, ad esempio, il passaggio della fauna ittica verso le zone di riproduzione e alimentazione, la dispersione di semi, uova e larve. Altrettanto importanti sono le secche che selezionano microhabitat sfavorevoli per le specie alloctone, non adattate alle variazioni del regime idrologico locale.

I cambiamenti climatici producono impatti diretti sul regime termico, sull'idrodinamismo e sulle caratteristiche chimiche delle acque lacustri, che spesso si sommano agli effetti dell'uso della risorsa idrica e dell'inquinamento (Bates et al., 2008). Nei laghi profondi subalpini, i processi fisici e gli adattamenti biologici sono regolati soprattutto dalle condizioni termiche e dalla regolarità con cui si alternano fasi di stratificazione e di rimescolamento convettivo della massa d'acqua. Tali processi controllano l'ossigenazione delle acque e i cicli dei nutrienti. Ciclo vitale, tempi di sviluppo, velocità di crescita ed efficienza di utilizzo del cibo degli organismi zooplanctonici

---

86 Ulteriori informazioni: Millennium Ecosystem Assessment, <http://www.maweb.org>.

87 Studio dei fenomeni biologici che si manifestano con ricorrenza periodica, ad esempio su base stagionale o annuale.

88 Specie che tollerano solo piccole variazioni di temperatura.

dipendono pertanto dai cambiamenti di temperatura (Schindler, 2001). Altrettanto importanti sono le variazioni del livello idrico che determinano lo sviluppo e l'estensione della fascia litoranea poco profonda. Qui, le risposte dei macroinvertebrati all'aumento della temperatura sono gruppo- o addirittura specie-specifiche e spesso le variazioni sono correlate a modificazioni di pH, nutrienti e carbonio organico, a loro volta influenzate dai cambiamenti climatici (Burgmer et al., 2007). La risposta della fauna ittica al riscaldamento globale può manifestarsi con lo spostamento verso aree a temperatura e condizioni ambientali ottimali sia nello stesso corpo idrico che a più ampia scala spaziale (Mehner et al., 2011), oppure con risposte fisiologiche ed ecologiche, quali i tassi di crescita e le modalità riproduttive (Lappalainen et al., 2007). In generale, con il riscaldamento ci si deve aspettare un aumento della ricchezza in specie, soprattutto di quelle euriterme<sup>89</sup>, e una diminuzione di biomassa, densità e taglia corporea media. Nei laghi poco profondi la siccità persistente può determinare forti riduzioni di livello, aumento della concentrazione di sali e nutrienti, incremento di torbidità, rischio di imponenti fioriture algali, deossigenazione delle acque e stress per la fauna acquatica, con effetti particolarmente severi sulla flora e sulla fauna dell'ampia fascia litorale (Jones, 2013; Ludovisi et al., 2013).

Nelle acque di transizione tra terra e mare, temperatura e salinità hanno effetti sinergici sulla distribuzione degli organismi poiché regolano reclutamento, deposizione e schiusa delle uova, dispersione degli stadi larvali e mortalità. Tali fattori possono indurre profonde modificazioni della fenologia delle diverse specie. In particolare, risposte diverse e non sincronizzate di specie che hanno interazioni strette possono creare squilibri tra domanda e disponibilità di cibo e tra preda e predatore (Edwards & Richardson, 2004).

Tra gli ambienti sottoposti a pressione antropica, la maggiore ricchezza in specie si trova nelle fasce marginali di laghi e fiumi, nelle zone di transizione verso il mare e, soprattutto, in quella miriade di ambienti acquatici lentic<sup>90</sup>, spesso di piccole dimensioni o effimeri, che dipendono in larga misura da fattori idrologici e meteo-climatici locali. Per questi ambienti è noto l'eventuale valore d'uso (ad es. acquacoltura nelle lagune costiere), mentre la rilevanza ecologica non è ancora del tutto riconosciuta.

Per quanto le variabili idrologiche siano influenzate dai fattori climatici, le relazioni di causa-effetto tra cambiamenti climatici e sistemi biologici sono spesso mascherate da perturbazioni locali di forte intensità o dal fatto che la risposta delle componenti biologiche non è lineare e può presentare lunghe fasi di latenza (Parmesan et al., 2011). La valutazione della vulnerabilità ai cambiamenti climatici degli ecosistemi di acque interne non può dunque prescindere dalla considerazione dei concomitanti fattori locali di disturbo: regimazione dei corsi d'acqua, riduzione dei deflussi in alveo, elevato tasso di urbanizzazione e di artificializzazione del territorio, crescente incidenza di pratiche intensive di agricoltura e zootecnia e occupazione della costa; in particolare,

---

<sup>89</sup> Specie che tollerano ampie variazioni di temperatura.

<sup>90</sup> Di acque ferme o stagnanti.

si dovranno valutare non solo i possibili effetti additivi, ma anche l'amplificazione spesso esponenziale degli impatti e la loro propagazione a cascata nel reticolo idrografico (Viaroli, 2013).

La valutazione dello stato di conservazione e la stima della vulnerabilità ai cambiamenti climatici degli ecosistemi di acque interne sono affrontate adottando uno schema di ambienti acquatici disposti in cascata, avendo come riferimento unificante la scala operativa del bacino idrografico e dell'adiacente zona di transizione marina. Gli ecosistemi acquatici sono ripartiti in bacini fluviali, laghi, acque lentiche di piccole dimensioni, ambienti di transizione a mare. I bacini fluviali e i laghi sono inoltre analizzati considerando la regione geografica cui appartengono, assumendo che a questa corrispondano diverse pressioni e minacce derivanti dai cambiamenti climatici.

## **Stato di conservazione, vulnerabilità ed effetti attesi dei cambiamenti climatici per gli ecosistemi di acque interne**

### *Fiumi e corsi d'acqua*

I fiumi e i corsi d'acqua italiani sono per la maggior parte soggetti a considerevoli azioni di disturbo antropico. Le pressioni si concentrano soprattutto nelle aree di pianura o fondovalle, dove si trovano i suoli più fertili e di maggiore pregio agricolo e le più abbondanti riserve idriche connesse al reticolo idrografico principale. Lo sfruttamento delle risorse idriche comporta interventi, spesso invasivi, su morfologia e idrologia dei fiumi (bacinizzazione, canalizzazione) e sui laghi naturali (regolazione dell'incile, diversione degli immissari, ecc.). L'uso dei suoli ha effetti rilevanti sull'idrologia: ne è un esempio l'impermeabilizzazione dovuta all'espansione delle aree urbane e delle infrastrutture (Gardi et al., 2013). L'agricoltura sta subendo profonde modificazioni, con un crescente aumento delle monoculture estensive e idro-esigenti, soprattutto di quelle destinate alla trasformazione industriale e alla produzione di biogas. In questo contesto, l'uso intensivo del suolo e la forte densità degli allevamenti sono tra i principali responsabili della diffusa contaminazione delle acque, in modo speciale da nitrati (Bartoli et al., 2012).

Nei tratti montani, la costruzione di impianti idroelettrici ha profondamente alterato la funzionalità del reticolo idrografico. Nell'arco alpino si contano circa 600 dighe; numerosi impianti ad uso misto sono presenti anche lungo la dorsale appenninica e nella Sila. La gestione degli sbarramenti ha effetti sia sugli invasi che nei tratti fluviali sottesi, dove l'hydropeaking<sup>91</sup> può causare un forte disturbo delle comunità bentoniche e ittiche (Bruno et al., 2009).

L'escavazione di materiali inerti è una delle cause principali delle modifiche verificatesi negli alvei fluviali nel secondo dopoguerra (Rinaldi et al., 2010). L'erosione è stata inoltre aggravata dalla costruzione di opere per la difesa idraulica e, nei fiumi principali, per la navigazione. Allo sprofondamento dei letti fluviali si è accompagnato un drastico restringimento degli alvei: la larghezza di diversi corsi d'acqua negli ultimi decenni si è ridotta di oltre il 50%. Traverse e

---

<sup>91</sup> Variazioni improvvise e intense della portate fluviale causate dall'esercizio delle centrali idroelettriche.

sbarramenti interrompono non solo la connettività longitudinale, ma anche quella laterale con le golene fluviali, nelle quali si trovano argini secondari, opere di bonifica e di viabilità e attività agricole. Le profonde modificazioni che si osservano nei corpi idrici planiziali sono in parte dovute anche alle trasformazioni dei corsi d'acqua montani e del sistema dei canali della pianura. Non più di cinquant'anni fa, la maggior parte di questi corpi idrici era integrata nel paesaggio rurale e protetta da un'ampia fascia laterale selvatica che è stata progressivamente assottigliata, al punto che oggi rimane un sistema di canalizzazioni spoglie, rettificata e spesso cementificate.

I prelievi idrici sono particolarmente elevati nei grandi bacini alluvionali. Ad esempio, nel bacino del Po ammontano a circa 22 miliardi di metri cubi l'anno (poco meno del 50% della portata media annua) e sono per lo più concentrati nel periodo estivo, quando è massimo il fabbisogno irriguo ed è minima la disponibilità nei corsi d'acqua e nei laghi (Montanari, 2012). I problemi che ne conseguono riguardano la compatibilità degli usi con lo stato ecologico, la protezione e la conservazione degli ambienti acquatici.

Nei tratti planiziali dei corsi d'acqua permanenti, gli elevati carichi di sostanza organica, azoto e fosforo causano fenomeni di eutrofizzazione delle acque (Dodds, 2006; Rossetti et al., 2009). In tali condizioni, soprattutto nei periodi di magra e nei tratti bacinizati a bassa velocità di corrente, avviene la crescita di macrofite<sup>92</sup> e macroalghe galleggianti che tendono a invadere l'alveo fluviale (Caraco et al., 2005). La copertura vegetale impedisce la penetrazione della luce e, di conseguenza, lo svolgimento della fotosintesi e la produzione di ossigeno nella massa d'acqua sottostante. In parallelo, si osserva un aumento del metabolismo eterotrofo e dell'emissione di gas clima-alteranti, quali CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, per effetto del metabolismo batterico anaerobico (Pierobon et al., 2010; Ribaudou et al., 2011).

Nei tratti fluviali terminali, anche dei bacini principali, negli anni particolarmente siccitosi (ad es. 2003 e 2007) si è osservato una rilevante risalita del cuneo salino, con effetti rilevanti sia sulle attività antropiche sia sugli ecosistemi acquatici naturali (Alessandrini et al., 2008).

### *Torrenti e fiumi alpini in relazione all'arretramento dei ghiacciai*

I torrenti che defluiscono dai grandi ghiacciai alpini sono habitat estremi a causa dell'elevata torbidità dovuta al detrito glaciale fine in sospensione e delle basse temperature: le comunità di invertebrati sono costituite da poche specie altamente specializzate che in alcuni casi includono anche endemiti (Jacobsen et al., 2012). Il progressivo arretramento dei ghiacciai può pertanto comportare una diminuzione di questo tipo di torrenti e della fauna a essi associata (Jacobsen et al., 2012). Un numero relativamente piccolo di specie di alghe e cianobatteri bentonici colonizza i torrenti glaciali torbidi. Questi gruppi di organismi non sembrano a rischio di estinzione locale, poiché essi colonizzano anche corsi d'acqua alpini di diversa origine, che, al contrario dei torrenti glaciali torbidi, presentano microflore con elevata diversità (Cantonati et al., 2001). A causa del

---

<sup>92</sup> Piante visibili a occhio nudo che crescono negli ambienti acquatici completamente sommerse o parzialmente emersa. Comprendono tra le altre: piante superiori, felci ed equiseti, muschi.

riscaldamento globale e del conseguente arretramento di ghiacciai e nevai, i corsi d'acqua alpini subiranno una maggiore dipendenza dalle deposizioni umide e una importante alterazione dell'attuale regime idrologico di tipo nivo-glaciale.

### *Ecosistemi fluviali nel bacino Padano-Veneto*

Il regime idrologico del fiume Po presenta una grande variabilità inter-annuale per la quale non è possibile distinguere il contributo delle opere di regimazione idraulica da quello dei cambiamenti climatici, perciò non si possono identificare tendenze significative nel lungo periodo (Zanchettin et al., 2008). Rilevante è però l'aumento degli eventi estremi registrati negli ultimi vent'anni, nei quali si sono verificate due piene con portate superiori ai 10.000 metri cubi al secondo e secche ripetute con portate inferiori ai 250 metri cubi al secondo (Naldi et al., 2010). La crescente variabilità del regime idrologico si manifesta soprattutto sul versante appenninico della pianura Padana, dove il susseguirsi di eventi estremi (secche prolungate e piene lampo) tende a destrutturare la connettività spaziale e temporale e le comunità vegetali e animali legate all'ambiente acquatico (Jones, 2013; Bonada & Resch, 2013). La diminuzione delle specie della flora autoctona è stimata tra il 25% e il 50%; in parallelo sono cresciute le specie alloctone, in gran parte invasive, che sono causa di un marcato degrado soprattutto delle aree periodicamente sommerse delle fasce laterali (Bolpagni et al., 2013; 2014). Sono inoltre segnalate 83 specie animali aliene, che corrispondono a più del 75% della fauna alloctona censita nelle acque interne italiane: di queste, 38 sono specie ittiche, 26 delle quali sono state immesse dopo il 1950 (Gherardi et al., 2008; 2010).

Nell'ultimo secolo la portata del fiume Adige è diminuita di circa il 30% a causa della riduzione delle precipitazioni e della diminuzione del rilascio estivo derivante dall'arretramento dei ghiacciai e dell'aumento della temperatura atmosferica (Salmaso et al., 2010). Negli anni secchi (ad es. nelle estati del 2003, 2007 e 2012), la portata diminuisce ulteriormente nei tratti planiziali a causa dei prelievi irrigui (Rossi & Veltri, 2007), favorendo un maggiore sviluppo del fitoplancton e un generale deterioramento della qualità delle acque (Salmaso et al., 2010).

In queste condizioni è difficile distinguere il disturbo dovuto ai cambiamenti globali da quello dei fattori locali. Si osserva però una perdita generalizzata e progressiva di habitat e di specie che evidenzia come questi ecosistemi siano particolarmente vulnerabili a ulteriori aumenti della temperatura e, soprattutto, alla variabilità estrema del regime idrologico (per maggiori dettagli si vedano Marchetti, 1993 e Viaroli et al., 2010a).

### *Torrenti appenninici*

La maggior parte dei corsi d'acqua appenninici appartiene alla regione mediterranea e presenta un'elevata vulnerabilità ai cambiamenti climatici a causa delle piccole dimensioni e della forte dipendenza dalle precipitazioni: le piene, prevalentemente autunnali, sono alternate a periodi anche prolungati di magra o secca; in particolare, il regime torrentizio sta evolvendo verso condizioni di marcata intermittenza (Bonada & Resh, 2013). La grande variabilità dei processi idrologici è dovuta all'interazione tra clima e natura geologica dei bacini, caratterizzati principalmente da suoli a bassa permeabilità nei quali la trasformazione delle precipitazioni in

deflusso è piuttosto rapida (Cambi et al., 2003). Costituiscono eccezione i bacini imbriferi di Aterno-Pescara, Sele, Volturno, Liri-Garigliano, Velino, Nera e Clitunno, in cui substrati carbonatici a maggiore permeabilità garantiscono un'alimentazione sorgiva più regolare e costante.

Nella maggior parte dei casi, l'idrologia superficiale è già fortemente compromessa dallo sfruttamento della risorsa idrica e dall'inquinamento, perciò un ulteriore sfruttamento delle acque, accompagnato dalla diminuzione degli apporti, potrà causare un aumento dell'incidenza degli eventi idrologici estremi (Tierno de Figueroa et al., 2013). Variabilità estrema e irregolarità dei processi idrologici hanno una profonda incidenza sul completamento dei cicli vitali delle specie acquatiche, mentre in condizioni di basso deflusso si ha un peggioramento della qualità delle acque dovuto all'aumento della temperatura, alla diminuzione della concentrazione dell'ossigeno e alla minore diluizione dei carichi inquinanti (Poff e Zimmerman, 2010). I corsi d'acqua appenninici sono ricchi di endemiti, molti dei quali presentano areali di distribuzione particolarmente ristretti. Tra questi, il numero di specie ittiche e di anfibi a rischio di estinzione è particolarmente elevato (Tierno de Figueroa et al., 2013). Le comunità ittiche dei torrenti appenninici sono generalmente composte da specie adattate alla grande variabilità delle condizioni ambientali: si può dunque ritenere che, entro una certa misura, siano in grado di far fronte ai cambiamenti climatici (Lorenzoni et al., 2011; Pompei et al., 2011). La persistenza delle popolazioni può inoltre essere garantita, anche in presenza di estinzioni locali, dalla possibilità di migrare e di colonizzare tratti limitrofi (Lorenzoni et al., 2006). La sopravvivenza delle popolazioni locali dipenderà però dalla tolleranza delle singole specie e dal grado di cambiamento. La vulnerabilità sarà infine amplificata da alterazioni locali del corso d'acqua, dovute ad esempio a manufatti che, interrompendo la continuità fluviale, possono impedire le migrazioni.

## *Laghi*

### *Laghi alpini profondi*

Nei laghi profondi a sud delle Alpi la vulnerabilità dell'ecosistema dipende soprattutto dagli apporti di nutrienti algali e dalle variazioni dei fattori fisici (Mosello et al., 2010; Salmaso & Mosello, 2010). A scala globale, negli ultimi 50 anni, le acque lacustri hanno presentato incrementi di temperatura compresi tra 0,10 e 0,45 °C per decennio (Dokulil et al., 2006). Contemporaneamente, nei laghi profondi a sud delle Alpi, nel periodo di massima circolazione, sono stati rilevati aumenti tra 0,11 e 0,21 °C per decennio (Salmaso & Mosello, 2010). È stata osservata anche una progressiva crescita della stabilità della massa d'acqua che ha indotto una marcata diminuzione della frequenza e delle profondità del rimescolamento convettivo invernale, causando l'isolamento e la stagnazione delle acque profonde (Ambrosetti & Barbanti, 2002). Nei laghi più eutrofizzati (Lugano, Iseo e Idro) le masse d'acqua ipolimniche<sup>93</sup> vanno incontro ad

---

<sup>93</sup> Relative all'ipolimnio, la zona profonda di un lago, individuabile quando è presente stratificazione termica lungo la colonna d'acqua. L'ipolimnio è caratterizzato da acque più fredde e dense rispetto a quelle situate a profondità minori.

anossia e si arricchiscono di ioni e nutrienti per effetto dei processi di mineralizzazione della sostanza organica sedimentaria e della dissoluzione di  $\text{CaCO}_3$  che fanno aumentare la densità e la stabilità della stratificazione. La persistenza della stratificazione e la circolazione delle acque nei laghi profondi subalpini dipendono dalle condizioni climatiche invernali e dalle caratteristiche della circolazione atmosferica (Salmaso, 2012; Salmaso et al., 2012). Considerando gli scenari di riscaldamento globale si può pertanto ritenere probabile un aumento dei casi di meromissi. La mancanza del rimescolamento convettivo potrebbe limitare l'apporto di nutrienti alle acque superficiali e quindi ridurre la produttività primaria (Morabito et al., 2012; Salmaso, 2012). A livello di bacino imbrifero, temperature più elevate possono però favorire il rilascio di azoto e fosforo dai suoli a causa della maggiore mineralizzazione della sostanza organica, aumentando così l'afflusso di nutrienti ai laghi. In aggiunta, la diminuzione delle concentrazioni di ossigeno ipolimnico può far aumentare il rilascio di fosforo dai sedimenti e diminuire la capacità di denitrificazione delle acque, che si arricchiscono così di nutrienti inorganici solubili (Nizzoli et al., 2010). Una quota rilevante, soprattutto di fosforo, potrebbe essere rilasciata nella zona litoranea, in cui l'abbassamento estivo dei livelli idrici e le alte temperature promuovono la mineralizzazione della sostanza organica del sedimento. Quest'ultimo meccanismo potrebbe ulteriormente favorire, come ipotizzato da Bertoni et al. (2007), lo sviluppo di fioriture cianobatteriche. Le fioriture di cianobatteri possono avere conseguenze gravi per la biosintesi di tossine nelle acque destinate a uso ricreativo e potabile (Meccalf & Codd, 2012), per il trasferimento delle stesse tossine lungo le reti trofiche (Sotton et al., 2014), e per la produzione di sostanze maleodoranti (Newcombe et al., 2010). La connessione tra presenza di cianobatteri e produzione di un ampio spettro di epato- e neurotossine<sup>94</sup> è stata dimostrata in tutti i laghi sudalpini (Cerasino & Salmaso, 2012). Lo sviluppo dei cianobatteri è favorito dall'aumento delle concentrazioni di nutrienti e della temperatura dell'acqua. In uno scenario di riscaldamento globale non è escluso che si debba pertanto far ricorso a un ulteriore restringimento degli obiettivi di qualità e contenimento dei nutrienti, in particolare fosforo. Queste considerazioni diventano ancora più importanti se si considera che nei prossimi decenni i grandi laghi sudalpini saranno destinati a diventare riserve strategiche di acqua potabile.

Su base annuale, il precoce riscaldamento della colonna d'acqua può indurre alterazioni fenologiche, solitamente attraverso un anticipo dei tempi di sviluppo dei popolamenti primaverili, che influenza le relazioni trofiche e può causare una perdita di efficienza nei trasferimenti energetici lungo la rete alimentare e il crollo della produttività dell'intero ecosistema lacustre (Manca & DeMott, 2009). L'innalzamento termico può anche causare un peggioramento dello stato trofico: per esempio, nel 2003, l'anno con l'estate più calda e lunga degli ultimi due secoli, nel Lago Maggiore si è verificato uno sviluppo dello zooplancton tipico di un lago mesotrofo<sup>95</sup>, nonostante le concentrazioni dei nutrienti fossero nei limiti dell'oligotrofia<sup>96</sup> (Visconti et al., 2008). La variazione del livello idrico espone la vegetazione a macrofite<sup>97</sup> della fascia litoranea ai danni

---

<sup>94</sup>Tossine che possono determinare, rispettivamente, danni al fegato e al sistema nervoso.

<sup>95</sup> Livello intermedio tra oligotrofia e eutrofia.

<sup>96</sup> Condizione di bassa disponibilità di nutrienti e limitata produzione primaria nelle acque lacustri.

<sup>97</sup> Termine generico che comprende tutte le forme "macroscopiche" della vegetazione acquatica.

derivanti dal disseccamento e dalla radiazione ultra-violetta. Nei laghi con stato trofico elevato, la vegetazione a macrofite del litorale è costituita in genere da una fascia più superficiale che può essere dominata da elodeidi<sup>98</sup> e da una più profonda che presenta la tipica vegetazione a caridi<sup>99</sup>. Nella prima le specie alloctone, che sono meglio adattate a variazioni dei livelli e dei fattori climatici, sono generalmente dominanti, mentre sono sfavorite quelle native. La diminuzione della profondità può inoltre stimolare la crescita di pleustofite<sup>100</sup> che tendono a coprire gli specchi d'acqua causando ipossia e anossia negli strati sottostanti e, a cascata, la perdita delle specie più sensibili della fauna bentonica. La successione delle diverse specie che colonizzano la zona costiera sembra inoltre favorire i gruppi di organismi che hanno meccanismi di adattamento (ad es. rilascio radicale di ossigeno) alle condizioni anossiche e riducenti<sup>101</sup> dei sedimenti (Ribaud et al., 2011). È documentata anche l'affermazione di nuove specie alloctone: ad es. l'alga rossa filamentosa *Bangia atropurpurea* è d'introduzione relativamente recente nel Lago di Garda (Spitale et al., 2012).

Distribuzione, ricchezza e composizione in specie delle comunità macrobentoniche sono influenzate dalle variazioni del livello idrico. Cambiamenti nella struttura della vegetazione hanno effetti soprattutto sulle comunità animali delle fasce costiere, con scomparsa di specie o di interi gruppi. I molluschi d'acqua dolce, che rappresentano una componente importante del comparto bentonico litorale, sono tra i gruppi più a rischio di estinzione a livello globale (Lydeard et al., 2004); includono tuttavia alcune tra le specie invasive di maggiore impatto sugli ecosistemi acquatici. La diminuzione di circa il 90% della densità dei bivalvi nativi nel Lago Maggiore, seguita dall'invasione di specie esotiche, è stata attribuita a periodi di prolungata siccità. La diminuzione del livello e l'eventuale disseccamento delle zone di basso fondale hanno, infatti, effetti negativi sulle popolazioni native, mentre danneggiano in misura minore quelle alloctone, generalmente avvantaggiate da una strategia opportunistica (McMahon, 2002). Le specie invasive (ad es. *Corbicula fluminea*, *Dreissena polymorpha*, *Anodonta woodiana*) hanno tassi di crescita molto elevati che permettono una veloce ricolonizzazione dell'habitat dopo eventi catastrofici. In aggiunta, queste specie raggiungono densità molto elevate e formano estesi banchi che provocano un notevole consumo dell'ossigeno disciolto e sono in grado di modificare notevolmente i rapporti tra i diversi nutrienti algali (N, P, Si). I bivalvi nativi, al contrario, hanno tassi e tempi di crescita molto più bassi perciò sono sfavoriti nella fase di ricolonizzazione (Strayer et al., 1999).

La risposta della fauna ittica ai cambiamenti climatici nei grandi laghi europei si è manifestata chiaramente con una diminuzione dell'abbondanza delle specie stenoterme<sup>102</sup> di acque fredde e un incremento delle specie euriterme<sup>103</sup> (Jeppesen et al., 2010). In particolare, nel Lago Maggiore sono diminuite in modo considerevole le specie stenoterme (coregone e trota), mentre hanno

---

<sup>98</sup> Piante radicate nel sedimento appartenenti ai generi *Elodea*, *Lagarosiphon*, ecc.

<sup>99</sup> Alghe a candelabro, ad esempio del genere *Chara*.

<sup>100</sup> Piante non ancorate al substrato, liberamente fluttuanti nella colonna o sulla superficie dell'acqua.

<sup>101</sup> Quando il sedimento è privo di ossigeno i processi microbici trasformano le sostanze ossidate (es. nitrati e solfati) nelle corrispondenti specie chimiche ridotte (ammoniaca e solfuri) che possono risultare tossiche per gli organismi viventi.

<sup>102</sup> Specie che possono sopravvivere solo in un ristretto ambito di temperatura.

<sup>103</sup> Specie che si adattano facilmente a un ampio spettro di temperature.

riscontrato una crescita esplosiva quelle euriterme, come agone, rutilo e lucioperca (Volta & Jepsen, 2008). Per i laghi poco profondi e nelle aree di basso fondale, al crescere delle temperature le comunità ittiche tendono a essere dominate da specie onnivore e bentivore<sup>104</sup>, spesso alloctone, quali persico sole, carassio, carpa, acerina e rutilo. Le popolazioni sono in genere costituite da individui di dimensioni ridotte, ma con elevate densità e una precoce maturità sessuale. Ciò può determinare un impatto grave sul funzionamento degli ecosistemi, poiché questi pesci hanno tassi di escrezione molto elevati e si nutrono grufolando nel sedimento, causando la risospensione e il rilascio di nutrienti, sostanza organica disciolta e altri composti riducenti.

Un particolare fattore di stress è rappresentato dalla fusione dei ghiacciai seguita da piogge di particolare intensità. Queste ultime provocano il dilavamento superficiale, rimettendo in ciclo inquinanti persistenti che erano in precedenza accumulati nel ghiaccio e nel suolo sottostante: come conseguenza avviene il bioaccumulo di sostanze chimiche pericolose, soprattutto nei pesci predatori che sono all'apice delle reti trofiche (Bettinetti et al., 2006; Volta et al., 2009). Gli effetti di tali composti possono manifestarsi in singoli organi, causare alterazioni dei processi di sintesi degli ormoni sessuali e riduzione della fertilità, indurre l'aumento della mortalità larvale o giovanile fino a determinare la scomparsa delle specie sensibili.

### *Laghi d'alta quota*

I bacini lacustri situati oltre il limite della vegetazione arborea sono scarsamente conosciuti, nonostante ospitano un numero elevato di specie, spesso endemiti o relitti glaciali. Per la loro ubicazione remota, questi laghi si prestano come indicatori dell'inquinamento diffuso derivante dalle deposizioni atmosferiche e dai cambiamenti climatici (Battarbee et al., 2007).

L'idrochimica dei laghi d'alta quota e le sue variazioni temporali dipendono in larga misura dagli apporti atmosferici. La riduzione della copertura di ghiaccio e neve espone rocce e suoli ai processi di disgregazione e lisciviazione, causando un rilascio di ioni e soluti che vanno ad arricchire le acque lacustri (Rogora et al., 2003). La qualità chimica delle acque è spesso influenzata da pressioni locali: pascolo, turismo, immissione di specie ittiche alloctone, prelievo d'acqua per l'innervamento artificiale. Le specie presenti in questi laghi sono particolarmente sensibili anche a piccole variazioni della temperatura e della durata della copertura ghiacciata. Il riscaldamento globale può causare variazioni nella composizione in specie delle comunità, perdita di specie poco tolleranti e colonizzazione da parte di specie normalmente adattate a vivere a quote più basse. La diminuzione del periodo di copertura ghiacciata può inoltre comportare un aumento della produzione primaria. In ambienti lentici temporanei sono possibili variazioni rilevanti della durata della fase in cui è presente una lama d'acqua, con ripercussioni sulla fenologia e sulla persistenza stessa di specie presenti esclusivamente in questa tipologia di ambienti e con areali di distribuzione particolarmente ristretti (Mura & Rossetti, 2002).

---

<sup>104</sup> Animali che si nutrono di organismi che vivono a contatto con il sedimento di fondo (benthos).

Nell'arco alpino, l'arretramento dei ghiacciai determina la scomparsa dei laghi glaciali o la loro trasformazione in bacini non glaciali (Cantonati & Lazzara, 2006). Nell'Appennino settentrionale la maggior parte dei laghi naturali sta evolvendo verso l'interramento e, in anni particolarmente secchi, i bacini meno profondi vanno incontro a completo prosciugamento, con una conseguente perdita delle specie in grado di sopravvivere esclusivamente in laghi permanenti (Rossetti et al., 2010).

### *Laghi poco profondi dell'Italia centrale*

Le condizioni attuali e le tendenze evolutive possono essere esemplificate con il Lago Trasimeno, il lago di maggiore estensione dell'Italia peninsulare. Il Lago Trasimeno è regimato fin dall'epoca etrusca e presenta un'elevata vulnerabilità ai cambiamenti climatici, in quanto il bilancio idrico dipende strettamente dagli apporti atmosferici e dall'evaporazione, non essendo presenti immissari significativi. Nell'ultimo ventennio, l'aumento della temperatura dell'aria di circa 1 °C e la diminuzione della deposizione umida annuale di circa 100 mm hanno causato la progressiva riduzione del livello idrico, con conseguente accumulo di soluti e riduzione della trasparenza delle acque (Ludovisi et al., 2013). Indagini paleolimnologiche e analisi di serie storiche del pescato hanno evidenziato come la riduzione del livello idrico sia in grado di produrre impatti estremamente negativi sui popolamenti spongini e ittici del lago (Gaino et al., 2012). Una marcata contrazione delle popolazioni di anfibi nel bacino lacustre è stata inoltre messa in relazione con la riduzione delle precipitazioni.

Qualora si verificassero le proiezioni climatiche peggiori, il lago potrebbe andare incontro a disseccamento completo entro la fine del secolo corrente (Ludovisi et al., 2013). Le misure di mitigazione attualmente ipotizzate (blocco totale dei prelievi irrigui e apporto da altri bacini) non sarebbero sufficienti a scongiurare il rischio di disseccamento. È evidente che la riduzione dei livelli idrici sarebbe comunque accompagnata da un ulteriore deterioramento dell'ecosistema, a causa dell'aumento di torbidità e salinità e della deossigenazione delle acque. In queste condizioni sarebbero a rischio la maggior parte delle specie acquatiche del lago e i servizi ecosistemici correlati.

### *Laghi vulcanici dell'Italia centrale*

I laghi laziali (Bolsena, Bracciano, Vico, Nemi, Albano e Martignano) sono tra i pochi bacini vulcanici in Europa. Essi hanno un elevato valore economico sia per il turismo sia per l'approvvigionamento di acqua potabile. Sono caratterizzati da una corona circolare costiera (0-25 m) nella quale si sviluppano praterie di macrofite sommerse e da un cono vulcanico che può raggiungere i 200 m di profondità (Azzella et al., 2014). L'epilimnio è particolarmente vulnerabile per le forti variazioni termiche e del livello idrico, mentre per il momento l'ipolimnio mantiene buone condizioni di ossigenazione. Durante il periodo estivo, la riduzione di livello lascia scoperte ampie zone del fondale costiero provocando processi degenerativi di decomposizione e una perdita notevole di specie di macrofite e invertebrati. Tali fenomeni sono aggravati dal prelievo di acqua per uso potabile che accentua la diminuzione del livello idrico.

La fascia della vegetazione litorale presenta un numero elevato di specie di macrofite, in particolare di caridi, che indicano una buona qualità ecologica (Azzella et al., 2014). L'analisi comparativa dei diversi bacini e delle serie storiche disponibili ha evidenziato che in alcuni laghi è in atto una riduzione del numero di specie che può essere in parte dovuta a processi di eutrofizzazione. In occasione di eventi meteorologici estremi è stata anche osservata una notevole diminuzione della profondità raggiunta dalle praterie di macrofite, con una restrizione dell'areale di distribuzione delle specie maggiormente sensibili. È stato inoltre dimostrato che la struttura e le funzioni di questi ecosistemi lacustri dipendono dalla disponibilità e dalla qualità del detrito vegetale prodotto nella zona del litorale che, a cascata, sostiene le reti trofiche lacustri (Rossi et al., 2010). La fascia costiera presenta una forte pendenza, per cui piccole variazioni del livello idrometrico possono causare una perdita rilevante di habitat idonei alla crescita della vegetazione acquatica e delle principali comunità zoobentoniche. Si può pertanto ritenere che un ulteriore aumento della temperatura e delle perdite per evaporazione, abbinato a un incremento dei prelievi idrici, possa avere effetti particolarmente negativi su una delle componenti più pregiate dell'ecosistema lacustre.

### *Bacini artificiali dell'Italia meridionale e delle isole*

I bacini artificiali dell'Italia meridionale e, in misura ancor maggiore delle isole, nascono in risposta alla scarsità d'acqua dolce e, per questo motivo, sono soggetti ad ampie oscillazioni stagionali del livello idrico. Durante la stagione piovosa invernale i bacini si riempiono e i deflussi sono minimi; al contrario, durante la stagione estiva, i bacini non più alimentati dalle precipitazioni si svuotano, soprattutto per l'accresciuta richiesta idrica del comparto agricolo. L'ampiezza delle oscillazioni del volume invasato può variare dal 10 al 90% e dipende strettamente dalle fluttuazioni meteorologiche nell'area interessata (Naselli-Flores, 2011). Le variazioni di livello sono tali da provocare ampie modificazioni idrologiche ed ecologiche. La prima diretta conseguenza è l'assenza della fascia di vegetazione litorale e il netto predominio del fitoplancton tra i produttori primari (Sechi & Lugliè, 1996). Il fitoplancton, a sua volta, manifesta caratteristiche diverse in relazione alle variazioni idrologiche sia annuali sia pluriennali. Gli impatti delle oscillazioni del livello idrico dipendono dalla quota raggiunta nella fase di riempimento primaverile ed è maggiore negli anni caratterizzati da penuria idrica e siccità che ricorrono ciclicamente nell'area mediterranea. Un basso livello di riempimento dei corpi idrici e/o ampie oscillazioni del loro livello possono determinare un aumento del rapporto tra la profondità della zona di rimescolamento e la profondità della zona eufotica<sup>105</sup> tale da eventualmente provocare una brusca alterazione nella struttura delle comunità fitoplanctoniche, inducendo fioriture di cianobatteri tossici (Naselli-Flores, 2011). La diffusione dei cianobatteri può essere causata anche dall'innalzamento della temperatura dell'acqua e dal prolungamento della stratificazione. Peraltro, esistono numerose evidenze che le tossine prodotte dai cianobatteri possono limitare la crescita e lo sviluppo della

---

<sup>105</sup> Strato d'acqua superficiale in cui arriva energia luminosa sufficiente per sostenere la fotosintesi.

vegetazione terrestre, rendendo le acque contaminate non idonee all'irrigazione (Purkayastha et al., 2010).

L'intensa crescita dei cianobatteri interessa ormai 2/3 dei laghi sardi e siciliani nei quali le tipiche fioriture estive e autunnali sono seguite da fioriture invernali e primaverili di specie del gruppo *Planktothrix agardhii-rubescens* (in particolare di *P. rubescens*) che producono tossine. L'abbondanza dei cianobatteri e delle cianotossine è correlata con lo stato trofico, quindi le relazioni tra fattori climatici e pressioni locali rendono questi laghi particolarmente vulnerabili. Recentemente sono state segnalate anche specie di cianobatteri del genere tropicale *Cylindrospermopsis* che potrebbero trarre vantaggio dal riscaldamento globale, creando ulteriori problemi di tossicità.

Gli scenari climatici sono concordi nel prevedere una considerevole diminuzione delle deposizioni umide e un aumento della temperatura nel Mediterraneo meridionale, con probabile comparsa di processi di desertificazione connessi alla diminuzione dell'umidità del suolo e all'aumento dei tassi di evapotraspirazione (Giorgi & Lionello, 2008). Ne potrebbe conseguire un peggioramento della carenza idrica, aggravato da un'intensificazione dell'uso del suolo a scopo agricolo. Tali fattori potranno incidere notevolmente sulla qualità ecologica delle acque nei bacini artificiali dell'Italia meridionale e insulare (Erol & Randhir, 2012). Altri fattori di perturbazione possono derivare dalla scala spaziale alla quale è svolta la gestione dei laghi artificiali. Ad esempio, la maggior parte dei laghi della Sardegna è gestita in modo integrato con trasferimento di masse d'acqua tra bacini, mediante condotte e canali, per far fronte alla domanda locale (Sechi & Vacca, 1993). Ciò ha profonde implicazioni ecologiche, poiché aggiunge complessità ai singoli ecosistemi e alla loro gestione, rendendo ancora più incerta la proiezione degli impatti dei cambiamenti climatici su questa tipologia di laghi. Basti solo pensare all'inevitabile trasferimento di cianobatteri potenzialmente tossici e di specie alloctone tra invasi (Havel et al., 2005; Hermoso et al., 2011), alla difficoltà nella valutazione dei carichi di nutrienti in ingresso nei laghi e alla loro gestione rispetto all'eutrofizzazione, o all'alterazione idrologica e limnologica che le correnti derivanti dal prelievo e dall'immissione dei relativi volumi idrici genera nei laghi. La connessione tra bacini permette, però, di limitare le oscillazioni dei volumi idrici e delle profondità d'invaso, attenuando così possibili impatti dei cambiamenti climatici, come l'atolomissi<sup>106</sup>, che si presenta con una certa frequenza nei laghi siciliani (Naselli-Flores & Barone, 2005).

### **Acque temporanee: pozze, stagni e paludi d'acqua dolce**

Le acque lentiche di piccole dimensioni (pozze, stagni, paludi e acquitrini) svolgono un ruolo centrale nella conservazione della biodiversità acquatica, forniscono importanti servizi ecosistemici e possono essere considerate sistemi sentinella per il monitoraggio del cambiamento globale (Céréghino et al., 2008). Complessivamente, questi ambienti poco profondi e di piccole dimensioni ospitano un numero di specie di invertebrati, in particolare specie rare e minacciate, che è

---

<sup>106</sup> Formazione di una stratificazione effimera nelle ore diurne nei primi centimetri della colonna d'acqua, che si osserva in condizioni di assenza di vento e elevata temperatura e scompare durante le ore notturne.

maggiore di quello di fiumi e laghi (Stoch, 2005). Ad esempio, gli stagni temporanei mediterranei possono ospitare in modo esclusivo più del 60% delle specie della carcinofauna<sup>107</sup> (Marrone et al., 2009). Le aree ricche di piccoli ambienti di acque temporanee hanno anche la funzione di corridoi ecologici nelle reti di ambienti acquatici, svolgendo un ruolo fondamentale nel tessuto paesaggistico e fungendo da ambienti filtro per la depurazione delle acque che sono drenate dal reticolo idrico superficiale. I parametri ecologici di maggior rilievo per questi ambienti sono l'idroperiodo e il conseguente regime termico, e il grado d'interconnessione tra i diversi ecosistemi.

Numerose specie acquatiche sono esclusive di acque temporanee (ad es. rotiferi, anostraci, notostraci, spinicaudati, cladoceri e copepodi) e per completare il loro ciclo vitale necessitano di almeno un periodo di secca, durante il quale producono stadi di dormienza. Anche alcuni anfibi si riproducono in prevalenza nelle acque temporanee (ad es. le raganelle e i rospi smeraldini sono presenti con due specie endemiche in Italia). La sopravvivenza è spesso garantita dalle metapopolazioni<sup>108</sup>, che occupano una serie di piccoli bacini, mentre le specie che popolano stagni isolati o periferici hanno una maggiore probabilità di estinguersi.

La principale minaccia per gli ambienti acquatici temporanei di piccole dimensioni è da ricercarsi nell'uso dei suoli (urbanizzazione, agricoltura intensiva, ecc.). Parallelamente, stanno scomparendo le piccole raccolte d'acqua artificiali (stagni di paese e abbeveratoi) a causa del declino delle attività pastorali e dell'abbandono delle pratiche agricole tradizionali. La perdita di questi ambienti è compresa tra il 60% e l'80% negli ultimi trent'anni, perciò è prevedibile una loro completa scomparsa in tempi brevi (Stoch, 2005). Negli ambienti residui, la fauna è ulteriormente minacciata dall'introduzione di specie aliene (ad es. idrofite invasive come l'azzolla (*Azolla filiculoides*) e la lenticchia minuscola (*Lemna minuta*); o predatori come il gambero della Louisiana (*Procambarus clarkii*), che resiste bene al disseccamento, la gambusia (*Gambusia affinis*) e i pesci rossi (*Carassius auratus*); anfibi (*Xenopus laevis* in Sicilia) e, tra i rettili, le trachemidi (*Trachemys scripta*). Con la scomparsa delle piccole raccolte d'acqua sono a rischio di estinzione anche alcune specie vegetali presenti in stazioni relitte in Sicilia e Sardegna (*Isoetes velata*, *Pilularia minuta* e *Ranunculus batrachioides*), numerose specie di anfibi, invertebrati acquatici (notostraci e anostraci) e insetti (odonati).

Tra gli ambienti maggiormente in pericolo si annoverano le torbiere che in Italia si trovano in una posizione marginale rispetto alla loro distribuzione fitogeografica, essendo relitte delle glaciazioni del Quaternario e la loro formazione e colonizzazione sono legate alle condizioni climatiche storiche (Minelli, 2004; Bazzanti et al., 2009). L'aumento della temperatura e la diminuzione della dotazione idrica dei suoli causano un aumento dei processi ossidativi responsabili della mineralizzazione del substrato organico, con conseguente emissione di gas clima-alteranti derivanti dal metabolismo microbico.

---

<sup>107</sup> Fauna a crostacei.

<sup>108</sup> Insieme di popolazioni costituite da individui della stessa specie, spazialmente separate ma interessate da interazioni reciproche di diverso tipo.

## *Ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee (GDE)*

L'acronimo GDE (*Groundwater Dependent Ecosystems*) indica ecosistemi nei quali le specie e i processi ecologici sono condizionati dalle acque sotterranee. Sono da considerarsi GDE gli acquiferi, le sorgenti, inclusi i fontanili delle pianure alluvionali, i corsi d'acqua da esse alimentati e i loro corridoi iporreici<sup>109</sup>, i laghi carsici e le zone umide alimentate da acque di falda (Eamus & Froend, 2006). Particolare rilievo hanno le sorgenti in ambito alpino e appenninico che ospitano un numero elevato di specie endemiche (Cantonati et al., 2012). Le acque sotterranee albergano una biodiversità di grande valore costituita da una componente sotterranea (specie stigobie) e da una superficiale, ovvero da specie di superficie che penetrano, attivamente o passivamente, nelle acque sotterranee. Le specie stigobie presentano un tasso di endemismo superiore al 90% e costituiscono un gruppo prioritario per la conservazione della biodiversità<sup>110</sup>. Un caso emblematico è rappresentato dal proteo (*Proteus anguinus*), anfibio presente solo in una ristretta area di circa 200 chilometri quadrati del carso goriziano e triestino. Tra i crostacei, interi ordini contano solo rappresentanti stigobi (batinellacei, termosbenacei, copepodi gelielloidi), mentre numerosissime specie di ostracodi, copepodi, isopodi, anfipodi, misidacei e decapodi hanno areali di distribuzione estremamente ristretti. I cicli vitali di molte specie acquatiche di superficie dipendono dall'apporto di acqua sotterranea. Gli stadi larvali di numerose specie di macroinvertebrati bentonici (tra cui efemerotteri, plecoteri, tricoteri e ditteri) si sviluppano nell'ambiente iporreico, mentre vari salmonidi endemici come le trote macrostigma (*Salmo cettii*) e marmorata (*Salmo marmoratus*) richiedono circolazione idrica sotterranea nelle zone di riproduzione. Nelle sorgenti le minacce principali riguardano la meiofauna<sup>111</sup>, mentre gli stadi larvali di specie che hanno adulti alati che abbandonano le sorgenti e la fauna terrestre igrofila ne sono solo indirettamente influenzati (Cantonati et al., 2012).

La persistenza dei GDE e della biodiversità ad essi associata dipende dall'apporto di acque sotterranee e dal mantenimento dei corridoi ecologici e dei microhabitat costituiti dalla connessione tra acque profonde e superficiali. Le minacce locali più importanti sono costituite da: captazioni, regimazioni idraulico-forestali, escavazioni in alveo, interrimento delle risorgive e delle zone umide, pratiche agricole intensive con uso di fertilizzanti e diserbanti, scarico di reflui urbani e industriali e smaltimento nei suoli di sostanze tossiche. Le alterazioni del regime idrologico causate dai cambiamenti climatici determinano gravi impatti sui GDE. La drastica diminuzione delle portate nei periodi di siccità e le piogge di forte intensità e breve durata portano ad un generale impoverimento delle falde. Anche gli habitat fluviali e le zone umide circostanti risentono dell'alternanza di secche prolungate e piene improvvise e violente che causano la scomparsa di microhabitat e la compattazione e l'impermeabilizzazione dei sedimenti. Il perdurare di questi fenomeni modifica la connettività verticale tra corpo idrico superficiale e falda sottostante, con conseguente perdita di biodiversità. La marcata diminuzione della risorsa idrica

---

<sup>109</sup> Ambiente di transizione tra le acque che scorrono in alveo e quelle presenti nell'acquifero.

<sup>110</sup> Per maggiori informazioni si veda il sito [www.faunaeur.org](http://www.faunaeur.org)

<sup>111</sup> Invertebrati bentonici con dimensioni comprese tra 45 µm e 1 mm.

sotterranea determina una maggiore concentrazione delle sostanze inquinanti nelle falde acquifere, con ripercussioni negative sulla qualità delle acque superficiali da queste alimentate. Se gli acquiferi sono prossimi alla linea di costa, si verifica anche l'intrusione del cuneo salino con conseguenze molto negative sulla delicata biodiversità stigobia delle acque dolci. Vi è pertanto una stretta interazione tra sovra-sfruttamento della risorsa idrica sotterranea e cambiamenti climatici, che lascia prevedere un'ulteriore amplificazione degli impatti negativi già in atto.

### ***Ecosistemi di transizione: foci fluviali e lagune***

Gli ecosistemi di transizione tra continente e mare comprendono le lagune e le foci fluviali, tipologie di ambienti con caratteristiche morfologiche e idrologiche completamente differenti, ma con proprietà comuni, derivanti dalla loro natura di ecotoni<sup>112</sup>, che li rendono altamente sensibili ai cambiamenti climatici, con scenari di risposta diversi per le differenti tipologie di ecosistemi (si veda la Tabella 2 in Basset et al., 2012). Negli estuari, dove predomina la componente fluviale, il gradiente è principalmente condizionato dall'apporto di acqua dolce, mentre nelle lagune avviene la situazione inversa (Magni et al., 2009; Tagliapietra et al., 2012b; Basset et al., 2012).

Le lagune italiane<sup>113</sup> rientrano in due macro-regioni climatiche: il Nord-Adriatico, con un clima mediterraneo umido, e le rimanenti aree con clima mediterraneo secco. Le lagune appartenenti alla prima macro-regione, con escursione di marea fino a 1 m, sono microtidali; le altre, con maree inferiori a 0,2 m, sono non-tidali o nano-tidali (Basset et al., 2006; Tagliapietra & Volpi Ghirardini, 2006). Le principali forzanti climatiche sono la temperatura dell'acqua, l'aumento del livello del mare e la variazione del regime idrologico nei bacini fluviali di monte. La loro influenza sulla biodiversità è riconducibile essenzialmente a tre grandi processi: (1) la meridionalizzazione del clima che favorisce specie presenti nel bacino del Mediterraneo a latitudini più basse e la contemporanea riduzione o scomparsa di specie residenti ma non tolleranti il cambiamento; (2) la modificazione dell'habitat che ha effetti sull'adattamento e sulla distribuzione delle specie; (3) l'inquinamento e la deossigenazione delle acque che sono aggravati dal confinamento. Localmente possono avere un ruolo decisivo le alterazioni idro-morfologiche dovute a: difese idrauliche, immissione di specie aliene, pesca e acquacoltura.

L'innalzamento del livello del mare e i cambiamenti idrologici modificano in modo considerevole la connettività delle lagune con il mare. Nelle lagune soggette a regolazione, le opere per la difesa idraulica (ad es. Laguna di Venezia) e quelle per la gestione della pesca (ad es. Stagno di Cabras) e dell'acquacoltura (ad es. Sacca di Goro) possono influenzare i livelli idrici e ridurre gli scambi con il mare adiacente. Il confinamento delle masse idriche può avere effetti rilevanti sulle comunità

---

<sup>112</sup> L'ecotono è un ambiente di transizione tra due ecosistemi che hanno caratteristiche diverse per cui tra di essi si stabilisce un gradiente (variazione), ad esempio di condizioni idrologiche.

<sup>113</sup> Un inventario delle lagune italiane è disponibile su [www.circlemednet.unisalento.it](http://www.circlemednet.unisalento.it).

vegetali e animali e sui processi biogeochimici, con possibile insorgenza di ipossia, anossia e crisi distrofiche<sup>114</sup> (Viaroli et al., 2010b).

Variazioni della temperatura e delle precipitazioni possono avere effetti locali diretti, mentre altri impatti dipendono dall'idrologia nei bacini di monte e si propagano a cascata sulle lagune e sugli estuari. Negli anni di particolare siccità si è osservato che nei sistemi tidali, a un minore apporto di acque dolci è corrisposta una notevole risalita del cuneo salino (Alessandrini et al., 2008). In estate, la diminuzione dei tassi di scambio laguna-mare, combinata con il riscaldamento superficiale, porta alla stratificazione della colonna d'acqua, specialmente in bacini profondi e nei periodi di assenza di vento. La persistenza della stratificazione è responsabile della segregazione delle acque di fondo, dove l'instaurarsi dell'ipossia/anossia ha ripercussioni negative sul metabolismo bentonico (Viaroli et al., 2010b).

Le variazioni dell'idrologia superficiale nei bacini idrografici che drenano nelle lagune possono amplificare gli effetti dell'eutrofizzazione. Piogge di breve durata e forte intensità sono, infatti, responsabili dell'erosione e del dilavamento dei suoli agricoli e perciò di un aumento rilevante del carico dei nutrienti, soprattutto dell'azoto nitrico (Padedda et al., 2012).

La bassa profondità e la natura sedimentaria fanno sì che il metabolismo delle lagune sia principalmente legato al sistema bentonico. La stagnazione delle acque e le alte temperature influenzano anzitutto questo comparto, stimolando la produzione primaria e l'attività microbica. La disponibilità di elevate quantità di nutrienti per brevi periodi causa fioriture macroalgali (maree verdi) che determinano l'accumulo di sostanza organica, intensi processi di decomposizione microbica, anossia, insorgenza di processi microbici riducenti (ad es. solfato-riduzione e metanogenesi). In parallelo, nelle comunità vegetali scompaiono le fanerogame<sup>115</sup> pluriennali, che sono dapprima sostituite da fitoplancton e pleustofite<sup>116</sup> a rapida crescita, per poi lasciare spazio a fioriture di picoplancton<sup>117</sup> e cianobatteri. La propagazione a cascata del disturbo lungo le reti trofiche determina la perdita delle specie maggiormente sensibili. In particolare, nelle comunità bentoniche si assiste a un aumento delle specie opportuniste più tolleranti e spesso di piccola taglia, a svantaggio dei molluschi bivalvi filtratori; si osserva anche un forte legame tra vegetazione e fauna bentonica e processi biogeochimici, con effetti sulla qualità delle acque (Viaroli et al., 2010b; Tagliapietra et al., 2012b). Specie che hanno un areale di distribuzione ristretto o che sono particolarmente sensibili a temperatura e salinità saranno maggiormente esposte agli effetti del riscaldamento delle acque, dell'ingressione marina o delle piene fluviali: ad esempio, le specie microterme<sup>118</sup> di affinità atlantica nella Laguna di Venezia potrebbero andare incontro a estinzione

---

<sup>114</sup> Processi degenerativi causati dall'elevata produzione primaria e dalla decomposizione delle biomasse prodotte che provoca consumo di ossigeno e comparsa di processi microbici anaerobici che producono solfuri e metano. Le condizioni che ne derivano sono ai limiti della sopravvivenza per la maggior parte delle specie animali e vegetali.

<sup>115</sup> Piante con fiori ben visibili, dette anche spermatofite.

<sup>116</sup> Macrofite non radicate, fluttuanti liberamente.

<sup>117</sup> Frazione del plancton di dimensioni comprese tra 0,2 e 2 µm.

<sup>118</sup> Con un intervallo di tolleranza alla temperatura molto ristretto.

locale ed essere sostituite da specie maggiormente tolleranti (Tagliapietra et al., 2012a). La persistenza delle specie presenti e i livelli di biodiversità dipenderanno molto dalle risposte funzionali delle singole popolazioni al cambiamento, ad esempio in termini di adattamenti fisiologici e trofici. In parallelo, saranno favorite specie adattate a temperature più elevate: le specie aliene potranno avere una maggiore probabilità di successo rispetto alle specie indigene che tenderanno invece a spostarsi verso Nord (Parmesan, 2006). Per queste ragioni, si ritiene che nelle aree più settentrionali del bacino Adriatico l'esclusione delle specie indigene da parte di quelle aliene possa essere più veloce che nel resto del territorio nazionale in seguito a malattie causate da parassiti e patogeni e alle barriere geografiche che impediscono le migrazioni (Occhipinti-Ambrogi, 2007).

Gli ecosistemi di transizione sono particolarmente vulnerabili all'innalzamento del livello del mare che, secondo alcune stime, potrebbe raggiungere 1 m entro la fine del secolo (Carbognin & Tosi, 2002; Zecca & Chiari, 2012). La rigidità antropogenica della fascia costiera costituisce un forte impedimento al ri-allineamento della linea di costa. In queste condizioni si avrà la comparsa di condizioni marine nelle acque superficiali e la risalita del cuneo salino nelle falde acquifere, sempre più impoverite dai prelievi idrici.

Lungo le coste italiane, soprattutto nord-adriatiche, esistono aree molto estese poste sotto il livello del mare per effetto di bonifiche e subsidenza e che sono particolarmente vulnerabili al previsto innalzamento del livello del mare e a possibili inondazioni causate da tempeste cui sono associati forti venti<sup>119</sup>, la cui frequenza ed intensità potrebbe aumentare. Dovrà quindi essere considerata l'eventualità di una loro trasformazione in ambienti acquatici di transizione, in sostituzione di quelli attuali e anche in funzione di una naturale difesa della linea di costa.

## **Azioni di adattamento già intraprese**

I temi della biodiversità e delle funzioni e servizi degli ecosistemi di acque interne sono poco considerati nelle azioni di risposta ai cambiamenti climatici. I temi trattati in questo capitolo non sono nuovi, poiché già inclusi nella Strategia Nazionale per la Biodiversità, approvata dal Ministero dell'Ambiente del Territorio e della Tutela del Mare nel 2010. In quell'ambito erano state individuate alcune priorità in termini di mitigazione degli impatti dei fattori climatici su biodiversità e ecosistemi acquatici e del loro adattamento al cambiamento globale (Attorre et al., 2009). A distanza di tre anni, la situazione è pressoché immutata, anche se sono state avviate diverse iniziative che potrebbero concretizzarsi in azioni con una forte connotazione ecosistemica. Al momento, però, il dibattito sui disastri idrologici che a più riprese hanno colpito vaste aree del territorio nazionale negli ultimi mesi sembra privilegiare azioni di tipo convenzionale, basate sul ricorso alla tecnologia e alla gestione reattiva delle emergenze. In più di un'occasione, le componenti biologiche degli ecosistemi acquatici, soprattutto la vegetazione, sono state

---

<sup>119</sup> Fenomeni meteorologici estremi spesso indicati col termine "storm surges".

considerate in modo estremamente negativo, ritenendole un ostacolo al deflusso delle acque e quindi da eliminare piuttosto che valorizzare. La presenza della vegetazione riparia deve tuttavia essere riconsiderata, valutando ad esempio il ruolo che svolge nel rallentare la corrente e nella laminazione dei picchi di portata. La vegetazione può inoltre contribuire a consolidare le sponde, contrastandone l'erosione e la franosità; persino nel caso dei canali di bonifica la sua presenza può comportare vantaggi, per esempio minori costi di gestione perché, grazie all'ombreggiamento, limita efficacemente lo sviluppo delle macrofite acquatiche (Nardini & Sansoni, 2006).

Come più volte rilevato in questo capitolo, nonostante ci siano segnali incontrovertibili di una relazione tra cambiamenti climatici e risposte degli ecosistemi, molti dei segnali sono mascherati da fattori e pressioni locali. Numerosi lavori hanno chiaramente evidenziato la complessità del problema, che è multifattoriale e con tendenze evolutive non lineari e di lungo termine (Moss et al., 2011; Newton et al., 2013). In quest'ambito, gli studi paleolimnologici e paleoclimatici possono contribuire alla valutazione dell'impatto del clima sulla diversità di specie e sul funzionamento degli ecosistemi lacustri (Guilizzoni & Oldfield, 1996; Guilizzoni et al., 2012). Casi di studio condotti in Europa dimostrano comunque che per molti laghi è ancora difficile separare l'impatto dovuto all'eutrofizzazione da quello dovuto al riscaldamento degli ultimi decenni (Battarbee et al., 2012).

Nonostante i progressi conseguiti negli ultimi anni, su questi temi esiste ancora un forte bisogno di ricerche ecologiche di lungo termine in siti prioritari, ovvero in ecosistemi che sono ritenuti particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici e capaci di fornire informazioni sulle possibili tendenze evolutive di medio - lungo termine. Una possibile soluzione è data dal Programma Nazionale di Ricerche Ecologiche di Lungo Termine (LTER Italia)<sup>120</sup>, che annovera tra i siti attivi numerosi ecosistemi acquatici: i laghi alpini profondi, i laghi d'alta quota, i laghi artificiali della Sardegna e alcune lagune. Mancano purtroppo i corsi d'acqua e le piccole acque lentiche. Il programma LTER-Italia partecipa in modo attivo a LTER-Europe e al programma internazionaleILTER: ha dunque la dimensione spaziale idonea a affrontare studi su processi globali che hanno ricadute a livello locale. Nell'ambito della rete europea LTER-Europe, il progetto EnvEurope<sup>121</sup>, coordinato dall'Italia, ha portato un contributo importante su qualità ambientale e valutazione delle pressioni negli ecosistemi di acque interne. Complementare a LTER è la piattaforma di ricerca LifeWatch<sup>122</sup> che ha come obiettivo la promozione e lo sviluppo degli studi su biodiversità e ecosistemi.

La pianificazione di azioni e interventi in sistemi complessi non può essere affidata a modelli di intervento tradizionali, ma richiede un robusto sistema scientifico di supporto alle decisioni, fondato su modelli bioclimatici, modelli bioeconomici per l'analisi di scenari gestionali e modelli per le valutazioni di impatto e di incidenza che stimolino e orientino il confronto verso soluzioni

---

<sup>120</sup> Rete Italiana per le Ricerche Ecologiche di Lungo Termine (LTER Italia): <http://www.lteritalia.it/>.

<sup>121</sup> 2010-2014 Life Environment Project LIFE08 ENV/IT/000399, EnvEurope: <http://www.enveurope.eu/>.

<sup>122</sup> LifeWatch: <http://www.lifewatch.eu>.

attente alle problematiche ecologiche e ambientali.<sup>123</sup> Contestualmente deve essere sviluppata una profonda consapevolezza delle problematiche e una coerente partecipazione dei portatori d'interesse e dei cittadini: iniziative in questo senso sono state avviate a livello sperimentale, ad esempio con il progetto europeo AWARE<sup>124</sup> e con l'esperienza dei contratti di fiume<sup>125</sup>.

Su argomenti specifici si stanno svolgendo attività sperimentali mirate all'individuazione dei livelli di sostenibilità ecologica nella gestione delle risorse idriche e dei deflussi nei principali ecosistemi fluviali (e.g sul deflusso minimo vitale<sup>126</sup>).

Occorre infine ricordare che biodiversità e ecosistemi possono fornire beni e servizi che sono ormai contabilizzati nelle valutazioni dei costi e benefici derivanti da azioni che hanno impatti accertati sull'ambiente e sull'economia (Anthony et al., 2009). Questo principio è stato ufficialmente discusso e accettato alla presenza di Ministri del Governo in carica in occasione della Conferenza Nazionale su "La Natura dell'Italia. Biodiversità e Aree Protette: Green Economy per il rilancio del Paese" tenutasi a Roma nei giorni 11 e 12 dicembre 2013.<sup>127</sup>

## **Problematiche intersettoriali**

Lo stato di conservazione e la vulnerabilità della biodiversità e dei servizi degli ecosistemi di acque interne possono dipendere anche dalle interazioni e/o interferenze con gli altri settori rilevanti della Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici.

### ***Risorse idriche***

Il reperimento delle risorse idriche avviene prevalentemente da acque superficiali, in particolare nel meridione e soprattutto nelle isole, dove l'unica fonte importante di acqua dolce è costituita dai laghi artificiali. Attualmente, la sottrazione di acqua da fiumi e torrenti è tale da indurre forti impatti su habitat e componenti biologiche; esiste specialmente un problema di rilascio del deflusso minimo vitale (DMV), soprattutto nel periodo estivo nel versante appenninico della pianura padana e nell'Italia peninsulare. Considerando scenari climatici con una diminuzione della deposizione umida e un aumento delle temperature, ci si può attendere un aumento della richiesta di acqua a fronte di una minore disponibilità. Le scelte che saranno adottate per far fronte a questi bisogni avranno effetti sull'ecosistema acquatico e, di riflesso, sulla qualità della risorsa stessa. In particolare è atteso un aumento dei fenomeni estremi, che dovranno essere affrontati con interventi di ritenzione e accumulo d'acqua in coincidenza delle precipitazioni e di rilascio quando la domanda è maggiore. La gestione dei sistemi fluviali e delle risorse idriche, in primo luogo la

---

<sup>123</sup> Si veda, ad esempio, il progetto europeo DITTY - Development of an Information Technology Tool for the Management of European Southern Lagoons under the influence of river-basin runoff: <http://armspark.msem.univ-montp2.fr/dittyproject>.

<sup>124</sup> AWARE - How to Achieve sustainable Water ecosystems management connecting Research, people and policy makers in Europe: <http://www.aware-eu.net>.

<sup>125</sup> [www.contrattidifiume.it](http://www.contrattidifiume.it).

<sup>126</sup> [http://www.ors.regione.lombardia.it/cm/pagina.jhtml?param1\\_1=N12511ea0df6eab9fbe5](http://www.ors.regione.lombardia.it/cm/pagina.jhtml?param1_1=N12511ea0df6eab9fbe5).

<sup>127</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/la-natura-delitalia>.

bacinizzazione fluviale, è una questione di natura intersettoriale che deve includere anche la parte costiera, perché sono in gioco la risalita del cuneo salino, la qualità delle acque di transizione, il trasporto solido e, dunque, il mantenimento dell'attuale assetto della linea di costa. In questo periodo, la Commissione Europea ha aperto il dibattito sul deflusso ecologico: questo argomento è certamente un tema importante per la Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici.

### **Settore energetico**

L'energia idroelettrica è una fonte rinnovabile la cui produzione ha già ora un notevole impatto su tutto l'arco alpino e sui tratti sub-lacuali di alcuni fiumi. Nelle aree appenniniche la gestione degli impianti idroelettrici è da tempo causa di conflitti su DMV, qualità ambientale e attività ricreative. Un ulteriore sviluppo di impianti idroelettrici (inclusi i micro-idroelettrici<sup>128</sup>) potrebbe avere conseguenze non trascurabili sugli ecosistemi acquatici in termini di interruzione del *continuum* fluviale e frammentazione degli habitat. L'effetto complessivo può essere considerevolmente amplificato dalla diminuzione delle precipitazioni e delle portate fluviali.

Nel caso degli impianti termoelettrici con circuito di raffreddamento a ciclo aperto, potrebbero aumentare i rischi per il rispetto delle variazioni e per il superamento del limite assoluto di temperatura a valle della restituzione delle acque di raffreddamento. Tale impatto, già oggi osservato, può essere aggravato dalla diminuzione delle portate nei periodi di siccità (minore capacità di diluizione).

### **Ambienti d'alta quota**

In uno scenario di progressiva riduzione della disponibilità idrica, sia i laghi sia i torrenti montani d'alta quota potrebbero essere sfruttati per l'approvvigionamento di acqua, ad esempio per l'innervamento artificiale. La loro persistenza futura va dunque valutata anche considerando la disponibilità e l'uso delle risorse idriche. Per i laghi del crinale appenninico già ora si assiste a una perdita funzionale di laghi e pozze, che sono soggetti a lunghi periodi di secca e/o a progressivo interrimento.

### **Acquacoltura**

L'acquacoltura esercitata sui corsi d'acqua montani e nelle lagune costiere può influire sulla qualità idrica e sulla funzionalità ecosistemica di questi ambienti.

Nei sistemi fluviali e nei torrenti il problema principale riguarda la qualità dell'acqua. Gli apporti da monte sono, infatti, una risorsa per gli allevamenti, mentre a valle si possono verificare fenomeni di inquinamento, anche grave. Ad esempio, potrebbero insorgere problemi per la trotticoltura, poiché le specie allevate sono stenoterme e richiedono buone condizioni di

---

<sup>128</sup> Piccoli impianti per la produzione idroelettrica, generalmente con potenze di picco fino a 100 kW.

ossigenazione. Possibili diminuzioni di portata potranno aggravare gli impatti in termini d'inquinamento e di competizione per l'uso delle risorse idriche.

Nelle lagune e negli stagni costieri dove è praticato l'allevamento ittico e dei molluschi bivalvi, l'impatto sulle comunità naturali e sulla qualità dell'ecosistema raggiunge livelli critici. Il peggioramento delle condizioni ambientali ha, a sua volta, effetti negativi sull'acquacoltura e può innescare una sorta di corto circuito.

### ***Dissesto idrogeologico e sicurezza idraulica***

La protezione dell'integrità degli ecosistemi e della biodiversità acquatici non è un aspetto marginale rispetto alla difesa idraulica del territorio e alla prevenzione e riparazione del dissesto. Le componenti naturali sono, infatti, di fondamentale supporto alle azioni di protezione preventiva e riqualificazione territoriale e ambientale. Vanno, però, considerate alla scala spaziale adeguata. Ad esempio, le fasce di pertinenza fluviale, se lasciate libere da infrastrutture e spazi urbanizzati, possono garantire la laminazione delle piene, il mantenimento dei processi biogeochimici da cui dipende la qualità idrica, la ritenzione e l'accumulo di acqua, le funzioni di siti di riproduzione (nursery) per specie acquatiche e la qualità del paesaggio. Al contrario, agricoltura, insediamenti abitativi e industriali e infrastrutture si sono sviluppati nelle golene e nelle zone di pertinenza fluviale, attorno ai laghi e lungo la costa. In tali situazioni, queste attività sono maggiormente esposte agli impatti dei cambiamenti climatici, amplificati da un uso non corretto del territorio. La sistemazione delle aree dissestate e la messa in sicurezza dei corsi d'acqua non possono dunque prescindere dalla considerazione della struttura e dei processi ecologici degli ecosistemi acquatici.

Il reticolo idrografico minore, inclusi i sistemi artificiali di canalizzazione, ha perso la struttura originaria ed è soggetto a manutenzione il più delle volte non idonea, ad esempio con il taglio raso della vegetazione arborea riparia e l'abbandono sul posto dei residui vegetali. In molti casi, i canali sono cementificati e, sempre più frequentemente, intubati per ridurre le perdite di carico e gli interventi di manutenzione. In tal modo, tuttavia, aumentano l'artificializzazione e la velocità di deflusso, e al contempo diminuisce la capacità tampone sia idrologica sia biogeochimica. Sulla rilevanza del ruolo degli elementi ecologici nella gestione dei corsi d'acqua si rimanda a Nardini & Sansoni (2006).

## Bibliografia

- Alessandrini, C., Pecora, S., Casicci, L. (2008). La risalita del cuneo salino nel delta del Po, impatto e monitoraggio. ARPA Rivista 3 maggio-giugno 2008, 42-43. Arpa Emilia-Romagna, Bologna, Italia.
- Ambrosetti, W., Barbanti, L. (2002). Physical limnology of Italian lakes. 1. Relationship between morphometry and heat content. *Journal of Limnology* 61, 147-157. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Anthony, A., Atwood, J., August, P., Byron, C., Cobb, S., Foster, C., Fry, C., Gold, A., Hagos, K., Heffner, L., Kellogg, D.Q., Lellis-Dibble, K., Opaluch, J.J., Oviatt, C., Pfeiffer-Herbert, A., Rohr, N., Smith, L., Smythe, T., Swift, J., Vinhateiro, N. (2009). Coastal lagoons and climate change: ecological and social ramifications in U.S. Atlantic and Gulf coast ecosystems. *Ecology and Society* 14, 1,8. The Resilience Alliance, Wolfville, Nova Scotia, Canada.
- Attorre, F., Bruno, F., Danovaro, R., Ferrari, I., Gatto, M., Navarra, A., Valentini, R. (2009). Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità. Esiti del tavolo tecnico Cambiamenti climatici e biodiversità. Studio della mitigazione e proposte per l'adattamento.. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione generale per la Protezione della Natura e del mare (MATTM-DPN), Roma, Italia.
- Azzella, M., Rosati, L., Iberite, M., Bolpagni, R., Blasi, C. (2014). Changes in aquatic plants in the Italian volcanic-lake system detected using current data and historical records. *Aquatic Botany* 112, 41-47. Elsevier B.V.
- Bartoli, M., Racchetti, E., Delconte, C.A., Sacchi, E., Soana, E., Laini, A., Longhi, D., Viaroli P. (2012). Nitrogen balance and fate in a heavily impacted watershed (Oglio River, Northern Italy): in quest of the missing sources and sinks. *Biogeosciences* 9, 361- 373. Copernicus Publications, Göttingen, Germany.
- Basset, A., Barbone, E., Elliott, M., Li, B.L., Jorgensen, S.E., Lucena-Moya, P., Pardo, I., Mouillot, D. (2012). A unifying approach to understanding transitional waters: fundamental properties emerging from ecotone ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 132, 5-16. Elsevier B.V.
- Basset, A., Sabetta, L., Fonnesu, A., Mouillot, D., Do Chi, T., Viaroli, P., Reizopoulou, S., Carrada, G.C. (2006). Typology in Mediterranean transitional waters: new challenges and perspectives. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems* 16, 441-455. John Wiley & Sons, Inc.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (eds.) (2008). *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat Geneva, Switzerland.
- Battarbee, R.W., Anderson, N.J., Bennion, H., Simpson, G.L. (2012). Combining limnological and palaeolimnological data to disentangle the effects of nutrient pollution and climate change on lake ecosystems: problems and potential. *Freshwater Biology* 57, 2091-2106. John Wiley & Sons, Inc.
- Battarbee, R.W., Kernan, M., Rose, N. (2007). Threatened and stressed mountain lakes of Europe: Assessment and progress. *Aquatic Ecosystem Health Management* 12, 118-128. Taylor & Francis. Informa Ltd, London, United Kingdom.
- Bazzanti, M., Della Bella, V., Grezzi, F. (2009). Functional characteristics of macroinvertebrate communities in Mediterranean ponds (Central Italy): influence of water permanence and mesohabitat type. *International Journal of Limnology* 45, 29-39. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Bertoni, R., Callieri, C., Caravati, E., Corno, G., Contesini, M., Morabito, G., Panzani, P., Giardino, C. (2007). Cambiamenti climatici e fioriture di cianobatteri potenzialmente tossici nel Lago Maggiore. In: *Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR* (Carli, B., Cavarretta, G., Colacino, M., Fuzzi S., eds.), 613-616. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, Italia.

- Bettinetti, R., Croce, V., Galassi, S., Volta, P. (2006). pp'DDT and pp'DDE accumulation in a food chain of Lake Maggiore (Northern Italy): testing steady-state condition. *Environmental Science and Pollution Research* 13, 1, 59-66. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Bolpagni, R., Bartoli, M., Viaroli, P. (2013). Species and functional plant diversity in a heavily impacted riverscape: implication for threatened hydro-hydrophilous flora conservation. *Limnologia* 43, 230-238. Elsevier B.V.
- Bolpagni, R., Bartoli, M., Viaroli, P. (2014). Flora della pianura padana centrale (Lombardia-Emilia-Romagna): analisi preliminare delle funzioni e dello stato di conservazione della componente idro-igrofila. *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Scienze Fisiche e Naturali* (in stampa, Roma, Italia)
- Bonada, N., Resh, V.H. (2013). Mediterranean-climate streams and rivers: geographically separated but ecologically comparable freshwater systems. *Hydrobiologia* 719, 1-29. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Bruno, M.C., Maiolini, B., Carolli, M., Silveri, L. (2009). Hydropeaking impact on hyporheic invertebrates of an Alpine stream (Trentino, Italy). *International Journal of Limnology* 45, 157-170. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Burgmer, T., Hillebrand, H., Pfenninger, M. (2007). Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia* 151, 93-103. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Cambi, C., Dragoni, W., Valigi, D. (2003). Water management in low permeability catchments and in times of climatic change: the case of the Nestore River (Western Central Italy). *Physics and Chemistry of the Earth* 28, 201-208. Elsevier B.V.
- Cantonati, M., Corradini, G., Jüttner, I., Cox, E.J. (2001). Diatom assemblages in high mountain streams of the Alps and the Himalaya. *Nova Hedwigia* 123, 37-62. Schweizerbart science publishers, Stuttgart, Germany.
- Cantonati, M., Füreder, L., Gerecke, R., Jüttner, I., Cox, E.J. (2012). Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science* 31, 463-480. BioOne, Washington, DC.
- Cantonati, M., Lazzara, M. (eds.) (2006). I laghi di alta montagna del bacino del Fiume Avisio (Trentino orientale). *Monografie del Museo Tridentino Scienze Naturali* 3, 1-249. Museo Tridentino Scienze Naturali, Trento, Italia.
- Caraco, N., Cole, J.J., Findlay, S., Wigand, C. (2006). Vascular plants as engineers of oxygen in aquatic systems. *BioScience* 56, 219-225. BioOne, Washington, DC.
- Carbognin, L., Tosi, L. (2002). Interaction between climate changes, eustacy and land subsidence in the North Adriatic region Italy. *Marine Ecology* 23: 38-50.
- Cerasino, L. Salmaso, N. (2012). Diversity and distribution of cyanobacterial toxins in the Italian subalpine lacustrine district. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 41, 54-63. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Céréghino, R., Biggs, J., Oertli, B., Declerck, S. (2008). The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597, 1-6. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Daily, G.C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Mooney, H.A., Pejchar, L., Ricketts, T.H., Salzman, J., Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 21-28.
- Dodds, W.K. (2006). Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnology and Oceanography* 51, 671-680. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO), Canmore, Alberta, Canada.
- Dokulil, M.T., Jagsch, A., George, G.D., Anneville, O., Jankowski, T., Wahl, D., Lenhart, B., Blenckner, T., Teubner, K. (2006). Twenty years of spatially coherent deepwater warming in lakes across Europe related to the North Atlantic

- Oscillation. *Limnology and Oceanography* 51, 2787-2793. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO), Canmore, Alberta, Canada.
- Eamus, D., Froend, R.H. (2006). Groundwater dependent ecosystems: the where, what and why of GDEs. *Australian Journal of Botany* 54: 91-96.
- Edwards, M., Richardson, A.J. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430, 881-884. Nature Publishing Group (NPG), Macmillan Publishers Limited, New York, NY.
- Erol, A., Randhir, T. (2012). Climatic change impacts on the ecohydrology of Mediterranean watersheds. *Climatic Change* 114, 319-341. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Forster, J., Hirst, A.G., Atkinson, D., 2012: "Warming-induced reaction of reduction in body size are greater in aquatic than in terrestrial species". *PNAS* (online early edition).
- Gaino, E., Scoccia, F., Piersanti, S., Reborà, M., Bellucci, L.G., Ludovisi, A. (2012). Spicule records of *Ephydatia fluviatilis* as a proxy for hydrological and environmental changes in the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy). *Hydrobiologia* 679:139-153. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Gardi, C., Dall'Olio, N., Salata, S. (2013). L'insostenibile uso di suolo. EdicomEdizioni, Collana Ambiente e territorio.
- Gherardi, F., Bertolino, S., Bodon, M., Casellato, S., Cianfanelli, S., Ferraguti, M., Lori, E., Mura, G., Nocita, A., Riccardi, N., Rossetti, G., Rota, E., Scalera, R., Zerunian, S., Tricarico, E. (2008). Animal xenodiversity in Italian inland waters: distribution, modes of arrival, and pathways. *Biological Invasions* 10:435-454. Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, Netherlands.
- Gherardi, F., Occhipinti-Ambrogi, A., Savini, D., Tricarico, E. (2010). Xenodiversità animale nel bacino idrografico del Po. In: *Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano"* (Viaroli, P., Puma, F., Ferrari, I., eds.). *Biologia Ambientale* 24, 1, 129-134. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.
- Giorgi, F., Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Changes* 63, 90-104. Elsevier B.V.
- Guilizzoni, P., Levine, S.N., Manca, M., Marchetto, A., Lami, A., Ambrosetti, Brauer, W.A., Gerli, S., Carrara, E.A., Guzzella, L., Vignati, D.A.L. (2012). Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (L. Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. *International Journal of Limnology* 71, 1-20. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Guilizzoni, P., Oldfield, F. (eds.) (1996). *Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments (PALICLAS)*. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* 55. Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza, Italia.
- Havel, J.E., Lee, C.E., Vander Zanden M.J. (2005). Do reservoirs facilitate invasions into landscapes? *BioScience* 55, 518-525. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- Hermoso, V., Clavero, M., Blanco-Garrido, F., Prenda, J. (2011). Invasive species and habitat degradation in Iberian streams: an analysis of their role in freshwater fish diversity loss. *Ecological Applications* 21, 175-188. Ecological Society of America (ESA), Ithaca, NY.
- Jacobsen, D., Milner, A.M., Brown, L.E., Dangles O. (2012). Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change* 2, 361-364. Nature Publishing Group (NPG), Macmillan Publishers Limited, New York, NY.
- Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J.E., Audet, J., Sondergaard, M., Hoffman, C.C., Andersen, H.E., Lauridsen, T., Bjerring, R., Conde-Porcuna, J.M., Mazzeo, N., Iglesias, C., Reizenstein, M., Malmquist, H.J., Liu, Z., Balayla, D, Lazzaro,

- X. (2010). Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem functions. *Hydrobiologia* 646, 73-90. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Jones, I. (ed.) (2013). The impact of extreme events on freshwater ecosystem. *Ecological Issues*, , 67. British Ecological Society, London, United Kingdom.
- Lappalainen, J., Tarkan, A.S. (2007). Latitudinal gradients in onset date, onset temperature and duration of spawning of roach. *Journal of Fish Biology* 70, 441-450. John Wiley & Sons, Inc.
- Lorenzoni, M., Carosi, A., Pedicillo, G., Pompei, L., Rocchini, M. (2011). Reproductive properties of the chub *Squalius squalus* (Bonaparte, 1837) in the Assino Creek (Umbria, Italy). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 403, 1-10. EDP Sciences, Les Ulis Cedex A, France.
- Lorenzoni, M., Mearelli, M., Ghetti, L. (2006). Native and exotic fish species in the Tiber river watershed (Umbria - Italy) and their relationship to the longitudinal gradient. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 382, 19-44. EDP Sciences, Les Ulis Cedex A, France.
- Ludovisi, A., Gaino, E., Bellezza, M., Casadei, S. (2013). Impact of climate change on the hydrology of the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy): history, forecasting and management. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 16, 190-197. Taylor & Francis. Informa Ltd, London, United Kingdom.
- Lydeard, C., Cowie, R.H., Ponder, W.F., Bogan, A.E., Bouchet, P., Clark, S.A., Cummings, K.S., Frest, T.J., Gargominy, O., Herbert, D.G., Hershler, R., Perez, K.E., Roth, B., Seddon, M., Strong, E.E., Thompson, F.G. (2004). The global decline of non marine mollusks. *BioScience* 54, 4, 321-330. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- Magni, P., Tagliapietra, D. Lardicci, C., Balthis, L., Castelli, A., Como, S., Frangipane, G., Giordani, G., Hyland, J., Maltagliati, F., Pessa, G., Rismondo, A., Tataranni, M., Tomassetti, P., Viaroli, P. (2009). Animal-sediment relationships: Evaluating the 'Pearson-Rosenberg paradigm' in Mediterranean coastal lagoons. *Marine Pollution Bulletin* 58, 4, 478-486. Elsevier B.V.
- Manca, M., DeMott, W.R. (2009). Response of the invertebrate predator *Bythotrephes* to a climate-linked increase in the duration of a refuge from fish predation. *Limnology and Oceanography* 54, 2506-2512. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO), Canmore, Alberta, Canada.
- Marchetti, R. (ed.) (1993). Problematiche ecologiche del sistema idrografico padano. *Acqua e Aria*, 6-7. BE-MA Editrice s.r.l., Milano.
- Marrone, F., Castelli, G., Naselli-Flores, L. (2009). Sicilian temporary ponds: An overview of the composition of their crustacean biota. In: *International Conference on Mediterranean Temporary Ponds. Proceedings & Abstracts* (Fragai Arguimbau, P., ed.), 111-129. Consell Insular de Menorca., Maó, Menorca. Col leccio ricerca 14.
- McMahon, R.F. (2002). Evolutionary and physiological adaptations of aquatic invasive animals: r-selection versus resistance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59, 1235-1244. Canadian Science Publishing, Ottawa, Canada.
- Mehner, T., Emmrich, M., Kasprzak, P. (2011). Discrete thermal windows cause opposite response of sympatric cold-water fish species to annual temperature variability. *Ecosphere* 2, 104. Ecological Society of America (ESA), Washington, DC.
- Meccalf, J.S., Codd G.A. (2012). Cyanotoxins. In: *Ecology of Cyanobacteria II: Their diversity in space and time* (Whitton, B.A., ed.), 651-675. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Minelli, A. (ed.) (2004). Mountain peat bogs – Relicts of biodiversity in acid waters. *Italian Habitats* 9, 1-156. Italian Ministry of the Environment and Territory Protection / Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio; Friuli

Museum of Natural History / Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine, Italia. Museo Friulano di Storia Naturale, .

Montanari A. (2012). Hydrology of the Po river: looking for changing patterns in river discharge. *Hydrology Earth System Science* 16, 3739-3747. Copernicus Publications, Göttingen, Germany.

Morabito, G., Oggioni, A., Austoni, M. (2012). Resource ratio and human impact: how diatom assemblages in Lake Maggiore responded to oligotrophication and climatic variability. *Hydrobiologia* 698, 47-60. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.

Mosello, R., Ambrosetti, W., Arisci, S., Bettinetti, R., Buzzi, F., Calderoni, C., Carrara, E., De Bernardi, R., Galassi, S., Garibaldi, L., Leoni, B., Manca, M., Marchetto, A., Morabito, G., Oggioni, A., Pagnotta, R., Ricci, D., Rogora, M., Salmaso, N., Simona, M., Tartari, G., Veronesi, M., Volta, P. (2010). Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. In: *Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano"* (Viaroli, P., Puma, F., Ferrari, I., eds.). *Biologia Ambientale* 24, 1, 167-177. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.

Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppsen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., De Meeste, L., Paerl, H., Scheffer, M. (2011) Alled attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters* 1, 101-105. FBA & SIL, Cumbria, LA22 0LP, United Kingdom.

Mura, G., Rossetti, G. (2002). On the rediscovery of *Chirocephalus ruffoi* Cottarelli & Mura, 1984 from temporary pools of the Secchia and Panaro Valleys (Tuscan-Emilian Apennines, Northern Italy). *Crustaceana* 75, 969-977. JISC eCollections, London, United Kingdom. Naldi, M., Pierobon, E., Tornatore, F., Viaroli, P. (2010). Il ruolo degli eventi di piena nella formazione e distribuzione temporale dei carichi di azoto e fosforo nel fiume Po. In: *Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano"* (Viaroli, P., Puma, F., Ferrari, I., eds.). *Biologia Ambientale* 24, 1, 59-69. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.

Nardini, A., Sansoni, G. (eds.) (2006). *La Riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio*. CIRF, Mazzanti editore, Mestre, Italia.

Naselli-Flores, L. (2011). Mediterranean Climate and Eutrophication of Reservoirs: Limnological Skills to Improve Management. In: *Eutrophication: Causes, Consequences and Control* (Ansari, A.A., Sarvajeet, S.G., Lanza, G.R., Rast, W., eds.), 131-142. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.

Naselli-Flores, L., Barone, R. (2005). Water-level fluctuations in Mediterranean reservoirs: setting a dewatering threshold as a management tool to improve water quality. *Hydrobiologia* 548, 85-99. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.

Newcombe, G., House, G., Ho, L., Baker, P., Burch, M. (2010). *Management Strategies for Cyanobacteria (Blue - Green Algae): A Guide for Water Utilities*. Research Report No 74. Water Quality Research Australia Limited (WQRA).. Adelaide, South Australia..

Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A.C., Colijn, F., Dalla Riva, S., Gertz, F., Hansen, J., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Melaku Canu, D., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., Pérez-Ruzafa, A., Schernewski, G., Schubert, H., Seeram, L., Solidoro, C., Viaroli, P., Zaldívar, J.M. (2013) An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.023>. Elsevier B.V.

- Nizzoli, D., Carraro, E., Longhi, D., Viaroli, P. (2010). Effect of organic enrichment and thermal regime on denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) in hypolimnetic sediments of two lowland lakes. *Water Research* 44, 2715- 2724. Elsevier B.V.
- Occhipinti-Ambrogi, A. (2007) Global change and marine communities: alien species and climate change. *Marine Pollution Bulletin* 55, 342-52. Elsevier B.V.
- Padedda, B.M., Pulina, S., Magni, P., Sechi, N., Lugliè, A. (2012). Phytoplankton dynamics in relation to environmental changes in a phytoplankton-dominated Mediterranean lagoon (Cabras Lagoon, Italy). *Advances in Oceanography and Limnology* 3, 147-169. Taylor & Francis. Informa Ltd, London, United Kingdom.
- Parmesan, C., Duarte, C., Poloczanska, E., Richardson, A.J., Singer, M.C. (2011). Overstretching attribution.. *Nature Climate Change* 1, 2-4. Nature Publishing Group (NPG), Macmillan Publishers Limited, New York, NY.
- Parmesan, C., (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic* 37, 637-669. Annual Reviews, Palo Alto, California.
- Pierobon, E., Bolpagni, R., Bartoli, M., Viaroli, P. (2010). Net primary production and seasonal CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in a *Trapa natans* L. meadow. *Journal of Limnology* 69, 225-234. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Poff, N.L., Zimmerman, J.K.H. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55, 194-205. John Wiley & Sons, Inc.
- Pompei, L., Carosi, A., Pedicillo, G., Rocchini, M., Lorenzoni, M. (2011). Age and growth analysis of the chub, *Squalius squalus* (Bonaparte, 1837), in the Assino Creek (Umbria, Italy). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 400, 1-11. EDP Sciences, Les Ulis Cedex A, France.
- Purkayastha, J., Kumar Gogoi, H., Singh, L. (2010). Plant-Cyanobacteria interactions: phytotoxicity of cyanotoxins. *Journal of Phytology* 2, 7-15. KRFD Society(R), Humnabad, India.
- Ribaudo, C., Bartoli, M., Racchetti, E., Longhi, D., Viaroli, P. (2011). Seasonal fluxes of O<sub>2</sub>, DIC and CH<sub>4</sub> in sediments with *Vallisneria spiralis*: indications for radial oxygen loss. *Aquatic Botany* 94, 134-142. Elsevier B.V.
- Rinaldi, M., Surian, N., Pellegrini, L., Maraga, F., Turitto, O. (2010). Attuali conoscenze sull'evoluzione recente di corsi d'acqua del Bacino Padano ed implicazioni per la gestione e riqualificazione fluviale. In: Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano" (Viaroli, P., Puma, F., Ferrari, I., eds.). *Biologia Ambientale* 24, 1, 29-40. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.
- Rogora, M., Mosello, R., Arisci, S. (2003). The effect of climate warming on the hydrochemistry of alpine lakes. *Water, Air, and Soil Pollution* 148, 1-4, 347-361. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.
- Rossetti, G., Ferrari, I., Marchetto, A., Monica, C., Mosello, R., Rogora, M., Viaroli, P. (2010). Ricerche ecologiche in laghi d'alta quota del bacino padano. In: Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano" (Viaroli, P., Puma, F., Ferrari, I., eds.). *Biologia Ambientale* 24, 1, 179-186. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.
- Rossetti, G., Viaroli, P., Ferrari, I. (2009). Role of abiotic and biotic factors in structuring the metazoan plankton community in a lowland river. *River Research and Applications* 25, 814-835. John Wiley & Sons, Inc.
- Rossi, L., Costantini, M.L., Carlino, P., di Lascio, A., Rossi, D. (2010). Autochthonous and allochthonous plant contributions to coastal benthic detritus deposits: A dual-stable isotope study in a volcanic lake. *Freshwater Biology* 55, 2281-2295. John Wiley & Sons, Inc.

- Rossi, D., Veltri, R. (2007). Come abbiamo fronteggiato l'emergenza idrica. *Adige-Etsch* 1, 15-19. Autorità di Bacino del Fiume Adige, Trento.
- Salmaso, N. (2012). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of a deep lake south of the Alps. *Climate Research* 51, 125-133. Inter-Research, Oldendorf/Luhe, Germany.
- Salmaso, N., Buzzi, F., Garibaldi, L., Morabito, G., Simona, M. (2012). Effects of nutrient availability and temperature on phytoplankton development: A case study from large lakes south of the Alps. *Aquatic Sciences* 74, 555-570. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Salmaso, N., Mosello, R. (2010). Limnological research in the deep southern subalpine lakes: synthesis, directions and perspectives. *Advances in Oceanography and Limnology* 1, 29-66. Taylor & Francis. Informa Ltd, London, United Kingdom.
- Salmaso, N., Zignin, A., Centis, B., Maiolini, B., Bruno, M.C., Sartori, P., Zambiasi, M., Angheben, R., Dell'Acqua, N. (2010). Caratteristiche ecologiche del fiume Adige lungo gradienti longitudinali: effetti della regimazione idrologica. In: *Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano"* (Viaroli, P., Puma, F., Ferrari, I., eds.). *Biologia Ambientale* 24, 1, 197-213. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.
- Schindler, D.W. (2001). The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58, 18-29. Canadian Science Publishing, Ottawa, Canada.
- Sechi, N., Lugliè, A. (1996). Phytoplankton in Sardinia reservoirs. *Giornale Botanico Italiano* 130, 977-994. Taylor & Francis. Informa Ltd, London, United Kingdom.
- Sechi, N., Vacca, S. (1993). The eutrophication of the reservoirs in the Flumendosa district (Sardinia, Italy). In: *Proceeding of 5<sup>th</sup> International Conference on the Conservation and Management of Lakes. Strategies for lakes ecosystems beyond 2000*. Stresa, 17-21 May 1993 (Giussani, G., Callieri, C., eds.), 184-187. Tipografia Griggi GM, Baveno, Novara.
- Sotton, B., Guillard, J., Anneville, O., Maréchal, M., Savichtcheva, O., Domaizon, I. (2014). Trophic transfer of microcystins through the lake pelagic food web: evidence for the role of zooplankton as a vector in fish contamination. *Science of the Total Environment* 466-467, 152-163. Elsevier B.V.
- Spitale, D., Scalfi, A., Cantonati, M. (2012). Niche partitioning, shape of species response, and diversity in the phytobenthos across the rocky shoreline of a large peri-Alpine lake. *Journal of Great Lakes Research* 38, 620-627. Elsevier B.V.
- Stoch, F. (ed.) (2005). Pools, ponds and marshland: small water bodies, oases of biodiversity. *Italian Habitats*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e Museo Friulano di Storia Naturale 11, 1-158. Museo Friulano di Storia Naturale, Udine, Italia.
- Strayer, D.L., Caraco, N.F., Cole, J.F., Findlay, S., Pace, M.L. (1999). Transformation of freshwater ecosystems by bivalves: a case study of zebra mussels in the Hudson River. *BioScience* 49, 19-27. American Institute of Biological Sciences (AIBS), Reston, Virginia.
- Tagliapietra, D., Aloui-Bejaoui, N., Bellafiore, D., de Wit, R., Ferrarin, C., Gamito, S., Lasserre, P., Magni, P., Mistri, M., Perez-Ruzafa, A., Pranovi, F., Reizopoulou, S., Rilov, G., Solidoro, C., Tunberg, B., Valiela, I., Viaroli, P. (2012a). The Ecological Implications of Climate Change on the Lagoon of Venice. UNESCO Technical Report, UNESCO-ROSTE, Venezia, Italia..
- Tagliapietra, D., Sigovini, M., Magni, P. (2012b). Saprobity: a unified view of benthic succession models for coastal lagoons. *Hydrobiologia* 686, 15-28. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.

Tagliapietra, D., Volpi Ghirardini, A. (2006). Notes on coastal lagoon typology in the light of the EU Water Framework Directive: Italy as a case study. *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystems* 16, 457-467. John Wiley & Sons, Ltd.

Tierno de Figueroa, J.M., López-Rodríguez, M.J., Fenoglio, S., Sánchez-Castillo, P., Fochetti, R. (2013). Freshwater biodiversity in the rivers of the Mediterranean Basin. *Hydrobiologia* 719, 137-186. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.

Viaroli, P. (2013). Cambiamenti globali e pressioni locali: tendenze evolutive e problemi inediti negli ecosistemi delle acque interne. *Biologia Ambientale*, 27, 2, 45-53. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.

Viaroli, P., Azzoni, R., Bartoli, M., Giordani, G., Naldi, M., Nizzoli, D. (2010b). Primary productivity, biogeochemical buffers and factors controlling trophic status and ecosystem processes in Mediterranean coastal lagoons: a synthesis". *Advances in Oceanography and Limnology* 1, 271-293. Taylor & Francis. Informa Ltd, London, United Kingdom.

Viaroli, P., Puma, F., Ferrari, I. (eds.) (2010a). Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze ecologiche sul bacino idrografico padano". *Biologia Ambientale* 24, 1, 366. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia.

Visconti, A., Manca, M., de Bernardi, R. (2008). Eutrophication-like response to climate warming: an analysis of Lago Maggiore (N. Italy) zooplankton in contrasting years. *Journal of Limnology* 67, 87-92. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Volta, P., Jepsen, N. (2008). The recent invasion of roach (Pisces: Cyprinidae) in a large South-Alpine Lake. *Journal of Limnology* 67, 163-170. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Volta, P., Tremolada, P., Neri, M.C., Giussani, G., Galassi, S. (2009). Age-Dependent Bioaccumulation of Organochlorine Compounds in Fish and their Selective Biotransformation in Top Predators from Lake Maggiore (Italy). *Water, Air, and Soil Pollution* 197, 1-4, 193-209. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.

Zanchettin, D., Traverso, P., Tomasino, M. (2008). Po river discharges: a preliminary analysis of 200 years time series. *Climate Change* 89, 411-433. Springer International Publishing AG Cham (ZG), Switzerland.

Zecca, A., Chiari, L. (2012). Lower bounds to future sea-level rise. *Global and Planetary Change* 98-99, 1-5. Elsevier B.V.

# Salute

## Sintesi

Da oltre un ventennio sono sempre più crescenti le evidenze scientifiche sugli effetti dei cambiamenti climatici sulla salute nonché sulla comprensione dei meccanismi diretti e indiretti attraverso i quali si realizzano. La loro conoscenza è parte integrante di Rapporti e documenti istituzionali prodotti a livello nazionale, europeo e internazionale<sup>129</sup> sia nell'ambito dell'attuazione di politiche di mitigazione (misure per la riduzione delle emissioni) che di strategie d'adattamento (misure per la riduzione di rischi e impatti avversi). In Italia, fatta eccezione per la rete di sorveglianza degli eccessi di mortalità per ondate di calore, è tuttora assente un sistema informativo istituzionale che consenta, con criteri condivisi, la conoscenza puntuale di decessi, popolazione colpita, morbilità, patologie psichiche e fisiche post traumatiche e danni socio-economici associati agli eventi meteorologici estremi.

Pur ancora in assenza di una base informativa adeguata e di una valutazione nazionale sistematica degli impatti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici su salute, benessere e sicurezza della popolazione è comunque ormai largamente condiviso che, anche in Italia, sono già in atto i nuovi scenari di rischio influenzati da determinanti ambientali e meteo climatici come già evidenziato nel primo Rapporto Nazionale sul tema (APAT/OMS, 2007)

Al verificarsi di condizioni di rischio di danni diretti a causa di ondate di calore e di gelo, dell'aumento di incendi boschivi e, non in ultimo, ai sempre più frequenti eventi meteorologici avversi come alluvioni, piogge intense, frane, valanghe, inondazioni costiere, trombe d'aria, vanno a sommarsi altri rischi di rilevanza sanitaria, ovvero quelli mediati dagli impatti dei fattori meteorologici su ecosistemi, biodiversità, acque potabili e di balneazione, suolo, aria outdoor e indoor.

Tali determinanti ambientali e meteorologici:

1. Influenzano il rischio di malattie trasmissibili clima-sensibili quali quelle trasmesse da insetti vettori (emergenti e riemergenti), tossinfezioni alimentari e malattie trasmesse con l'acqua.

**Malattie trasmesse da vettori.** Nonostante la presenza di vettori sia influenzata da complessi fattori ecologici e socio-economici (maggiore mobilità intercontinentale di uomini, merci incluse piante esotiche), il clima favorisce il loro insediamento in regioni geografiche storicamente indenni aumentando il rischio di trasmissione di agenti patogeni nell'uomo e negli animali. Negli ultimi

---

<sup>129</sup> Ministero della Salute, APAT/ISPRA, Agenzia Europea per l'Ambiente, Regione Europea dell'OMS, Strategia Europea per l'adattamento, IPCC, UNFCCC, UNEP, FAO.

anni anche in Italia, come in Europa, si è assistito all'espansione della distribuzione geografica di molte specie di artropodi favorita, con modalità diverse per specifici vettori, da variabili meteo climatiche come l'innalzamento di temperature medie e umidità o le piogge intense (APAT/OMS, 2007; Romi et al., 2010; ECDC, 2010). I fattori climatici quindi possono favorire l'estensione di vettori ormai ubiquitari come la Zanzara tigre a quote più elevate (potenziale aumento di casi) o lo spostamento verso latitudini più settentrionali dei vettori di malattie già considerate endemiche (ad es. flebotomo vettore della leishmania) e quindi la comparsa di casi in aree generalmente esenti o, in ultimo, favorire l'introduzione di virus "esotici". Negli ultimi anni si è assistito all'aumento della segnalazione di casi umani importati ed autoctoni di alcune arbovirosi trasmesse da zanzare infette per le quali dal 2002 il Ministero della Salute ha emanato specifiche indicazioni per la sorveglianza epidemiologica umana e veterinaria.<sup>130</sup> Queste malattie virali erano storicamente tipiche di aree asiatiche e africane tra cui la Dengue, la febbre Chikungunya<sup>131</sup> e la malattia da virus West Nile (WN). Di quest'ultima zoonosi, considerata come riemergente<sup>132</sup>, che si manifesta in uomini e cavalli, ma che riconosce in altre specie animali il proprio serbatoio, dal 2008 si registrano ogni anno casi positivi umani e veterinari. L'interesse sanitario per la WN è sia per il rischio di forme cliniche gravi, se non fatali, che per il rischio, pur se raro, di trasmissione interumana dell'infezione virale attraverso emotrasfusioni e trapianti di organo (Semenza & Domanović, 2013). Tra le malattie trasmesse da vettori studi recenti hanno anche indagato il rischio di reintroduzione della malaria (Romi et al., 2012a, 2012b), attualmente considerato basso nel nostro Paese ma che richiede comunque un adeguato monitoraggio specie nelle aree più a rischio e, come per gli altri vettori, infrastrutture laboratoristiche e personale qualificato. Anche altri vettori come le zecche sono in espansione sia in Europa che in Italia, la *Ixodes ricinus* c.d. zecca dei boschi e *Ixodes persulcatus*, che operano sia come vettori che come serbatoi del virus TBE (*Tick Borne Encephalitis*- o meningoencefalite da zecche) e della *Borrelia burgdorferi* s.l., l'agente della malattia di Lyme o borreliosi (APAT/OMS, 2007; ECDC, 2012a). L'incremento medio della temperatura atmosferica potrebbe essere in grado di favorire la diffusione della leishmania nell'uomo e negli animali e delle altre malattie trasmesse da flebotomi (Maroli et al., 2012) causate da diverse specie di protozoi del genere *Leishmania* e trasmesse dalle punture di moscerini flebotomi (sandfly). Programmi di sorveglianza epidemiologica negli animali sono presenti solo in alcune Regioni. Tra le azioni previste per il monitoraggio dell'implementazione della Strategia Nazionale della Biodiversità del Ministero dell'ambiente del 2010 è stato affidato di recente ad ISPRA (2013) il compito di sviluppare indicatori per l'analisi dell'influenza dei cambiamenti climatici sulla distribuzione di vettori patogeni.

**Qualità delle acque potabili e di balneazione e aumento del rischio di patologie idrotrasmesse.**  
L'Italia non è esente da rischi di malattie idrotrasmesse. Anomalie termiche ed eventi meteorologici avversi più frequenti ne amplificano il rischio (Funari et al., 2012; Manganelli et al.,

---

<sup>130</sup> Ultimo aggiornamento Circolare del Ministero della Salute del 14/6/2013.

<sup>131</sup> L'Italia ha "ospitato" nel 2007 la prima epidemia umana da virus Chikungunya del continente europeo e, nel 2009, primo caso umano nel mondo di malattia virale neuro invasiva da Usutu virus (Pecorari et al., 2009) entrambe trasmesse da zanzare.

<sup>132</sup> Ricompare dieci anni dopo la prima segnalazione di casi nei cavalli nel 1998.

2012). Pur in assenza di un sistema nazionale di sorveglianza di malattie trasmesse con l'acqua molte evidenze indicano il ruolo del dilavamento contaminato negli eventi estremi, degli effetti di alte temperature e dell'impatto fisico sulle infrastrutture di distribuzione e trattamento delle acque sulla qualità di acque di balneazione, superficiali e sulla prestazione dei servizi idrici. Le gastroenteriti e l'epatite A rappresentano le malattie più frequenti. Negli ultimi anni nella quasi totalità delle Regioni italiane sono state evidenziate criticità correlate allo sviluppo di cianobatteri produttori di tossine neuro- ed epatotossiche in invasi naturali e artificiali utilizzati per la fornitura di acque potabili (Lucentini et al., 2011a, 2011b). Temperature più elevate dell'acqua marina hanno facilitato la migrazione e lo stanziamento di specie di alghe tossiche per l'uomo in molte coste italiane con ulteriore aggravio finanziario e operativo per il monitoraggio ambientale.

**Aumento dell'incidenza di malattie a trasmissione alimentare (MTA).** La contaminazione degli alimenti e di acque a seguito di eventi alluvionali, l'esposizione degli alimenti a temperature più elevate in tutta la filiera di conservazione, distribuzione e stoccaggio, comportamenti sociali come l'uso di ristorazione pubblica e collettiva più frequente specie nei mesi caldi (quelli a maggior rischio), l'uso di buffet con cibo esposto a temperature ambiente, sono tutti fattori di rischio che, contribuiscono all'aumento dell'incidenza di malattie a trasmissione alimentari che richiedono interventi mirati di monitoraggio, sorveglianza e informazione. I sei microrganismi riconosciuti come agenti patogeni più frequenti: *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Listeria*, *Norovirus*, *Salmonella* e *Vibrio non colerico* mostrano sensibilità specifiche per variabili climatiche (ECDC, 2012). Un'associazione statistica tra malattie e cambiamenti delle temperature a breve termine, suggerisce anche che le malattie veicolate dagli alimenti saranno influenzate dai cambiamenti a lungo termine del clima (Hall et al., 2002). In Emilia-Romagna si è registrato negli ultimi anni un aumento di casi in cui i prodotti della pesca sono risultati causa pressoché unica di "intossicazione" alimentare (biotossina algale e sgombrotossina) (Regione Emilia-Romagna, 2012).

2. Amplificano, anche tramite meccanismi sinergici con inquinamento, l'aumento del rischio di malattie già riconosciute come associate a fattori di rischio ambientali come asma e allergie respiratorie, malattie cardiovascolari e respiratorie

**Qualità aria outdoor e indoor: allergie, asma e malattie cardiorespiratorie.** Temperature medie più alte, correnti transfrontaliere e altre variabili meteorologiche sono causa di aumento di numero, specie (nuove e infestanti), distribuzione temporale (anticipo fioriture) e geografica di allergeni influenzando la durata stagionale delle allergie e il rischio di nuove sensibilizzazioni tra la popolazione allergica. Le tempeste "polliniche nelle giornate ventose e le sinergie con gli inquinanti atmosferici ( $O_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_x$ ) concorrono all'aumento del numero di crisi asmatiche/allergiche specie nelle aree urbane. Il cambiamento climatico può anche influenzare la qualità dell'aria a livello locale e regionale attraverso modifiche delle velocità delle reazioni chimiche in atmosfera, delle altezze degli strati di rimescolamento degli inquinanti, e modifiche nelle caratteristiche dei flussi d'aria che regolano il trasporto d'inquinanti. Vari studi confermano l'associazione tra l'aumento dei ricoveri ospedalieri per malattie cardiovascolari e ictus nelle ondate di calore e un effetto sinergico per malattie cardiorespiratorie tra le concentrazioni tossiche d'inquinanti atmosferici ( $O_3$ ,  $PM_{10}$ ) e temperatura.

*La qualità dell'aria indoor*, dove passiamo la gran parte del nostro tempo, non è esente da influenze collegate ai cambiamenti climatici attraverso vari meccanismi: danni diretti sugli edifici negli eventi estremi, l'aumento indoor di umidità, temperature e concentrazioni di allergeni e ozono troposferico, ventilazione alterata. Queste nel loro insieme sono tutte variabili che incidono sull'inquinamento biologico (muffe, funghi, acari) e chimico (VOC, CO<sub>2</sub>) oltre che sul comfort microclimatico, ovvero sui fattori individuati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS, World Health Organization – WMO) come determinanti indoor di salute (WHO Europe 2009; 2010).

3. Influiscono sulle pratiche agricole aumentando il rischio di esposizione a contaminanti chimici negli alimenti e per i lavoratori addetti; pregiudicano la produzione, la sicurezza e la qualità nutrizionale di alimenti fondamentali.

L'aumento clima sensibile della distribuzione geografica ed insediamento di nuove specie infestanti delle piante possono comportare un aumento dell'uso di fitosanitari e pesticidi influenzando il rischio di esposizione sia dei consumatori a livelli non accettabili di residui chimici che dei professionalmente esposti. In aggiunta alterati pattern ed intensità della piovosità possono condurre ad un alterato trasporto dei pesticidi nell'ambiente contaminando aree destinate a colture biologiche di alimenti. Inoltre l'aumento delle temperature può favorire alcune malattie anche negli animali d'allevamento, incluse le piscicoltura con necessità di maggior uso di antibiotici e/o altri farmaci veterinari con accumulo nell'ambiente e nei prodotti derivati.

In generale i cambiamenti climatici incidono su tutti i fattori fondamentali per la sicurezza alimentare intesa secondo la più ampia definizione introdotta dalla FAO.<sup>133</sup> assenza di contaminanti abiotici (pesticidi, metalli pesanti) e biotici (virus, batteri, muffe e tossine biologiche) (Tirado et al., 2010), produzione e accessibilità agli alimenti ma anche sulla qualità nutrizionale dell'alimento, quali ad esempio un ottimale contenuto di proteine, carboidrati, vitamine e sali minerali come dimostrato da studi recenti. Livelli elevati di CO<sub>2</sub> producono numerosi cambiamenti fisiologici nelle coltivazioni di riso, come cambiamenti nella fotosintesi, l'assorbimento e trasporto nella pianta dei nutrienti, l'espressione genica e l'attività enzimatica (Wanga et al., 2011). La produzione totale di riso integrale, la resa in proteine e la resa in ferro sono influenzati negativamente anche dall'ozono (Frei et al., 2012). Uno dei primi esperimenti che combinano la temperatura e le precipitazioni ha mostrato che la temperatura elevata penalizza la qualità dei grani di orzo più severamente rispetto ai cambiamenti nelle precipitazioni. Le concentrazioni totali di carboidrati non strutturali, amido, fruttosio e raffinosisio erano inferiori in piante coltivate ad alte temperature. Le precipitazioni hanno influenzato solo marginalmente i chicchi d'orzo: la riduzione ha aumentato le concentrazioni di diversi minerali (sodio, rame) e amminoacidi (leucina) (Högy et al., 2013).

---

<sup>133</sup> "Food security exists when all people, at all times, have physical, social and economic access to sufficient, safe and nutritious food which meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life."

**Produzione alimentare.** Gli effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura comprendono variazioni nella stagionalità delle colture, modifiche alle aree idonee per l'agricoltura e ai pascoli di bestiame, e variazioni nelle parassitosi delle piante (es. muffe, funghi e patogeni). L'insorgenza di patologie e micosi delle coltivazioni contribuiscono alla riduzione della disponibilità di alcuni alimenti e, quindi, potenzialmente influenzano la sicurezza della produzione alimentare a livello globale (riduzione delle scorte) e locale (effetti su mercati e sicurezza nutrizionale). Oltre al sistema agricolo anche la produzione ittica e la produzione di bestiame sono vulnerabili ai cambiamenti climatici. La perdita di produttività è uno dei costi sociali principali così come il conseguente aumento dei prezzi dei generi alimentari o dei mangimi a causa della variabilità delle scorte alimentari e influenza i consumi e pattern nutrizionali.

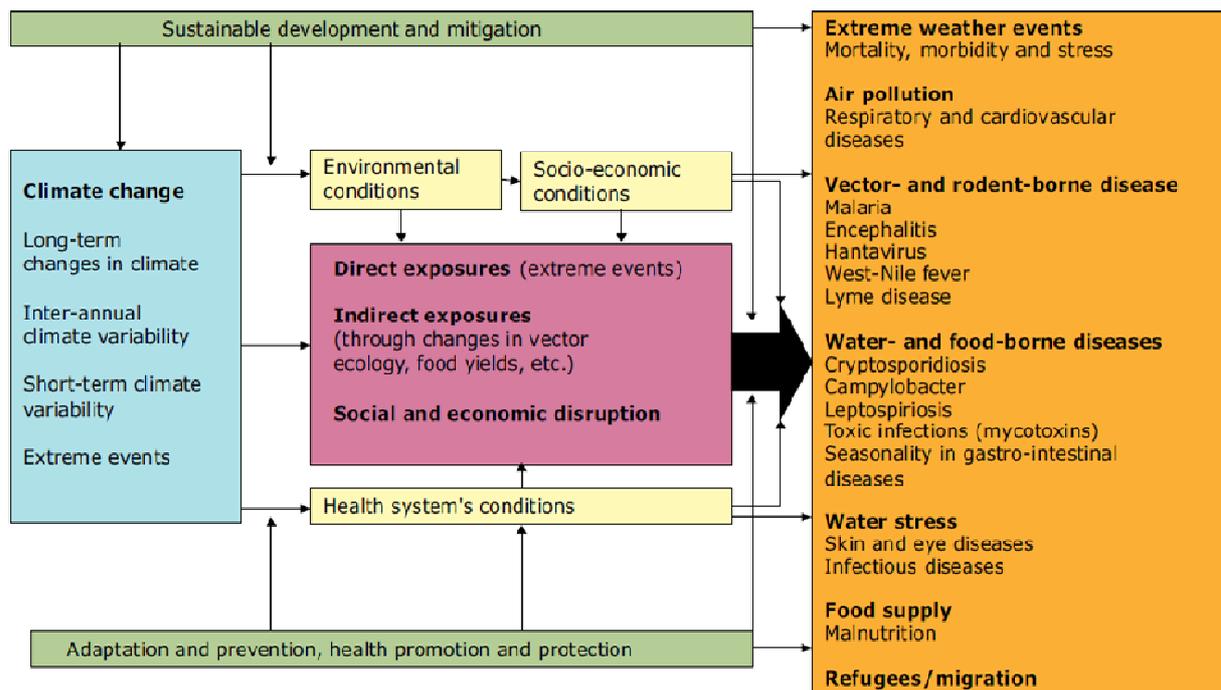
**Tra i danni diretti associati ai cambiamenti climatici** vanno annoverati non solo gli effetti da ondate di calore e di gelo, da ma anche quelli conseguenti all'aumento degli incendi boschivi, ad una maggiore esposizione a radiazioni UV (favorita anche da maggior tempo speso all'aperto per le temperature più miti) nonché agli eventi meteorologici avversi come alluvioni, frane, valanghe, inondazioni costiere, trombe d'aria. Di quest'ultimi, nonostante il loro visibile aumento nel nostro Paese, specie negli ultimi anni, non si dispone ad oggi di un'informazione sistematica dei loro impatti. Le stime vengono operate sulla base di più fonti, per periodi temporali difformi e in assenza di criteri di selezione e raccolta dei dati. Le poche informazioni disponibili su vulnerabilità idrogeologiche e impatti comunque configurano un quadro di rischio socioeconomico: nelle aree classificate come ad alto rischio di frane e alluvioni è stata stimata la presenza di oltre 1 milione gli edifici ad uso prevalentemente residenziale, 6.251 scolastici e 547 strutture ospedaliere. Tra gli insediamenti non residenziali i capannoni a uso produttivo sono circa trentaquattromila e circa ventiquattromila quelli commerciali (ANCE/CRESME, 2012). Per l'anno 2011 i dati ISPRA registrano 91 episodi franosi con 39 vittime e danni stimati di oltre 1,60 miliardi di Euro. Per danni da eventi meteorologici avversi la Protezione Civile nel biennio gennaio 2009-gennaio 2011 ha stanziato, per soli interventi urgenti, fondi per oltre 1,3 miliardi di Euro. L'analisi di fonti varie (elaborazione CRESME) stima che tra il 2002 e il 2012 gli eventi di dissesto che hanno provocato danni diretti alla popolazione (con vittime, feriti e sfollati) hanno provocato circa 290 morti (128 dovuti alle alluvioni e 165 alle frane). Stress acuto e ansia negli eventi climatici estremi possono essere causa d'infarti e cardiopatie stress correlate. Tra gli effetti di eventi disastrosi va anche menzionata l'insorgenza di disturbi psichici (disturbo post traumatico da stress) di durata variabile (Stanke et al., 2012).

*Gli eccessi di mortalità per ondate di calore* in Italia sono diminuiti quale effetto positivo delle politiche di allarme, sorveglianza, prevenzione e comunicazione istituite e implementate dal Ministero della Salute a seguito degli eventi dell'estate del 2003. Questo emerge dal confronto dei dati relativi all'estate 2003 e del 2012. L'efficacia delle misure di prevenzione è stato anche dimostrato da un recente studio condotto in 16 città italiane che mette a confronto due periodi: "pre" e "post" attivazione del piano di prevenzione nazionale. Rimane comunque alta l'attenzione per l'insorgenza di patologie psichiche e fisiche associate alle ondate di calore causa di un aumento degli accessi al Pronto Soccorso nelle stagioni calde specie per soggetti suscettibili,

anziani e bambini di 0-4 anni. Non solo le caratteristiche delle ondate di calore ma anche la densità delle aree urbane, la disponibilità di verde urbano e l'inquinamento atmosferico sono fattori incidenti sugli eccessi di mortalità e morbilità. Non è sufficientemente diffuso l'uso di materiali e tecnologie nell'edilizia e nell'infrastrutture stradali urbane per la mitigazione dell'effetto da isole di calore urbano (da +2 a +6°C rispetto alle aree rurali). Oltre ad anziani, bambini e individui suscettibili tra i gruppi vulnerabili vanno anche annoverati i lavoratori outdoor, fasce di popolazione in condizioni socio economiche svantaggiate, residenti in aree urbane, e a rischio idrogeologico.

## Introduzione

Sono sempre più crescenti le evidenze scientifiche sugli effetti dei cambiamenti climatici sulla salute, sulla comprensione dei meccanismi diretti e indiretti attraverso i quali si realizzano e delle connessioni con le politiche climatiche, di sostenibilità e di prevenzione ambientale e sanitaria come riassunto nella Figura 1.10.



Source: Wolf, 2011, adapted from Confalonieri et al., 2007.

Figura 1.10: Impatti e rischi per la salute da cambiamenti climatici: il quadro d'insieme (Fonte: EEA, 2012).

In coerenza con l'art.152 del vigente Trattato Europeo<sup>134</sup> ed in risposta a tali evidenze il Libro Bianco dell'UE sull'adattamento ai cambiamenti climatici del 2009, e la successiva Strategia Europea dell'aprile 2013, esortano un approccio integrato multidisciplinare per la gestione dei rischi per la popolazione che non riguardi esclusivamente il potenziamento specifico di sistemi di risposta alle emergenze e servizi sanitari, ma anche altri settori strategici per un'efficace mitigazione dei rischi e delle vulnerabilità. Un approccio che vuole essere propedeutico anche all'inclusione futura delle valutazioni socio-sanitarie nelle opzioni e misure di adattamento settoriali, nell'analisi della coerenza e/o dei potenziali conflitti tra le diverse politiche connesse alle strategie d'adattamento e dei risultanti co-benefici ambientali e sanitari

Ciò premesso in questo lavoro sono state privilegiate le aree d'adattamento d'interesse prevalente per le politiche ambientali e territoriali. E' indiscutibile, infatti, il loro ruolo, attraverso le politiche di tutela della qualità delle risorse naturali e del territorio, nella prevenzione di malattie e rischi di rilevanza sanitaria la cui realizzazione è mediata dagli impatti dei fattori meteorologici su ecosistemi, biodiversità, acque potabili e di balneazione, suolo, aria outdoor e indoor. I fattori meteo-climatici infatti agiscono, nella maggioranza dei casi, come amplificatori, se non in sinergia, di vulnerabilità territoriali (rischio idrogeologico) e pressioni ambientali preesistenti, come l'inquinamento chimico e biologico di aria e acqua o le alterazioni della biodiversità. Tutti questi fattori, nel loro complesso, modulano la realizzazione e le caratteristiche di gravità di impatti e rischi per la salute. L'adozione di misure di adattamento che integrino anche la prevenzione dei nuovi rischi per salute, benessere e sicurezza della popolazione è quindi un'opportunità per un "sano" sviluppo sostenibile climate-proof.

## **Cambiamenti climatici e malattie trasmissibili**

L'aumento della temperatura della superficie terrestre e dell'acqua, la frequenza e durata delle ondate di calore, la contaminazione di acque interne e costiere conseguenti ai più frequenti eventi meteorologici avversi sono tutte variabili che, con meccanismi diversi, contribuiscono a delineare scenari di rischio di un aumento della prevalenza e dell'incidenza di malattie infettive trasmesse da insetti vettori biologici infetti, acque e cibo contaminati (ECDC, 2010). La vulnerabilità dei sistemi di prevenzione e di early-warning (come per esempio il controllo e monitoraggio dei vettori patogeni o l'efficienza dei sistemi di depurazione dell'acqua e dei servizi idrici in generale) incidono sulla frequenza e gravità di tali rischi e la loro analisi dovrà far parte di una strategia d'adattamento.

---

<sup>134</sup> Articolo 152 (ex articolo 129) "Nella definizione e nell'attuazione di tutte le politiche ed attività della Comunità è garantito un livello elevato di protezione della salute umana. L'azione della Comunità che completa le politiche nazionali, si indirizza al miglioramento della sanità pubblica, alla prevenzione delle malattie e affezioni e all'eliminazione delle fonti di pericolo per la salute umana. Tale azione comprende la lotta contro i grandi flagelli, favorendo la ricerca sulle loro cause, la loro propagazione e la loro prevenzione, nonché l'informazione e l'educazione in materia sanitaria..."

I dati a disposizione, riassunti nei paragrafi che seguono, pur se limitati (specie per le malattie idrotrasmesse in assenza di un sistema di sorveglianza specifico), ci consentono di concludere che l'Italia non è esente da tali vulnerabilità e scenari di rischio.

### *Malattie infettive trasmesse da vettori*

Le malattie trasmissibili infettive di origine non alimentare, o malattie trasmesse da vettori (Vector Borne Diseases – VBD), mostrano una spiccata sensibilità alle variabili meteo climatiche (ECDC, 2010) e hanno richiesto l'adattamento di sistemi di sorveglianza sanitaria in molti Paesi europei. Di particolare interesse per l'Italia sono le malattie da vettore trasmesse attivamente tra uomo e animali da artropodi (insetti e acari) che agiscono come *vettori biologici*<sup>135</sup>, ovvero vettori al cui interno l'agente patogeno (virus) si moltiplica oppure compie una parte importante del proprio ciclo vitale. I vettori biologici sono ematofagi e possono infettarsi su un ospite animale e poi, successivamente, trasmettere il patogeno all'uomo durante il pasto di sangue. I vettori d'interesse sanitario in Italia sono le zanzare, i flebotomi e le zecche che, oltre ai disturbi determinati da punture e morsi, possono quindi potenzialmente veicolare anche agenti virali che negli ultimi anni hanno richiesto interventi normativi di livello nazionale (Ministero della Salute) e regionale.<sup>136</sup>

Nonostante la distribuzione dei vettori possa essere influenzata da fattori ecologici e socio-economici (mobilità intercontinentale umana e commerciale), il clima favorisce il loro insediamento in regioni geografiche storicamente indenni e la potenzialità della trasmissione di patogeni. Gli insetti vettori sono infatti organismi ectotermici, non in grado di regolare la propria temperatura e quindi particolarmente sensibili alla temperatura esterna. Di conseguenza il loro ciclo biologico è strettamente regolato da fattori esterni (temperatura/umidità). Anche gli agenti infettivi, come i loro vettori sono tipicamente sensibili alle condizioni ambientali in termini di sopravvivenza, riproduzione e moltiplicazione esponenziale del patogeno. La sensibilità alle temperature ambientali spiega i limiti della loro storica distribuzione geografica e il cambiamento della loro distribuzione sul continente europeo per motivi climatici.

Le conseguenze derivanti dai cambiamenti climatici sulla diffusione delle malattie infettive trasmesse da vettori implicano diversi fattori (APAT/OMS, 2007):

- ampliamento dell'area di distribuzione dei vettori indigeni;
- riduzione della durata dei cicli di sviluppo dei vettori indigeni;
- riduzione della durata della riproduzione del patogeno nell'artropode;

---

<sup>135</sup> Anche alcune specie di insetti infestanti, comuni negli ambienti antropizzati, quali le mosche e le blatte, possono contribuire alla diffusione di agenti patogeni responsabili di malattie di origine alimentare ma non agiscono come *vettori biologici* ma come *vettori meccanici*, cioè trasportando all'esterno del proprio corpo materia organica infetta di cui si sono imbrattati (zampe e apparato boccale) e contaminando "meccanicamente" cibo e bevande con cui vengono a contatto.

<sup>136</sup> Più recentemente (2013) tra le risposte istituzionali va segnalata anche l'iniziativa del Ministero dell'Ambiente di affidare ad ISPRA il compito di sviluppare indicatori per l'analisi dell'influenza dei cambiamenti climatici sulla distribuzione di vettori potenzialmente patogeni nell'ambito delle attività di monitoraggio dell'implementazione della Strategia Nazionale della Biodiversità del 2010 (MATTM, 2010).

- prolungamento della stagione idonea alla trasmissione degli agenti patogeni;
- importazione ed adattamento di nuovi artropodi vettori;
- importazione ed adattamento di nuovi agenti patogeni attraverso vettori o serbatoi.

I fattori climatici in Italia possono favorire l'estensione di vettori ormai ubiquitari come la zanzara tigre a quote più elevate (potenziale aumento di casi) o lo spostamento verso latitudini più settentrionali dei vettori di malattie già considerate endemiche (ad es. flebotomo vettore della leishmania) e quindi la comparsa di casi in aree generalmente esenti o, in ultimo, favorire l'introduzione di virus "esotici".<sup>137</sup> La possibilità che in Paesi europei si verifichino focolai di VBD dovute a virus esotici è stata dimostrata dall'epidemia di **Chikungunya virus** (Rezza et al., 2007) verificatasi in Emilia-Romagna nel 2007 (250 casi) trasmesso da *Aedes albopictus*<sup>138</sup>, la zanzara tigre, primo esempio in Italia ed Europa di una arbovirosi ad andamento epidemico trasmessa da zanzare. Dopo 20 anni dal suo ingresso in Italia attraverso l'importazione di pneumatici usati (che hanno "accolto" questi insetti nell'acqua stagnante al loro interno) la zanzara tigre è ormai ubiquitaria con una distribuzione prevalentemente stratificata lungo le fasce costiere, nell'interno fino a quote collinari al disotto dei 600 m e al nord è già presente fino alle regioni alpine. Da alcuni anni si sono registrati insediamenti oltre gli 800 m. La zanzara tigre ha rivelato le sue capacità come vettore anche in Paesi europei a clima temperato. Viceversa, la specie potrebbe vedere una riduzione della sua presenza nelle regioni meridionali se l'aumento della temperatura non fosse accompagnato da abbondanti precipitazioni durante i mesi più caldi (Romi et al., 2009; Romi, 2010).

Nel 2011 è stata individuata un'altra specie di importazione simile alla zanzara tigre ma che mostra una maggiore resistenza ai climi più freddi, l'*Aedes koreicus* (o zanzara coreana), probabilmente introdotta in Italia con carichi commerciali (piante ornamentali) provenienti da altri paesi europei già infestati (Belgio). Anche l'*Aedes koreicus* è potenziale vettore di *arbovirus* tropicali e si è saldamente radicata sul territorio a quote pedemontane delle province di Belluno, Treviso e Vicenza (Capelli et al., 2011).

Nell'emisfero occidentale il vettore principale della **dengue** (un'altra arbovirosi umana) è la zanzara *Aedes aegypti* (Toma et al., 2011), anche se si sono registrati casi trasmessi da *Aedes albopictus*. La dengue è conosciuta da oltre due secoli, ed è particolarmente presente durante e dopo la stagione delle piogge nelle zone tropicali e subtropicali di Africa, Sudest asiatico e Cina, India, Medioriente, America latina e centrale, Australia e diverse zone del Pacifico. Risulta endemica in 100 Paesi dei cinque continenti, sono stati stimati tra i 50 e i 100 milioni d'infezioni

---

<sup>137</sup> L'Italia è particolarmente interessata da questo fenomeno, visto che rappresenta una delle propaggini più meridionali del continente europeo e quindi un ponte ideale verso il continente africano.

<sup>138</sup> La presenza di *Aedes albopictus* ad alte densità, potrebbe mascherare l'ingresso di altre specie tropicali, morfologicamente molto simili, come *Aedes aegypti* (con maggiore sensibilità per i climi caldi ma aridi) e *Aedes japonicus*, ancora assenti in Italia, ma già rinvenute in altri paesi Europei (Francia, Olanda) che utilizzano sistemi avanzati di quarantena di merci e sorveglianza attiva.

l'anno di cui 500.000 casi di forma emorragica e 22.000 decessi.<sup>139</sup> Negli ultimi decenni, la diffusione della dengue è aumentata in molte regioni tropicali. Nei paesi dell'emisfero nord, in particolare in Europa, l'incremento è dovuto all'aumentata frequenza di spostamenti di merci e di persone.<sup>140</sup>

Tra le malattie da vettori riemergenti in Italia va segnalata la **febbre del Nilo Occidentale** (West Nile Fever o West Nile Disease - WND), provocata dal virus West Nile isolato per la prima volta nel 1937 in Uganda, nel distretto West Nile da cui appunto prende il nome. I serbatoi del virus sono gli uccelli selvatici e le zanzare (più frequentemente del tipo *Culex*), le cui punture sono il principale mezzo di trasmissione all'uomo. Sono documentati anche casi di trasmissione uomo-uomo, anche se molto più rari, attraverso trapianti di organi e trasfusioni di sangue. Le persone infette mostrano un quadro clinico molto variabile da forme asintomatiche a gravi sintomi neurologici (forma neuroinvasiva) con febbre alta, meningiti, encefaliti fino alla paralisi e al coma. Alcuni effetti neurologici possono essere permanenti. Nei casi più gravi il virus può causare un'encefalite letale. Il virus è diffuso in Africa, Asia occidentale, Europa, Australia e America. Negli Stati Uniti la diffusione del virus è stata estremamente rapida: dopo il primo caso a New York nel 1999, dal 2001 annualmente si sono registrati migliaia di casi (oltre 30.000). Nel solo 2012 secondo il sito dedicato ai casi di West Nile dal CDC statunitense<sup>141</sup> (U.S. CDC, 2012) si sono registrati 5.674 casi di cui 2.873 (51%) forme cliniche neuro invasive. In totale si sono registrati 3.491 pazienti ricoverati (62%) e 286 decessi (5%).

All'interno dell'Unione Europea al 2012, 235 sono i casi confermati di WND (ECDC, 2012), forme neuro invasive e non nell'uomo, e 575 casi registrati nei Paesi limitrofi. In Italia, il primo focolaio di WND si è manifestato nel 1998 in un'area paludoso/boschiva della Toscana (Fucecchio/Cerbaie), sito di nidificazione di uccelli migratori che agiscono da serbatoio del virus, con pochi casi di encefalite equina. Dopo 10 anni di assenza, WND ricompare con alcuni focolai d'infezione nelle regioni del nord-est e mostra un trend crescente estendendosi anche a Emilia-Romagna, Sicilia e Sardegna. Solo nel 2012 sono stati clinicamente confermati 28 casi umani di malattia neuroinvasiva da WND. L'andamento nell'arco dell'anno delle forme più gravi mostra una spiccata associazione con i mesi più caldi.

Le malattie virali trasmesse da zanzare (Chikungunya, Dengue e West Nile) sono state oggetto di specifici interventi normativi da parte del nostro Ministero della Salute negli ultimi dieci anni (vedi casella di approfondimento).

La Sorveglianza Epidemiologica negli ospiti animali e nei vettori è regolamentata dall'Ordinanza del Ministero della Salute 4 agosto 2011 relativa alle norme sanitarie in materia di encefalomielite equina di tipo West Nile e attività di sorveglianza nel territorio (11°11622) (G.U. Serie Generale n.

<sup>139</sup> Dati OMS 2012.

<sup>140</sup> Normalmente la malattia dà luogo a febbre nell'arco di 5-6 giorni dalla puntura di zanzara, con temperature anche molto elevate accompagnata da altri sintomi. La malattia può svilupparsi anche sotto forma di febbre emorragica con emorragie gravi da diverse parti del corpo che possono causare veri e propri collassi e, in casi rari, risultare fatali.

<sup>141</sup> Center for Disease Control and prevention, <http://www.cdc.gov/westnile/>.

209 del 8 settembre 2011). L'Ordinanza è solo l'ultima in ordine temporale di una serie di provvedimenti che sono stati messi in atto a partire dal 1998 anno in cui venne identificata per la prima volta sul territorio nazionale la presenza del virus West Nile. La sorveglianza nei confronti di WND riguarda uccelli stanziali appartenenti a specie bersaglio (o in alternativa allevamenti avicoli rurali o all'aperto), equidi, avifauna migratoria e mortalità negli uccelli selvatici, nonché sorveglianza entomologica. Dal 2008 al 2011 in Italia sono 568 i casi confermati di WND in cavalli (Toma et al., 2008).

Studi più recenti hanno anche investigato il potenziale malariogenico in Italia (Boccolini et al., 2009; Boccolini et al., 2012; Romi et al., 2012a; Romi et al., 2012b; Di Luca et al., 2009). Il rischio è attualmente considerato basso da rendere improbabile, anche se non impossibile, la reintroduzione della malaria in forma endemica. Sporadici e isolati casi di *Plasmodium vivax* (come quello del 1997), insieme a piccole e localizzate epidemie, potrebbero verificarsi in aree rurali del nostro Paese, in cui le condizioni climatiche e la densità del vettore risultano favorevoli. Lo storico vettore *Anopheles labranchiae* risulta presente prevalentemente in Toscana, nord del Lazio, Puglia, Calabria e grandi isole. Un'indagine entomologica effettuata da Istituto Superiore di Sanità e Università della Tuscia nella Maremma toscana e laziale, una delle principali aree a rischio di introduzione o reintroduzione di organismi patogeni, ha confermato l'ipotesi che *Anopheles labranchiae* abbia nuovamente acquisito una distribuzione simile a quella passata, e ha inoltre dimostrato sia un'espansione, a basse densità, verso Nord-Est, in aree in cui non era mai stata rilevata, sia un allungamento del periodo di trasmissione di circa un mese dovuto all'aumento della temperatura media.

### Malattie trasmesse da vettori: principali norme nazionali

#### [CIRCOLARE del Ministero della Salute del 14/06/2013](#)

Sorveglianza dei casi umani delle malattie trasmesse da vettori con particolare riferimento alla Chikungunya, Dengue e West Nile Disease - Aggiornamento 2013

#### [CIRCOLARE del Ministero della Salute del 12/06/2012](#)

Sorveglianza dei casi umani delle malattie trasmesse da vettori con particolare riferimento alla Chikungunya, Dengue e West Nile Disease - Aggiornamento 2012

#### [CIRCOLARE del Ministero della Salute del 15/06/2011](#)

Sorveglianza dei casi umani delle malattie trasmesse da vettori con particolare riferimento alla Chikungunya, Dengue e West Nile Disease - Aggiornamento 2011

#### [CIRCOLARE del Ministero della Salute del 21/07/2010](#)

Sorveglianza della Malattia di West Nile in Italia - 2010

#### [NOTA del Ministero della Salute del 21/07/2010](#)

Sorveglianza della Malattia di West Nile in Italia - 2010: nota esplicativa alla circolare DGPREV 33197-P-21/07/2010

#### [DECRETO del Ministero della Salute del 29/11/2007](#)

Approvazione del Piano di sorveglianza nazionale per la encefalomielite di tipo West Nile

#### [CIRCOLARE del Ministero della Salute del 04/08/2006](#)

Sorveglianza della Chikungunya

#### [CIRCOLARE del Ministero della Salute del 18/09/2002](#)

Sorveglianza delle infezioni veterinarie e umane da virus West Nile in Italia

**Ordinanza del Ministro della Salute del 4/4/2002**, che rende obbligatoria sul territorio nazionale l'esecuzione di un Piano di sorveglianza per le infezioni da virus West Nile in ambito veterinario.

Anche le patologie infettive veicolate da zecche sono aumentate nell'ultimo decennio in Italia e in molti Paesi europei. Tra le emergenti va menzionata la **meningoencefalite da zecche** (Tick Borne Encephalitis - TBE), o meningoencefalite primaverile-estiva, è una malattia virale acuta del sistema nervoso centrale, causata da un *arbovirus* appartenente al genere *Flavivirus*, molto simile ai virus responsabili della febbre gialla e della dengue. Alcuni studi hanno dimostrato una stretta correlazione tra l'espansione temporo-spaziale dei vettori e i cambiamenti climatici. Ad esempio le zecche portatrici della TBE si sono espanse dalla Svezia nord centrale al Mar Baltico; gli stessi vettori in Repubblica Ceca, dove sono state monitorate sin dagli anni '50 ad altitudini non superiori di 700 metri, sono stati rinvenuti ad altitudini di oltre 1250 m a partire dagli anni 2000.

Per la rilevanza sanitaria del fenomeno, a valle del recente Rapporto dell'ECDC (ECDC, 2012a) che riassume le informazioni disponibili sulla distribuzione della TBE negli Stati membri e identifica le principali aree di rischio, è seguita la decisione della Commissione Europea del settembre 2012<sup>142</sup> che introduce l'obbligo di notifica anche per la TBE rivedendo la normativa preesistente. Questo consentirà anche per l'Italia una sistematizzazione delle informazioni nonché un uso più efficace della prevenzione con vaccino per la TBE. L'encefalite da morso di zecca è stata identificata per la prima volta in Italia nel 1994 in provincia di Belluno. Le zecche, e in particolar modo *Ixodes ricinus*, c.d. zecca dei boschi, e *Ixodes persulcatus*, operano sia come vettori che come serbatoi. Il virus trasmesso dalle zecche infetta diversi animali, selvatici o domestici, fra cui roditori, caprioli, ovini, caprini che contribuiscono al mantenimento del ciclo di trasmissione dell'infezione. Gli uccelli, molto probabilmente, contribuiscono a trasportare passivamente zecche infette anche a notevole distanza durante le loro migrazioni. *Ixodes ricinus* popola zone prative relativamente umide, fredde, cespugliose e boschive, giardini, frangiventi, alvei di piena e foreste per molta parte dell'Europa. In Italia, questa zecca è vettore anche della *Borrelia burgdorferi s.l.*, che è l'agente della **malattia di Lyme o borreliosi**. I focolai dell'encefalite da zecca sono presenti principalmente in Veneto, Toscana e Trentino mentre per la malattia di Lyme i centri endemici storici di borreliosi sono Veneto, Friuli e Trentino.

Altri vettori, i flebotomi, ditteri ematofagi appartenenti alla famiglia *Psychodidae*, genere *Phlebotomus* (sandflies) sono in Italia i portatori della **Leishmaniosi** nell'uomo e nel cane e sono influenzati dalle variabili climatiche.<sup>143</sup>

In Italia la malattia umana è presente in due forme epidemiologiche e cliniche diverse ossia la leishmaniosi viscerale zoonotica (LVZ detta anche *kala azar*), più grave e letale se non curata, e la leishmaniosi sporadica cutanea. Il cane infetto costituisce l'unico serbatoio domestico della LVZ; la leishmaniosi canina ha mostrato nell'ultimo decennio un aumento d'incidenza e diffusione geografica. La LVZ è una tipica malattia rurale e periurbana, presente in modo disomogeneo lungo le aree della costa tirrenica, della costa del basso Adriatico e delle isole. Casi di LVZ sono riportati in molte regioni del centro-sud, ma le aree più colpite sono in Campania e in Sicilia.

L'incremento medio della temperatura atmosferica potrebbe essere in grado di favorire l'aumento dei casi nelle regioni dove già è presente in forma endemica e l'espansione della trasmissione di leishmaniosi verso latitudini più settentrionali (Maroli et al., 2008). Questo fenomeno è stato studiato in alcune aree dell'Italia settentrionale, dove il confronto tra dati entomologici recenti con quelli disponibili per gli anni 1960 e 1970 ha rivelato che alcune specie di flebotomi, vettori dimostrati di Leishmaniosi, hanno ampliato la loro distribuzione geografica verso nord (Maroli et al., 2012). Tuttavia per molte aree del territorio nazionale i dati disponibili soffrono di evidente sottonotifica, mentre presentano discreta attendibilità i dati relativi ad alcune regioni dove sono

---

<sup>142</sup> DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 3 settembre 2012 che modifica la decisione 2000/96/CE per quanto riguarda l'encefalite da zecche e la categoria delle malattie trasmesse da vettori.

<sup>143</sup> I flebotomi sono noti anche come vettori di altri patogeni umani, quali la *Bartonella* spp. (Carrion's disease) ed un certo numero di agenti virali che causano la febbre dei 3 giorni, meningiti estive, la stomatite vescicolare e l'encefalite da Chandipura virus.

stati attuati, anche per periodi limitati, programmi appositi di sorveglianza attiva (Campania, Sicilia, Liguria ed Emilia-Romagna). Un aspetto di rilievo di sanità pubblica è che la leishmaniosi tende a manifestarsi soprattutto nelle persone già immunodepresse in seguito ad infezione da HIV e che, con meccanismi complessi, le due patologie si autoalimentano.

Le malattie da vettori clima sensibili stanno riscuotendo molte attenzioni dalle autorità e dalla legislazione nazionale ed europea e sono sempre più crescenti i network europei a cofinanziamento europeo sulla distribuzione di casi e vettori, biologia e controllo dei vettori<sup>144</sup>, ma richiedono anche georeferenziazione del rischio, interventi ambientali e sistemi integrati di early-warning su specie vettori e serbatoi di patogeni. La pianificazione di strategie di controllo dei vettori nell'ambito di una gestione ambientale integrata richiede un monitoraggio costante delle popolazione dei vettori in rapporto alle variabili ambientali e microclimatiche cui sono legate e anche programmi di sorveglianza attiva e/o di quarantene di merci importate. Perché la prevenzione del rischio e i possibili interventi siano efficaci, sono necessarie misure istituzionali quali costituzione di tavoli tecnici multidisciplinari a supporto del potenziamento dei sistemi di prevenzione, early-warning e controllo sul territorio; l'individuazione di esperti regionali di riferimento per l'emanazione di normative anche in urgenza per gli interventi sul territorio; la revisione della disciplina dei ruoli svolti dai vari Enti territoriali preposti alla prevenzione e al controllo del vettore.

### *Malattie idrotrasmesse*

Le malattie infettive idrotrasmesse sono causate da numerosi batteri, virus e protozoi parassiti. La contaminazione di acqua di balneazione, per uso potabile, agricolo e acquacoltura nonché l'aumentata presenza e/o patogenicità di virus o batteri è uno scenario di rischio clima-sensibile che riconosce diversi fattori non climatici, tra loro potenzialmente sinergici, quali la resilienza dei sistemi di depurazione e dei servizi idrici in generale agli eventi meteorologici estremi e la capacità dei sistemi di prevenzione per la governance dei nuovi rischi.

Le più frequenti ed intense piogge e/o alluvioni possono causare una maggiore concentrazione di organismi patogeni nelle acque attraverso lo straripamento degli impianti di trattamento, il trasporto di deiezioni animali ed umane con le acque di deflusso superficiale, la mobilitazione di sedimenti contaminati o come risultato di distruzione fisica di infrastrutture di trattamento e distribuzione a causa di inondazioni nonché di effetti indiretti, più o meno complessi, sulla globale efficienza degli impianti di fognature, depurazione e distribuzione di acqua potabile.

I virus enterici sono sempre stati la causa principale di malattie infettive associate al consumo di acqua contaminata da materiale fecale. Le epidemie di origine idrica (waterborne diseases - WBD) sono sicuramente sottostimate per la mancanza di adeguati programmi di sorveglianza epidemiologica.

---

<sup>144</sup> EDEN project - Emerging diseases in a changing European environment: <http://www.eden-fp6project.net/>, EDENext project: <http://www.edenext.eu>, VBORNnet: <http://www.vbornet.eu>.

I virus enterici responsabili di epidemie di gastroenteriti di origine idrica sono: *enterovirus*, *norovirus*, *adenovirus*, virus dell'epatite E e dell'epatite A, *rotavirus*. Le acque di balneazione che ricevono acque trattate, e le risorse ittiche allevate in acque riceventi, possono rappresentare un'importante via di esposizione.

Diversi ceppi virali enterici nelle acque superficiali sono resistenti ai trattamenti di purificazione delle acque di scarico. Rispetto ai batteri indicatori di contaminazione fecale, per i quali l'efficienza di rimozione dei trattamenti degli impianti è di circa il 99%, i virus sono rimossi con un'efficienza fra il 35 e il 78%. In un recente studio fino a 4 gruppi di enterovirus patogeni sono stati identificati contemporaneamente in mitili provenienti da impianti di allevamenti controllati (La Rosa et al., 2012). I virus possono essere presenti anche in acque che rispondano ai criteri di sicurezza per le contaminazioni fecali usando i comuni indicatori di contaminazione.

Oltre alle vulnerabilità intrinseche correlate ad un maggior rischio di contaminazione negli eventi estremi, esiste anche una vulnerabilità di sistema conoscitivo. In Italia e in Europa non esiste un sistema di sorveglianza che distingua fra malattie trasmesse dall'ingestione di cibo contaminato o di acqua contaminata. Inoltre, è probabile che i casi registrati rappresentino una sottostima di quelli effettivamente avvenuti. Per esempio, l'impatto delle gastroenteriti acute in Italia, fra le manifestazioni più frequenti di malattie idrotrasmesse e trasmesse da alimenti, è probabilmente sottostimato, per diversi motivi: è frequente il trattamento medico domiciliare, non viene sempre ricercata la causa della malattia, le possibilità e i protocolli dei diversi laboratori non sono uniformi, e la notifica da parte delle strutture sanitarie è spesso disattesa (Scavia et al., 2009). Ciò nonostante in Europa sono state riportate 16 epidemie idrotrasmesse causate da calicivirus, *verocytotoxigenic E. coli*, *Cryptosporidium parvum* e rotavirus (EFSA, 2014). In uno studio italiano condotto dall'ISS (Bonadonna et al., 2009) sulla base delle notifiche registrate dal sistema italiano di sorveglianza delle malattie infettive, nell'area di Roma, nel periodo 2001-2006 sono stati individuati ed elaborati un totale di 3.000 casi di malattie di origine idrica e il virus dell'epatite A è stato l'agente eziologico più frequentemente registrato.

La carenza di dati non consente di stabilire un trend e l'associazione con variabili climatiche ma delinea comunque una vulnerabilità già esistente e il potenziale aumento di rischio collegato alle variabili climatiche.

In molti studi sono state identificate epidemie di malattie idrotrasmesse legate alle piogge eccessive (Funari et al., 2012). Patogeni quali *Campylobacter* e *E. coli* enterotossigenico (EFSA, 2012) sono stati rinvenuti in campioni di feci di soggetti con seri disturbi gastrointestinali insorti dopo una gara di nuoto svolta la mattina successiva ad un pioggia insolitamente intensa che ha allagato e causato lo straripamento degli impianti di trattamento delle fogne di Copenhagen.

Anche l'aumento di temperatura può influenzare la diffusione di organismi patogeni trasmessi dall'acqua, per esempio riducendo il numero di giorni di basse temperature che determinano l'inattivazione di cisti di protozoi patogeni (King & Monis, 2007), e aumentando direttamente i tassi di crescita di alcuni batteri autoctoni, comprese specie patogene (Lipp et al., 2002), come *Vibrio parahaemolyticus*, *V. vulnificus* e *algynoliticus*, già fra i più comuni agenti eziologici responsabili

delle malattie trasmesse da prodotti ittici negli Stati Uniti. Un recente studio ha dimostrato che un aumento della dominanza di specie del genere *Vibrio* in comunità naturali fitoplanctoniche, in coincidenza di un aumento delle malattie a loro collegate attraverso l'esposizione durante la balneazione, può essere spiegato per il 45% dall'aumento di temperatura (Vezzulli et al., 2012). Si prevede un aumento anche del range di diffusione e della prevalenza di *V. cholera*.

Gastroenteriti causate da acqua contaminata da *norovirus*, che hanno interessato fra le 200 e le 300 persone circa, si sono verificate sempre in estate, per esempio, nel 2000 nel Golfo di Taranto (Boccia et al., 2002), nel 2003 in Italia centrale (con la presenza anche di *rotavirus* e *Campylobacter*) e nel 2009 sul Lago di Garda (Migliorati et al., 2008). Il primo e il terzo caso hanno riguardato la contaminazione dell'acqua potabile, mentre nel caso del 2003, una rottura del sistema fognario oltre a contaminare l'acqua di falda, aveva contaminato anche il tratto di mare antistante il villaggio, causando un'ulteriore esposizione durante la balneazione. Un ulteriore aspetto sanitario da considerare riguarda le possibili conseguenze delle gastroenteriti. Un recente studio effettuato sulle persone coinvolte nell'infezione da *norovirus* GE sul Lago di Garda ha mostrato l'insorgere della sindrome dell'intestino irritabile nel 13% dei pazienti colpiti dall'epidemia, significativamente superiore al controllo (Zanini et al., 2012), dimostrando la maggiore suscettibilità delle persone che abbiano avuto problemi di gastroenteriti serie.

Temperatura, inondazioni e distruzione degli impianti di trattamento influenzano le infezioni da *Cryptosporidium*, più frequenti nei bambini 0-5 anni che mostrano un leggero aumento pur essendo sottodiagnosticate e sottostimate. Non sono disponibili dati per l'Italia, in quanto non ne è prevista la segnalazione .

Il colera, causato da alcuni ceppi di *Vibrio cholera*, in Europa non rappresenta una malattia frequente, con un trend costante nel periodo 2006-2009 e con molti casi importati. Comunque un problema sicuramente sottostimato è quello relativo agli altri vibrieni non colerici, che non sono inclusi nei piani di sorveglianza europei sulle malattie trasmissibili. Nonostante questo, una serie di studi recenti (Caburlotto et al., 2010; Fabbro et al., 2010) ha riportato la presenza di ceppi tossigenici di *Vibrio parahaemolyticus* in aree geografiche delle coste italiane, con una prevalenza di 6-9% in campioni di acqua e mitili (Caburlotto et al., 2009) e del 16-20% nei pesci (Serracca et al., 2011). Inoltre, due ceppi di *V. parahaemolyticus* portatori di marker pandemici sono stati isolati da campioni di acqua marina nell'area della laguna di Venezia (Caburlotto et al., 2010) e in pazienti con diarrea, in anni recenti, con probabile ingestione di mitili infetti (Ottaviani et al., 2010). Molti ceppi di *Vibrio* isolati dalle acque costiere sarde, sono risultati positivi per caratteri di virulenza tipici di *Vibrio cholera*. Questi dati suggeriscono la necessità di un'indagine epidemiologica per identificare in Italia le possibili fonti di ceppi patogenici di *Vibrio* e le aree geografiche a rischio.

Anche la diffusione dei cianobatteri è crescente ed è dovuta principalmente all'eutrofizzazione dei bacini fortemente antropizzati e ai cambiamenti climatici (O'Neil et al., 2012).

I cianobatteri sono un gruppo di procarioti fotosintetici ubiquitari; possono raggiungere densità elevate e formare fioriture e schiume, soprattutto nelle acque superficiali interne eutrofiche. Molte specie di cianobatteri producono, come metaboliti secondari, alcune cianotossine, con diverse

caratteristiche tossicologiche per l'uomo: epatotossine, neurotossine, citotossine, tossine con potenziale irritante, in grado di agire anche sul sistema gastrointestinale (Funari et al., 2008). L'uomo può essere esposto alle cianotossine attraverso la via orale, che è di gran lunga la più importante, a seguito dell'ingestione di acqua potabile, alimenti, alcuni integratori alimentari o di acqua durante le attività di balneazione. L'esposizione ad elevati livelli di cianotossine nelle acque potabili e di balneazione è stata associata ad effetti acuti e a breve termine nell'uomo e negli animali. E' stato anche ipotizzato che la biomagnificazione di alcune tossine attraverso la catena alimentare o l'esposizione continua a bassi livelli di cianotossine possa essere alla base dell'insorgenza di malattie neurodegenerative. L'esposizione alle cianotossine può avvenire anche attraverso la via cutanea e inalatoria (attività ricreative e professionali in acque contaminate, uso domestico delle acque, ad es. doccia). Esiste poi la possibilità di esposizione attraverso la via parenterale, quando acque provenienti da corpi idrici superficiali vengono utilizzate per emodialisi: pur essendo meno frequente ed interessando un gruppo specifico e ristretto di individui, questa via di esposizione rappresenta, per le sue caratteristiche, un rischio maggiore per i soggetti esposti (Manganelli et al., 2012). In Italia, in quasi tutte le regioni, negli ultimi decenni sono state evidenziate, con considerevole rilevanza in termini di frequenza e portata degli eventi, criticità correlate allo sviluppo di cianobatteri in invasi naturali e artificiali utilizzati per la fornitura di acque destinate al consumo umano o al consumo del bestiame o impianti di acquacoltura. Gli effetti dei cambiamenti climatici, in particolare forti piogge e alluvioni, aumento della temperatura, maggiore stratificazione dei bacini, maggiore capacità dei cianobatteri di proliferare in climi più caldi, e siccità, si sommano agli effetti di altre variabili ambientali (generalmente concentrazioni dei nutrienti, rapporto fra le concentrazioni dei diversi nutrienti, intensità della luce), che influiscono sia sul successo riproduttivo e diffusione delle specie di cianobatteri, che sulla loro tossicità, e stanno pertanto emergendo nuovi scenari di esposizione da considerare. Oltre al consistente rischio sanitario legato al trasferimento delle tossine dal corpo idrico d'acqua dolce lungo la filiera di potabilizzazione fino al punto di consumo, è in aumento la possibilità di esposizione alle tossine attraverso la catena alimentare, a causa del trasporto dovuto a forti piogge e alluvioni di cianobatteri tossici in acque costiere e salmastre, dove si trovano la maggior parte degli impianti di acquacoltura. Inoltre, è necessario considerare il rischio di un'esposizione attraverso più vie e/o a più tossine simultaneamente, che rappresenta probabilmente la situazione più diffusa, sia perché molti cianobatteri possono produrre più cianotossine, sia perché raramente le fioriture sono monospecifiche e diversi cianobatteri possono produrre cianotossine diverse (Manganelli et al., 2012). La coesposizione può avvenire anche con contaminanti chimici, come i pesticidi, determinando effetti non prevedibili dai profili tossicologici dei singoli composti (Cerbin et al., 2010). Le conoscenze di nuovi rischi hanno esortato le Autorità sanitarie a rivedere la legislazione corrente su questioni ancora aperte come i valori limite delle varie cianotossine per evitare rischi sanitari.

Negli ultimi anni, nella quasi totalità delle regioni italiane, sono state evidenziate criticità correlate allo sviluppo di cianobatteri produttori di tossine neuro- ed epatotossiche in invasi naturali e artificiali utilizzati per la fornitura di acque potabili (Lucentini et al., 2011a, 2011b).

Le alghe tossiche sono inoltre un altro fenomeno influenzato dai cambiamenti climatici. Nei mari, fioriture algali con densità superiori a decine di milioni di cellule per litro si sono intensificate negli ultimi decenni, sia come frequenza temporale, che per estensione geografica, non più limitata alle zone tropicali. Inoltre, il riscaldamento del Mediterraneo osservato negli ultimi 20 anni, ha favorito la sua colonizzazione da parte di alcune specie tropicali, provenienti dal canale di Suez, attraverso lo stretto di Gibilterra e trasportate nelle acque di zavorra delle navi che si sono aggiunte a specie tossiche già presenti (Ade et al., 2003). Alcune microalghe, infatti, possono produrre tossine che si possono accumulare in molluschi e in altri prodotti ittici abitualmente consumati dall'uomo e a cui l'uomo può essere inoltre esposto durante attività ricreative sia attraverso l'ingestione accidentale di acqua durante la balneazione che attraverso aerosol contaminato. La nuova Direttiva Europea 2006/7/CE del 15 febbraio 2006, relativa alle acque di balneazione, recepita con decreto legislativo 30 maggio 2008 n.116 e con il decreto 30 marzo 2010, con gli allegati tecnici per la sua attuazione, considera questo fenomeno: "Qualora il profilo delle acque di balneazione mostri una tendenza alla proliferazione di macroalghe e/o fitoplancton marino, vengono svolte indagini per determinare il grado di accettabilità e i rischi per la salute e vengono adottate misure di gestione adeguate, che includono l'informazione al pubblico". Negli ultimi dieci anni episodi di fioriture di specie algali marine causate da specie potenzialmente tossiche (*Coolia monotis*, *Fibrocapsa japonica*, *Prorocentrum lima*, *P. emarginatum*, *Amphidinium* sp., *Dinophysis* sp., ecc.) sono state segnalate ripetutamente lungo le coste italiane. Tuttavia i casi più importanti per i risvolti sanitari sono stati osservati a seguito di fioriture di *Ostreopsis* spp., una microalga appartenente al genere *Ostreopsis*, classe *Dinofyceae*, distribuita essenzialmente nella zona tropicale e sub tropicale che predilige gli ambienti dove sono presenti macroalghe brune e/o rosse. Fenomeni d'irritazione cutanea e disturbi respiratori, a volte accompagnati da mal di testa e/o febbre sono stati segnalati da turisti durante la loro permanenza sulla spiaggia, in coincidenza di fioriture di *Ostreopsis ovata* (Tubaro et al., 2011;). Le fioriture di *O. ovata*, osservate in quei giorni nel tratto di costa interessato, furono ritenute il possibile agente causale. La presenza di palitossina e/o composti analoghi, sembrano associati a disturbi cutanei e respiratori (Botana, 2008). Tuttavia, da quando si sono verificati i più famosi casi di intossicazione, sono costanti i monitoraggi di *Ostreopsis ovata* e altre microalghe potenzialmente tossiche ad opera delle Agenzie ambientali lungo le coste italiane (ISPRA, 2012) a cui seguono, in caso di fioriture di *Ostreopsis*, interventi di comunicazione alla popolazione e, nei casi previsti, di chiusura dei tratti di spiaggia interessati.

Le potenziali conseguenze dei cambiamenti climatici interessano le prestazioni dei servizi idrici nelle sue principali componenti, quali:

- qualità delle acque, in termini di alterazioni della *facies* microbiologica e chimica delle acque (ad es. alterazioni della falda per eccessivo sfruttamento con alterazioni di ordine geochimico o approvvigionamenti da acque profonde di qualità compromessa, per contaminazioni da nitrati o solventi organoalogenati, intrusioni saline, ecc.);
- quantità dell'acqua distribuita, continuità della fornitura, grado di copertura della popolazione, costi: tutte variabili interconnesse tra loro, in relazione anche con le caratteristiche qualitative dell'acqua, suscettibili di diverse perturbazioni dovute a

cambiamenti climatici; elementi causali ricorrenti in tale contesto sono siccità e alte temperature che presiedono a diminuzioni della quantità di acqua disponibile per approvvigionamenti da acque superficiali e ricarica delle falde acquifere;

- impatti fisici sulle infrastrutture, dovuti per lo più ad inondazioni, che, oltre agli effetti diretti sulle installazioni, possono generare effetti indiretti come ad esempio infiltrazioni nelle reti di distribuzione o nei serbatoi con conseguenti contaminazioni chimiche o microbiologiche.

La valutazione di potenziali impatti da alte temperature e eventi estremi sulle acque destinate a consumo umano dovrà tener conto anche di fattori non sempre prontamente intellegibili. In quest'ultimo caso, a titolo di esempio, può essere annoverata l'insorgenza di modifiche del biota in invasi destinati a produzione di acqua potabile, indotta da alternanze di secca e piena, o altri eventi estremi, in grado di generare una drastica motilità di elementi nutritivi dai sedimenti, con l'effetto ultimo di causare incrementi massivi di sostanza organica o anche sostanze tossiche (nel caso si verificano proliferazioni massive di cianobatteri produttori di tossine), anche a distanza di qualche tempo dall'evento climatico causale.

Una stima analitica di tali impatti è attualmente impraticabile nel territorio italiano per alcuni ordini di ragioni:

- difficoltà di definire esplicitamente tutte le diverse componenti della matrice dei rischi per le acque destinate a consumo umano indotte da cambiamenti climatici e di attribuire efficientemente i diversi coefficienti per i possibili eventi causali;
- mancanza di dati sulle performance dei servizi idrici (ad es. qualità delle acque grezze/distribuite) riferibili a possibili eventi climatici avversi: è da considerare, in tale contesto, che il sistema di raccolta dati qualità delle acque si riferisce a parametri richiesti dalla normativa (D.Lgs. 31/01 e s.m.i.) con la finalità di registrare in intervalli temporali discreti (report annuali o triennali) le variazioni significative generali, in termini di trend, di qualità delle acque; in tale assetto, molti dati utili (ad es. torbidità, carbonio organico totale, parametri chimici e microbiologici specifici) per valutare l'impatto, ad esempio di inondazioni o siccità, non risultano facilmente utilizzabili per generare adeguate matrici di rischio, referenziate in termini geografici e temporali;
- mancanza di dati epidemiologici specifici per patologie di origine idrodiffusa, a causa della non disponibilità di osservatori specifici, fatte salve sporadiche realtà territoriali;
- inesperienza dei gestori idrici nelle attribuzioni di rapporti causa-effetto tra eventi climatici e performance del servizio, inclusa qualità e quantità delle acque, e conseguenti lacune nelle stime dei costi.

A quest'ultimo proposito si dispone attualmente di pochi dati per consentire un'analisi generale della problematica e risulterebbe necessario ed urgente implementare un approccio di stima sistematico che si indirizzasse a risolvere le criticità in precedenza menzionate e registrare dati

analitici ed aggregati a livello nazionale, al fine di disporre di elementi basilari per definire strategie appropriate per l'adattamento a cambiamenti climatici. Una prima proposta è l'analisi della stagionalità della variazioni di qualità delle acque potabili sulla base dei dati trasmessi ufficialmente all'UE.

Si segnala a livello internazionale le linee guida sviluppate nell'ambito del Protocollo Acqua e Salute alla Convenzione ONU ECE sull'acqua per la gestione dei nuovi rischi ambiente e salute correlati alla performance dei servizi idrici negli eventi meteorologici estremi (Sinisi & Aertgeets, 2011).

### ***Malattie a trasmissione alimentare***

Tecnicamente le malattie di origine alimentare (o malattie a trasmissione alimentare – MTA) comprendono anche quelle causate da consumo di acqua potabile - di cui abbiamo già accennato nel paragrafo precedente - e di alimenti contaminati da microrganismi patogeni, tra cui batteri e relative tossine, virus e parassiti. Molti sistemi di notifica di malattie trasmissibili – compreso quello italiano - sono organizzati per patogeni più che veicolo ambientale (acqua o alimenti, inclusi i prodotti ittici) e i dati risultano aggregati sotto il termine, appunto, di tossinfezioni alimentari di cui più avanti verranno riportate in sintesi le evidenze più recenti.

La distinzione del veicolo ambientale è comunque importante anche ai fini della gestione dei diversi fattori di rischio negli attuali scenari meteo climatici. Il fattore clima-sensibile comune alle MTA da acqua e alimenti è sicuramente legato principalmente alla contaminazione da dilavamenti negli eventi estremi; di contro la gestione dei rischi per gli alimenti del settore agro-zootecnico è prevalentemente temperatura-dipendente ed include altri cofattori quali:

- temperature più elevate in tutta la filiera di conservazione, trasporto, distribuzione e stoccaggio;
- comportamenti sociali come l'uso di ristorazione pubblica e collettiva più frequente specie nei mesi caldi (quelli a maggior rischio), l'uso di buffet con cibo esposto a temperature ambiente.

Tutti questi fattori di rischio contribuiscono all'aumento dell'incidenza di malattie infettive a trasmissione alimentare, richiedono soluzioni tecnologiche e interventi mirati di monitoraggio, sorveglianza e informazione specie nei periodi più vulnerabili. La sicurezza biologica degli alimenti e dell'acqua è parte integrante del più vasto capitolo degli aspetti di sicurezza alimentare che include anche i potenziali effetti del clima su produzione, tossicità e qualità nutrizionale degli alimenti.

L'aumento delle temperature medie accresce i cicli di replica degli agenti patogeni di origine alimentare, e il prolungamento delle stagioni calde può aumentare la possibilità di contaminazione nella manipolazione e gestione degli alimenti. Nel 32% dei focolai di tossinfezione alimentare in Europa contribuiscono i fattori associati ad un erraneo uso delle temperature nella gestione degli alimenti (Tirado & Schmidt, 2001).

Nel Rapporto “*Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe*” pubblicato dal Centro Europeo di prevenzione e controllo delle malattie (European Center for Disease Prevention and Control - ECDC) nel mese di aprile 2012 (ECDC, 2012) che analizza la letteratura esistente sulle tossinfezioni alimentari nei Paesi UE da consumo di acque e cibi contaminati, è stato evidenziato come le variabili meteo-climatiche (temperatura dell'acqua e dell'atmosfera, piogge e precipitazioni intense) possono incidere nella patogenicità dei sei microrganismi riconosciuti come gli agenti patogeni più frequenti: *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Listeria*, *Norovirus*, *Salmonella* e *Vibrio* non colerico.

Dalla relazione annuale sulle zoonosi e i focolai a trasmissione alimentare nell'Unione Europea per il 2012 dell'Autorità europea per la sicurezza alimentare (European Food Safety Authority - EFSA) in collaborazione con l'ECDC (EFSA, 2014), emerge la segnalazione di 5.363 epidemie da cibo e acqua contaminati da patogeni per un totale di 55.453 casi umani, 5.118 ricoveri e 41 decessi. La principale fonte di cibo contaminato sono state le uova e i prodotti a base di uova, i pasti misti, pesce e prodotti derivati dalla pesca. L'infezione alimentare zoonotica segnalata con maggior frequenza nell'uomo è la campilobatteriosi (oltre 214.000 casi umani) che conferma il trend di aumento nel quinquennio 2008-2012 e mostra un evidente andamento stagionale. La colonizzazione da *Campylobacter* aumenta rapidamente con l'innalzamento temperature. Il rischio di campilobatteriosi è stata correlata positivamente con temperature medie settimanali (Semenza & Menne, 2009). Il trend della diminuzione dei casi di salmonellosi nell'uomo è probabilmente dovuta soprattutto agli efficaci programmi di controllo della *Salmonella* (altamente sensibile all'aumento di temperature) attuati per ridurre la prevalenza dei batteri nel pollame.

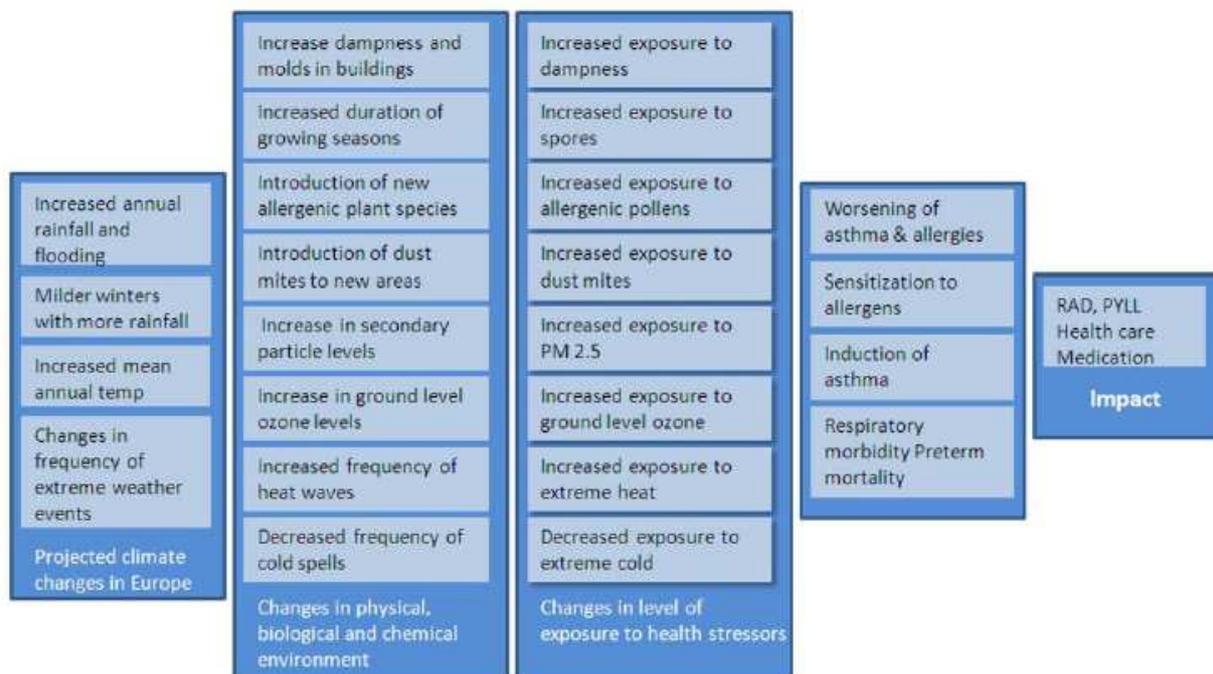
Nel 2009, in Italia, sono stati segnalati 248 focolai di tossinfezioni alimentari per un totale di 1.451 casi (*Epicentro*<sup>145</sup>). I dati analizzati in regione Emilia-Romagna, nel periodo 2001-2010 (3.462 soggetti malati) (Regione Emilia-Romagna, 2012), ci forniscono ulteriori elementi di analisi rispetto alle variabili climatiche: il fattore temperatura è altamente influenzante il numero di episodi infettivi che mostrano una spiccata stagionalità nei mesi estivi. Inoltre, relativamente agli alimenti veicolo di infezione, si è registrato un aumento di casi in cui sono coinvolti i prodotti della pesca come causa pressoché unica di “intossicazione” alimentare (biotossina algale e sgombrotossina). Nell'ultimo biennio i veicoli di trasmissione più frequenti sono invece i prodotti della pesca (25 episodi, pari al 28,1% sul totale), seguiti dagli alimenti contenenti uova (20 episodi, 22,5% del totale) e i prodotti carni (17 episodi, 19,1% del totale). Sono 12 (13,5%) invece gli episodi in cui il veicolo non è stato individuato.

---

<sup>145</sup> Accesso marzo 2014: <http://www.epicentro.iss.it/problemi/tossinfezioni/aggiornamenti.asp>.

## Clima, qualità dell'aria outdoor e indoor, malattie allergiche, respiratorie e cardiovascolari

Come per le altre matrici ambientali la preesistenza di vulnerabilità ambientali (ad es. inquinamento in ambiente urbano) e sanitarie (ad es. gruppi vulnerabili come anziani, bambini, allergici, asmatici e cardiopatici) amplificano gli effetti e i rischi indotti dai cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria, che si realizzano prevalentemente attraverso meccanismi sinergici con l'azione tossica e irritativa degli inquinanti atmosferici e i diversi effetti sulla produzione e caratteristiche degli aeroallergeni (pollini). L'obiettivo di misure di adattamento dovrà quindi favorire politiche più incisive per la gestione della qualità, chimica e biologica (aeroallergeni), dell'aria in ambiente urbano. Più recentemente la comunità scientifica ha evidenziato la rilevanza sanitaria della qualità dell'aria indoor (WHO Euro, 2009; 2010) che, a sua volta, è influenzata attraverso vari meccanismi, da cambiamenti e variabilità del clima. La gestione della qualità dell'aria indoor nel nostro Paese, come in molti Paesi europei, mostra ancora vulnerabilità sotto il profilo normativo, organizzativo ed operativo nonostante significative<sup>146</sup> iniziative a livello istituzionale abbiano evidenziato criticità ambientali degli ambienti indoor e la loro rilevanza sanitaria. I meccanismi attraverso i quali i cambiamenti climatici hanno effetti sulle patologie allergiche e respiratorie sono riassunti nella Figura 2.10.



Overall causal model for how climate change, stressor level, population exposure, morbidity and other health impacts are linked. .

Source: HENVINET project -<http://www.henvinet.eu/>

<sup>146</sup> Iniziativa GARD Italia del Ministero della Salute, Gruppo nazionale indoor dell'Istituto Superiore di Sanità, Progetto SEARCH I e SEARCH II del Ministero dell'Ambiente.

*Figura 2.10: Clima e salute respiratoria, un modello causale (Fonte: Forsberg et al., 2010).*

## *Asma e allergie*

In Italia, si stima che circa il 15-20% della popolazione soffra di allergie, fenomeno in crescita, soprattutto tra i più giovani e le donne. In Italia, negli ultimi anni, l'incidenza delle allergie, in particolare di **asma e rinite allergiche**, è aumentata del 38% (Progetto EpiAir).<sup>147</sup> L'asma non adeguatamente trattata è una malattia cronica con risvolti socio-economici peculiari: nei Paesi industrializzati l'asma incide per l'1-2% sulla spesa sanitaria complessiva, nel mondo circa 15 milioni di giorni di disabilità per anno sono persi a causa dell'asma (GINA - Global Initiative for Asthma)<sup>148</sup>. Gli studi afferenti al Progetto nazionale EpiAir hanno evidenziato un aumento dei ricoveri per asma e un aumento della mortalità associato ad inquinanti atmosferici, specie biossido di azoto (Scarinzi et al., 2013; Alessandrini et al., 2013). In Europa (Accordini et al., 2013) il 62,5% del costo medio annuo per paziente è dovuto a costi indiretti (perdita di produttività, perdita di giorni lavorativi, giorni di disabilità). I costi totali attesi nella popolazione tra i 30-54 anni in 11 Paesi europei è stimata nell'ordine di 4.3 miliardi di Euro che salgono ad oltre 19 miliardi se si considera tutta la popolazione europea tra i 15 e i 64 anni. Considerata la vulnerabilità delle aree urbane (sinergie con inquinamento e alte temperature) per la prevenzione della produzione pollinica è cruciale la gestione del verde urbano (specie infestanti, aree incolte, piante allergizzanti) (Ziska et al., 2003; Galán et al., 2003).

Le variabili climatiche influenzano le patologie allergiche respiratorie indirettamente attraverso i meccanismi sinergici con gli inquinanti atmosferici e i diversi effetti sulla produzione e caratteristiche degli aeroallergeni (pollini). La concentrazione d'inquinanti chimici sia outdoor (PM, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, DEPs – Diesel Exhaust Particles, CO<sub>2</sub>, ecc.) che indoor (VOC – Volatile Organic Compounds, O<sub>3</sub>, PM) influenza le patologie allergiche.

Gli inquinanti atmosferici, come noto, generano effetti infiammatori della mucosa bronchiale che, associati a stress ossidativo e attivazione di diverse protein kinasi e di fattori trascrizione, causano alterazioni della funzione polmonare e della reattività bronchiale aumentando il rischio di crisi asmatiche ed allergiche nei soggetti predisposti. Inoltre gli agenti inquinati interagiscono con gli allergeni trasportati dai granuli pollinici e possono incrementare il rischio di sensibilizzazione atopica e dei sintomi nei soggetti allergici. Inoltre, il danno della mucosa e l'indebolimento della clearance mucociliare indotto dall'inquinamento atmosferico può facilitare l'ingresso degli allergeni inalati nelle cellule del sistema immunitario (D'Amato et al., 2005).

---

<sup>147</sup> I due progetti EpiAir 1 (2001-2005) e EpiAir 2 (2006-2010) sono stati finanziati dal Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie (CCM) del Ministero della Salute e costituiscono complessivamente il più recente e ampio studio sugli effetti degli inquinanti atmosferici (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> e per la prima volta in Italia il PM<sub>2.5</sub>): [www.epi-air.it](http://www.epi-air.it).

<sup>148</sup> GINA - Global Initiative for Asthma: <http://www.ginasthma.org>.

L'aumento delle temperature è associato ad allungamento e anticipazione della stagione pollinica, la distribuzione e l'insediamento di specie infestanti e concorre, con alte concentrazioni di CO<sub>2</sub>, all'aumento della produzione di pollini.

**Allungamento e anticipazione della stagione pollinica.** Una precoce fioritura dei pollini di betulla è stata registrata a Londra, Zurigo, Bruxelles e Vienna (Emberlin et al., 2002). Un'anticipazione della fioritura di circa 1-2 settimane dell'olivo (Galán et al., 2005), invece è stata osservata in Spagna (sono state esaminate 5 località dell'Andalusia dall'1982 al 2001); l'olivo può essere utilizzato come un indicatore sensibile delle variazioni del clima nell'area mediterranea. Uno studio condotto in 14 località della penisola Iberica ha mostrato che anche la quercia (Garcia-Mozo et al., 2006) ha subito un'anticipazione della fioritura negli ultimi anni (dal 1992-2004), come conseguenza dell'incremento delle temperature nel periodo antecedente la fioritura.

**Aumento della produzione di pollini.** L'aumento dei pollini in Europa è stato dimostrato in molti studi multicentrici (Ziello et al., 2012) e nazionali: negli ultimi 30 anni si è registrato un incremento di produzione pollinica del nocciolo, betulla e graminacee in Svizzera e Danimarca (Spieksma et al., 1995; Frei, 1998; Rasmussen, 2002). Inoltre si è registrato anche un notevole aumento della produzioni di pollini dell'artemisia e dell'ambrosia (Wan et al., 2002).

L'incremento di pollini allergenici è favorito dalla presenza di nuove piante a scopo ornamentale specie in aree urbane (Stach et al., 2008); oppure all'introduzione di specie aliene, invasive, allergizzanti. L'aumento di CO<sub>2</sub> agisce direttamente sull'incremento di produzione di pollini anche sull'ambrosia una specie infestante ad alto potere allergizzante tipica di aree dismesse e incolte: originaria del subcontinente Nord-americano è attualmente diffusa, in molti Paesi europei. In Italia attecchisce tra gli anni '60 e '70 nella regione padana, e oggi è purtroppo parte integrante dell'ambiente vegetale di tutta la Lombardia, Piemonte, Friuli-Venezia Giulia, Umbria, Lazio e Campania. Il suo polline è divenuto una componente stabile nell'aria della tarda estate di parecchie zone del Nord Italia e, per i rischi sanitari, ha richiesto anche la definizione normativa di vari interventi istituzionali locali.

**Umidità.** L'umidità affligge in modo indiretto le patologie respiratorie influenzando le concentrazioni atmosferiche degli aeroallergeni. Bassi livelli di umidità favoriscono il rilascio, la dispersione e il trasporto di pollini, al contrario elevati livelli di umidità sono correlati ad elevate concentrazioni atmosferiche di pollini. Al contrario le spore sono favorite da elevati livelli di umidità (Jones & Harrison, 2004, Burge, 2002).

**Eventi estremi.** i temporali determinano gravi conseguenze nei soggetti asmatici, sono stati descritti episodi di asma severo durante temporali in Paesi europei tra cui l'Italia. Le condizioni di umidità e vento intenso presenti durante i temporali possono determinare la rottura per shock osmotico dei granuli pollinici e favorire così il rilascio degli antigeni allergenici in atmosfera (c.d. tempeste polliniche) (D'Amato et al., 1994; D'Amato et al 2008, Bellomo et al , 1992).

Elevate concentrazioni di CO<sub>2</sub> influenzano la produzione di polline: le piante crescono più rapidamente, più grandi e producono maggiori quantità di polline (Rogers et al., 2006). L'aumento

delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> ed NO<sub>2</sub> è associato anche ad un aumento di sporulazione fungina. Alcune spore fungine (*Alternaria*, *Epicocco*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, ecc.) possono non solo causare manifestazioni allergiche, ma anche essere responsabili di patologie nei vegetali, rendendo necessari trattamenti chimici supplementari che aumentano il rischio di contaminazione di derrate e raccolti destinati al consumo umano. Inoltre le spore fungine presenti in ambienti outdoor possono penetrare all'interno di ambienti confinati (indoor) e qui, per condizioni favorevoli di microclima (temperatura e umidità), possono proliferare durante tutto l'arco dell'anno. Le alterazioni microclimatiche indoor conseguenti ai mutati pattern di piovosità e temperatura hanno anche influenza su inquinanti biologici indoor (muffe) insieme all'umidità sono stati segnalati dall'OMS come fattori di rischio dell'aria indoor (WHO Euro, 2009).

I livelli di ozono sono associati ad un aumento di ricoveri per asma (Erbas et al., 2007; Villeneuve et al., 2007). L'ozono riduce la funzione polmonare e incrementa l'infiammazione delle vie aeree e della permeabilità dell'epitelio (agendo sia sulle cellule infiammatorie che sui mediatori dell'infiammazione) rendendo i soggetti asmatici e allergici più suscettibili agli antigeni allergenici (Bayram et al., 2001; Jörres et al., 1996).

**Alterazioni della circolazione atmosferica e del trasporto transfrontaliero di pollini.** Nuovi modelli di circolazione atmosferica sull'Europa potrebbero contribuire ad episodi di trasporto a lunga distanza di pollini allergenici, aumentando il rischio di nuove sensibilizzazioni tra la popolazione allergica (Cecchi et al., 2007) e a mutare la distribuzione spaziale dei pollini. Vi è un'evidenza crescente che i cambiamenti climatici potrebbero anche facilitare l'espansione geografica di specie di piante particolari verso nuove aree che diventano adatte da un punto di vista climatico.

**Pollinosi emergenti.** Già da qualche anno quella da *Cupressaceae* è considerata una pollinosi "emergente" in Italia mentre fino alla fine degli anni '80 era una pollinosi "minore". L'aumento della sensibilizzazione a *Cupressaceae* è stato ipotizzato essere correlato all'aumento della temperatura media e alla maggior durata della stagione pollinica. Altre interpretazioni del fenomeno ipotizzate comprendono la fragilità del polline del cipresso rispetto a fattori ambientali (pioggia, umidità, ecc.) e il dato che gli allergeni del cipresso possano legare le componenti organiche delle particelle esauste (DEPs).

### ***Malattie respiratorie e cardiovascolari***

L'inquinamento atmosferico ha un notevole impatto sulla salute. Vi è un'ampia letteratura attestante gli impatti negativi sull'uomo dell'esposizione ad aeroallergeni e a concentrazioni elevate d'inquinanti atmosferici: ozono, materiale particolato (PM) con diametro aerodinamico sotto 10 e 2.5 µm (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), biossido di zolfo, biossido di azoto, monossido di carbonio e piombo.

Le concentrazioni di diversi inquinanti atmosferici, in particolare del particolato fine (PM) e dell'ozono, sono influenzate dalle variabili meteo-climatiche. Le temperature elevate possono modificare la tossicità per l'organismo di alcune sostanze chimiche tossiche e favoriscono la

produzione, la dispersione e la degradazione di alcune sostanze tossiche quali l'ozono. L'aumento di vapore acqueo (umidità, precipitazioni) favorisce la produzione di ozono. Elevate temperature favoriscono l'emissione da parte delle foreste e del terreno di maggiori quantità di composti organici volatili (VOC) naturali e di NO<sub>2</sub>. Le precipitazioni favoriscono l'ossidazione di SO<sub>2</sub>, inoltre temperature più calde, favorendo le attività microbiche del suolo, portano a un incremento delle produzioni di NO<sub>x</sub> che è anche precursore dell'ozono troposferico.

In condizioni di particolare circolazione atmosferica, il trasporto d'inquinanti può essere maggiore e coprire ampie distanze per periodi prolungati. I cambiamenti climatici possono influenzare la qualità dell'aria a livello locale e regionale attraverso modifiche delle velocità delle reazioni chimiche in atmosfera, delle altezze degli strati di rimescolamento degli inquinanti, e modifiche nelle caratteristiche dei flussi d'aria che regolano il trasporto di inquinanti, influenzando lo sviluppo, il trasporto, la dispersione e il deposito di inquinanti atmosferici (Bernard et al., 2001).

L'ozono è altamente clima-sensibile e le concentrazioni attuali di ozono troposferico mostrano livelli e trend a livello europeo e nazionale ancora preoccupanti per la salute umana. La temperatura, i venti, la radiazione solare e l'umidità atmosferica influenzano sia la produzione di ozono che l'emissione dei precursori dell'ozono stesso. Poiché la formazione di ozono dipende dalla radiazione solare, le concentrazioni sono di solito più alte durante i mesi estivi. Le concentrazioni di ozono nell'aria outdoor e indoor, le attività quotidiane e le caratteristiche abitative sono i determinanti più importanti dell'esposizione personale all'ozono. L'ozono ha un'azione irritante e azione tossica sulle mucose delle vie respiratorie e un conseguente decremento della funzione respiratoria. E' stato dimostrato che l'esposizione a concentrazioni elevate di ozono è associata all'aumento di ricoveri ospedalieri per **polmonite, malattie polmonari croniche ostruttive, asma, e altre patologie respiratorie** e a mortalità prematura. L'analisi dell'impatto dell'ondata di calore e dell'ozono in Gran Bretagna durante l'estate 2003 ha stimato che il 21-38% dell'eccesso di morte era attribuibile ad elevati livelli di ozono (Johnson et al., 2005). Lo studio italiano EpiAir nella sua seconda fase (EpiAir2 2006-2010) mostra una riduzione degli effetti dell'ozono rispetto all'analisi precedente (2001-2005) (Alessandrini et al., 2013; Sarno et al., 2013): tra le cause viene ipotizzato il miglioramento della capacità adattativa - grazie ad adeguate campagne d'informazione - della popolazione nel ridurre/evitare l'esposizione a questo inquinante nei periodi estivi e, soprattutto, durante le ondate di calore.

Le variabili climatiche influenzano anche l'incidenza delle malattie cardiovascolari che a livello mondiale ed europeo mostrano un trend in aumento. Ogni anno le malattie cardiovascolari uccidono più di 4,3 milioni di persone in Europa e sono causa del 48% di tutti i decessi (54% per le donne, 43% per gli uomini). I recenti risultati (dicembre 2013) dello studio Europeo ESCAPE sugli effetti sulle patologie cardiache da esposizione a lungo termine ad inquinamento atmosferico, ha confermato l'associazione con un aumento di rischio per eventi coronarici acuti (Beelen et al., 2013; ESCAPE project, 2013).<sup>149</sup> Le principali forme di malattie cardiovascolari sono le **malattie cardiache**

---

<sup>149</sup> Sono state arruolate 22 coorti di 13 Paesi europei tra cui l'Italia.

**coronariche e l'ictus.** Nei Paesi membri dell'Unione Europea i morti per malattie cardiovascolari sono ogni anno 2 milioni e rappresentano il 42% del totale dei decessi. In Italia le cardiopatie rappresentano la principale causa di disabilità fra gli anziani. La spesa per gli interventi cardiocirurgici è stimabile in circa 650 milioni di Euro/anno e rappresenta da sola l'1% della spesa sanitaria. L'invecchiamento della popolazione e l'aumentata sopravvivenza dopo eventi cardiaci acuti ne giustificano l'aumento di prevalenza negli ultimi anni e l'ulteriore incremento.<sup>150</sup>

Vi è una relazione nota tra temperatura e mortalità cardiovascolare, tale relazione è supportata dall'evidenza che lega temperature estreme e le modificazioni della pressione arteriosa, della viscosità ematica e della frequenza cardiaca (Ren et al., 2011). Temperature troppo calde o troppo fredde influenzano direttamente l'incidenza dei ricoveri ospedalieri per dolore toracico, stroke, aritmie cardiache e altre patologie cardiovascolari (Pan et al., 1995; Keatinge et al., 1984; Ebi et al., 2004). Gli anziani e coloro che vivono da soli sono a maggior rischio di patologie cardiovascolari e di stroke scatenati da temperature estreme. Anche l'incremento della concentrazione di ozono è associato ad attacchi cardiaci e influenza la mortalità in presenza di alte temperature (Ren et al., 2008). Negli eventi estremi disastrosi si possono avere conseguenze sull'apparato cardiovascolare in soggetti suscettibili, potenziali attacchi cardiaci e cardiomiopatie correlate allo stress, oppure in modo indiretto per l'interruzione di cure mediche per patologie croniche, aumentando il rischio di esacerbazioni delle condizioni cliniche. Patologie cardiovascolari possono inoltre essere causate da patologie trasmesse da vettore e zoonosi, come la malattia di Chagas. Alte temperature sono state correlate a un incremento di morbilità cardiorespiratorie nella popolazione tra i 50 e 75 anni a New York e in generale ad un incremento dei ricoveri (Knowlton et al., 2009; Hansen et al., 2008). Studi sulla mortalità mostrano un incremento del rischio cardiovascolare e respiratorio associato alle ondate di calore nelle giornate immediatamente successive all'evento (Anderson et al., 2009)

Anche la *qualità dell'aria degli ambienti confinati (ambiente indoor)* dove passiamo oltre l'80% del nostro tempo è influenzata da variabili dipendenti dai cambiamenti climatici che, con vari meccanismi schematizzati nella Figura 3.10 influenzano l'inquinamento biologico (muffe, funghi, acari) e chimico (VOC, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) oltre che il comfort microclimatico, ovvero fattori individuati dall'OMS come determinanti indoor di salute (OMS, 2009; OMS, 2010) In Italia ancora oggi è assente la definizione di un sistema (e dei soggetti competenti) per il monitoraggio della qualità dell'aria indoor.

---

<sup>150</sup> Ministero della Salute: Malattie cardiovascolari Piano Sanitario Nazionale 2011-2013.

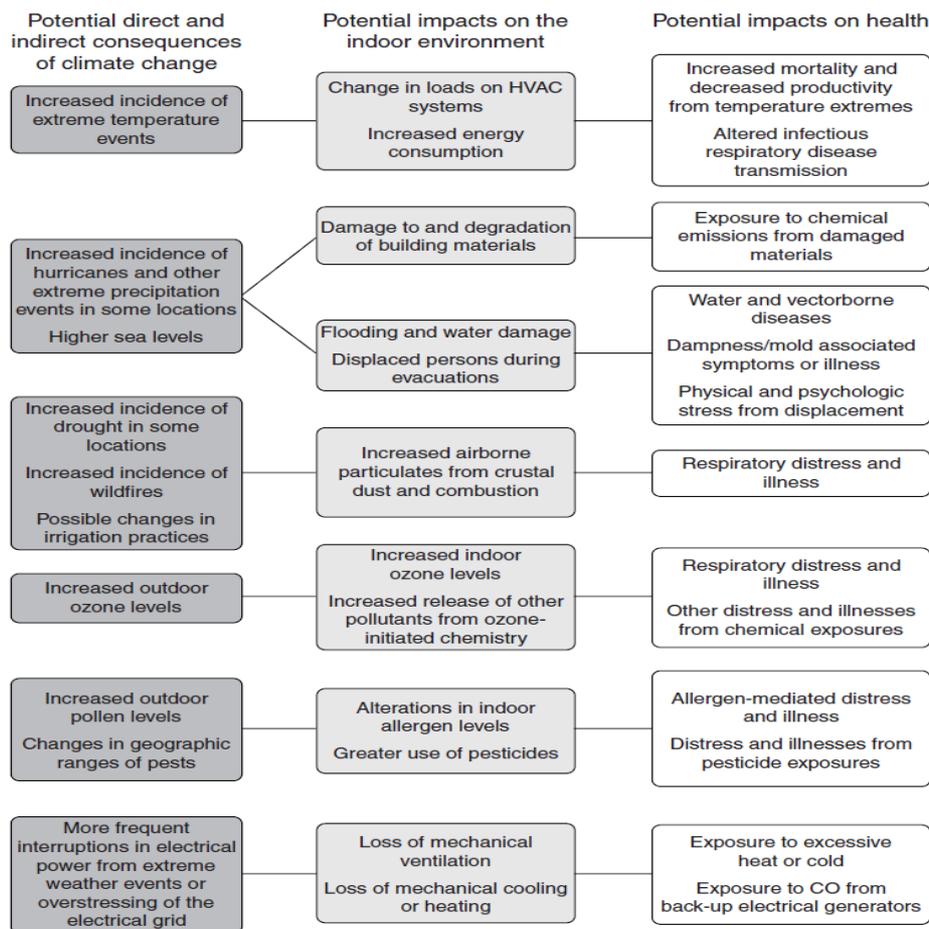


Figura 3.10: Percorsi di impatto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria e sulla salute (Fonte: Institute of Medicine, 2011).

## Clima, sicurezza alimentare e nutrizionale

I cambiamenti climatici incidono direttamente e indirettamente su tutti i fattori fondamentali per la sicurezza alimentare per come definita dalla FAO "La sicurezza alimentare esiste quando tutte le persone in ogni momento, hanno accesso fisico ed economico ad una quantità di cibo sufficiente, sicuro e nutriente per soddisfare le loro esigenze dietetiche e preferenze alimentari per una vita attiva e sana", che ingloba in unico sistema alimentare i concetti di salubrità, accesso e disponibilità degli alimenti (Figura 4.10) ovvero aree di azione riguardanti:

1. La produzione, il trasporto e la distribuzione (accessibilità fisica ed economica);
2. La sicurezza chimica (pesticidi, metalli pesanti) e biologica (virus, batteri, muffe e tossine biologiche);
3. La qualità nutrizionale dell'alimento (ad es. un ottimale contenuto di proteine, carboidrati, vitamine e sali minerali).

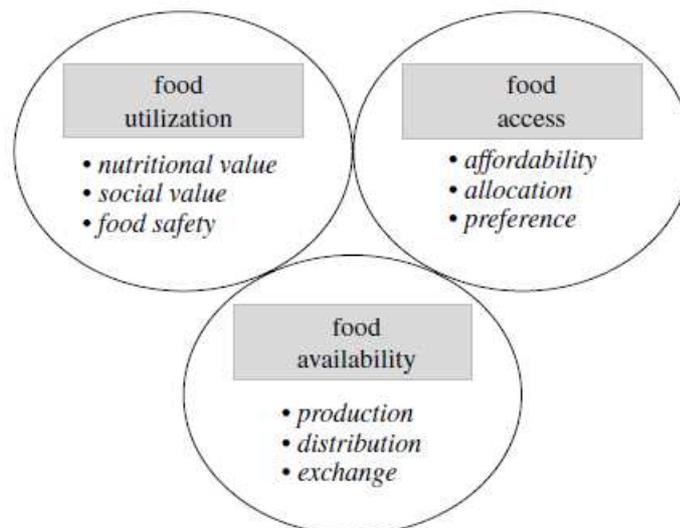
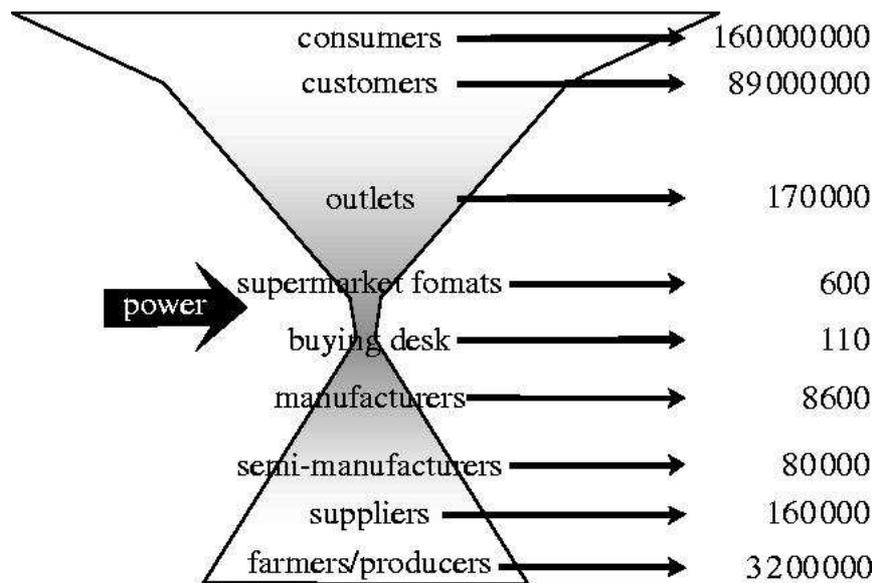


Figura 4.10: Le tre macro aree del sistema alimentare (Fonte: Ingram et al., 2005).

Tutti questi fattori, con meccanismi diversi, singolarmente o globalmente, sono influenzati dai determinanti meteo-climatici e ambientali associati ai cambiamenti climatici (aumento di temperatura media e umidità relativa, irregolarità degli eventi meteo-climatici, aumentata frequenza di eventi alluvionali e di ondate caldo/ freddo, prolungata siccità e desertificazione dei suoli, innalzamento del livello del mare (intrusioni saline) e della temperatura delle acque costiere e interne) specie in presenza di vulnerabilità ambientali e territoriali (rischio idrogeologico, pratiche agricole, qualità del suolo, gestione dell'acqua).

Sotto il profilo di gestione del rischio le principali aree di azione menzionate (accessibilità, qualità) corrispondono a soggetti e settori istituzionali diversi non sempre inseriti in una logica di sistema integrato. Inoltre l'economia e la gestione del sistema alimentare mostra alcuni elementi di concentrazione decisionale che, probabilmente, risentiranno di una limitata capacità di adattamento a necessità e richieste dei mercati locali e dei consumatori in uno scenario di variabilità degli effetti del clima (Figura 5.10).



**Figura 5.10:** I componenti della catena alimentare in alcuni Paesi OCSE europei indicano due strutture a piramide rovesciata che si riferiscono ad agricoltori e consumatori (Fonte: Grievink, 2003).

Ancora una volta la gravità degli effetti dei cambiamenti climatici si confronta con vulnerabilità preesistenti associate anche ai cambiamenti globali come sintetizzato nelle conclusioni della CGIAR (the Consultative Group on International Agricultural Research), una struttura di ricerca di riferimento per FAO e World Bank:

*“Continuare “business as usual” nell’interconnesso sistema alimentare globale attuale non ci porterà alla sicurezza alimentare e alla sostenibilità ambientale. Diverse minacce stanno convergendo – dai cambiamenti climatici, alla crescita demografica, all’uso insostenibile delle risorse – e intensificano in modo costante la pressione sull’umanità e sui governi del mondo intero per trasformare il modo in cui gli alimenti vengono prodotti, distribuiti e consumati”.*<sup>151</sup>

<sup>151</sup> Sicurezza alimentare messa a rischio dai cambiamenti climatici.

## *La sicurezza nella produzione alimentare*

I probabili effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura comprendono variazioni nella stagionalità delle colture, modifiche alle aree idonee per l'agricoltura e ai pascoli di bestiame, e variazioni nelle parassitosi delle piante (ad es. muffe, funghi e patogeni). L'insorgenza di patologie e micosi delle coltivazioni contribuiscono alla riduzione della disponibilità di alcuni alimenti e quindi, potenzialmente, influenzano la sicurezza della produzione alimentare a livello globale (riduzione delle scorte) e locale (effetti su mercati e sicurezza nutrizionale). Oltre al sistema agricolo anche la produzione ittica e la produzione di bestiame sono vulnerabili ai cambiamenti climatici. Eventi alluvionali e/o ondate di caldo più frequenti e di maggiore durata mettono a repentaglio anche la salubrità degli alimenti in stoccaggio o durante la filiera di preparazione dei cibi, richiedendo temperature di conservazione e preparazione più basse o più stabili. Tutto ciò comporta un adattamento della filiera alimentare a temperature più elevate o ad eventi estremi repentini, aumentando i costi di gestione, adeguamento e manutenzione dei locali destinati allo stoccaggio e alla preparazione nella filiera alimentare.

### *Agricoltura*

Ondate caldo-freddo, prolungata siccità e scarsità di risorse idriche, eventi alluvionali a seguito di lunghi periodi di assenza di piogge producono e produrranno danni consistenti alle coltivazioni.

Nelle regioni del sud Europa (Portogallo, Spagna, Francia meridionale, Italia, Slovenia, Grecia, Malta, Cipro, Bulgaria e Romania meridionale) e nella regione del Mar Nero, è previsto un aumento dell'ordine di 4-5 °C della temperatura media annuale. La riduzione della disponibilità di acqua combinata con l'aumento della temperatura potrebbe indurre diminuzione delle rese agricole (nel range del 10-30% in molte regioni del Sud), la siccità, le ondate di calore, degradazione del suolo e degli ecosistemi, e eventualmente desertificazione. L'aumento delle precipitazioni violente aumenterà l'erosione e la perdita di sostanza organica dal suolo .

Per l'inverno 2012 la Coldiretti ha stimato danni dal 20 al 50% della produzione (pomodoro, mais, soia, barbabietola, girasole) per quasi 300 milioni di Euro all'agricoltura italiana e una perdita di produttività agricola pari al 10% del PIL agricolo. La perdita di produttività è uno dei costi sociali principali così come il conseguente aumento dei prezzi dei generi alimentari o dei mangimi a causa della variabilità delle scorte alimentari.

### *Allevamento*

Le ondate caldo-freddo, i cambiamenti nella sopravvivenza e nelle popolazioni di patogeni e artropodi vettori di patologie, nonché l'eventuale contaminazione dei mangimi danneggiano la produttività degli allevamenti animali, incrementando la suscettibilità dell'animale alle patologie. Nel 2012 evento di alternata ondata caldo-freddo ha provocato la morte di circa 200 bovini negli Alpeggi italiani. Alcune zoonosi animali come Rift Valley fever, West Nile fever, Blue tongue, African Horse sickness, African Swine fever hanno mostrato avere un'alta sensibilità ai determinati climatici (Tirado et al., 2010). I costi sociali di questi fenomeni si ripercuotono sull'aumento dei

costi per cure veterinarie, perdita di stock (morte-malattie bestiame) con conseguente limitazione della produzione e della produttività, nonché l'aumento prezzi settore alimentare (carne e derivati).

### *Produzione ittica*

Come già discusso nei paragrafi precedenti, il cambiamento della temperatura media coinvolge anche le acque interne e costiere, favorendo le fioriture algali e la relativa produzione di tossine, l'aumento della resistenza e delle numerosità delle popolazioni di virus nelle acque (anche a seguito di contaminazioni da alluvioni e dilavamenti). Contribuiscono cioè a danneggiare e compromettere la produzione ittica in generale, con riduzione della produzione ma anche con compromissione chimico-biologica dello stock destinato ai consumatori. Il rischio di contaminazione alimenti da tossine algali, batteri e virus (*Vibrio spp*, *Norovirus*) registra perciò un probabile aumento. I costi sociali di tali impatti, al di là della perdita materiale di stock ittico, comprendono anche un aumento nei prezzi del settore alimentare ittico e a livello sanitario che l'aumento del numero di tossinfezioni e intossicazioni, una spesa pubblica per le cure mediche necessarie.

### *Contaminazione biotica e aflatossine*

L'impianto di nuovi organismi nocivi su vegetali e/o prodotti vegetali potrebbe avere gravi conseguenze sulla catena alimentare e dei mangimi, causando perdite di produzione o compromettendo la sicurezza di alimenti e mangimi, ad esempio, da un aumento dei residui di prodotti per la protezione delle piante o di micotossine. I potenziali impatti futuri clima sensibili su alcune parassitosi è stato esaminato in un progetto collaborativo JRC/EFSA, EU CLIMPEST,<sup>152</sup> dove è stato sviluppato un modello di simulazione per la parassitosi fogliare da funghi patogeni basata sull'evoluzione climatica dell'Unione Europea (in particolare per un patogeno degli agrumi (*Citrus spp*) *Guignardia citricarpa*, nome comune Citrus Black Spot - CBS).

*G. citricarpa* è considerato l'agente patogeno più importante per gli agrumi in Cina, Australia e Sud Africa, dove il settore degli agrumi è di grande importanza. Anche se di origine tropicale, il fungo si è affermato e provoca gravi danni anche nei climi subtropicali, come appunto in Cina, Australia, Argentina e Sud Africa. Qualora introdotto nelle zone di coltivazioni degli agrumi del Mediterraneo potrebbe affermarsi e causare gravi danni. Le analisi svolte con questo modello di simulazione mostrano come l'infezione può effettivamente propagarsi anche se non in tutte le località e con la stessa magnitudine delle località australiane. Anche nel caso più conservativo il modello prevede comunque una certa propagazione del parassita.

La siccità che l'estate del 2012 ha portato in gran parte dell'emisfero Nord, ha causato una forte riduzione della produzione di mais a livello mondiale (5,5%). Ma a questa riduzione va aggiunta la

---

<sup>152</sup> CLIMPEST - Model Framework for the assessment of EU climatic suitability for the establishment of organisms harmful to plants and plant products, <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Projects/CLIMPEST>.

perdita di raccolto a causa delle aflatossine, che sono state riscontrate in molti raccolti non solo negli Stati Uniti ad esempio, ma anche nel Nord Italia, con una verificata contaminazione da aflatossine (micotossine altamente tossiche) con presumibile perdita del 35% della produzione di mais nazionale destinato all'alimentazione umana e animale. Le micotossine nella filiera agroalimentare sono a tutt'oggi un problema di gestione del rischio agronomico e tossicologico per l'uomo e gli animali (Brera et al., 2013).

Le aflatossine, micotossine prodotte da funghi appartenenti alla classe degli Ascomyceti, sono sostanze tossiche e cancerogene che infestano mais, cereali e frutta secca, alimenti per il bestiame, come foraggi, insilati, farine di estrazione, rendono completamente inutilizzabile il raccolto, e spesso vengono rinvenute anche nel latte di bovini alimentati con cereali contaminati. *Aspergillus flavus* e *A. parasiticus* sono i principali funghi responsabili della produzione di aflatossine nei vegetali, e le condizioni climatiche sono il principale fattore condizionante la loro presenza finale in mangimi e alimenti (Bolzoni et al., 2013). Un clima caratterizzato da temperatura elevata seguita da brusco calo (giornate calde e notti fredde, temporali) favorisce la produzione di aflatossine, così come in generale qualsiasi fattore di stress, come ad esempio la rottura meccanica delle muffe. La produzione di aflatossine risulta particolarmente abbondante in stagioni con temperature superiori alla media e piovosità inferiore alla media (Piro & Biancardi, 2010). In un recente progetto di ricerca collaborativo finanziato dall'EFSA a cui hanno partecipato molti centri di ricerca italiani<sup>153</sup> è stato proposto un modello di previsione ed analisi per l'emergenza di contaminazione da micotossine in cereali come grano, mais e riso, a causa dei cambiamenti climatici. In particolare, le aflatossine che sono frequenti nelle zone tropicali e sub-tropicali possono diventare fonte di preoccupazione nell'UE. Il rischio di contaminazione da aflatossine è stato analizzato e predetto per tre scenari climatici. Tra i risultati di questo progetto è stato evidenziato che il rischio di contaminazione da aflatossine dovrebbe aumentare nel mais, soprattutto nello scenario +2 °C (innalzamento della temperatura media). In questo scenario, un netto aumento del rischio di aflatossine è stato mostrato in tipiche zone agricole europee, come nel centro e nel sud della Spagna, il sud d'Italia e nei Balcani, compresa la Turchia (porzione europea). Nello scenario +5 °C viene descritta una situazione diversa con un ampliamento notevole delle aree a rischio di aflatossine (espansione verso nord) ma una diminuzione complessiva del rischio di contaminazione (aree settentrionali meno calde). In questo scenario, l'anticipo di fioritura e raccolta è stato stimato da 10 a 15-20 giorni, rispettivamente, il che implica possibili cambiamenti nella gestione della pratica agricola.

In sintesi, nello scenario +2 °C, sono attesi più elevati livelli di contaminazione nelle zone dove il mais è attualmente coltivato mentre nello scenario di +5 °C, i livelli di contaminazione sono previsti essere più bassi, ma il rischio di contaminazione più ampio e esteso verso i paesi del nord dell'UE.

---

<sup>153</sup> MODMAP-AFLA - Modelling, predicting and mapping the emergence of aflatoxins in cereals in the EU due to climate change: <http://www.efsa.europa.eu/it/supporting/doc/223e.pdf>.

Infine il clima influisce anche sulla sicurezza chimica degli alimenti.

Nel caso dei contaminanti abiotici l'utilizzo più frequente e in maggiori quantità di fitofarmaci, pesticidi e farmaci veterinari nel caso di carne, pesce e derivati, incrementa il rischio di contaminazione da residui degli stessi negli alimenti, con presenza di livelli non accettabili di residui o presenza multi residuo negli alimenti destinati al consumo umano e nei mangimi. È prevedibile anche un possibile aumento del rischio di esposizione dei lavoratori del settore agricolo. Secondo un rapporto dell'EFSA (EFSA, 2009) la percentuale di campioni di frutta, verdure e cereali che hanno registrato residui multipli (2 o più residui) di pesticidi è aumentata in 10 anni (1996-2006) dal 15.4% nel 1997 al 27.7% in 2006. Nel 2007, la percentuale è diminuita leggermente al 26.2% dei campioni, in totale sono stati trovati residui (in quantità misurabile) di 354 differenti pesticidi in frutta e verdura e di 72 differenti pesticidi nei cereali. Questi fattori, insieme agli altri impatti sulla produzione agricola associati ai cambiamenti climatici sia diretti che indiretti mediati da altre vulnerabilità ambientali - come per esempio l'erosione e deterioramento qualità dei suoli e delle risorse idriche per uso irriguo - incidono sui prezzi di mercato e la disponibilità di alimenti locali di qualità che possono avere, nel complesso, effetti anche sulla sicurezza nutrizionale dei consumatori.

### *Qualità nutrizionale*

La qualità nutrizionale degli alimenti può essere alterata da vari fattori clima –dipendenti quali:

- Effetti sui terreni destinati all'agricoltura;
- Alterata produttività locale del settore agro-zootecnico;
- Effetti diretti sulle caratteristiche nutrizionali dei prodotti agroalimentari.

Come già discusso, molti sono gli impatti potenziali delle condizioni meteo-climatiche sui terreni destinati all'agricoltura. La modifica delle caratteristiche peculiari dei suoli agricoli, il profilo pedologico, che possono essere sottoposti a stress dovuti a prolungata siccità e repentini eventi meteorologici (anche alternati e nel breve periodo) con conseguente erosione, dilavamento e perdita di nutrienti, conducono anche alla necessità di un differente utilizzo di fertilizzanti e/o irrigazioni alterando l'assorbimento da parte dei prodotti agricoli degli elementi presenti nei suoli stessi. Inoltre ondate di caldo/freddo possono portare a stagioni alterate di crescita-maturazione dei prodotti ed eventualmente a caratteristiche alimentari differenti degli stessi.

La fragilità dei piccoli produttori (Figura 5.10) è ancor più esaltata considerando che vi è un'alta probabilità che il cambiamento del clima e degli eventi meteorologici avranno un impatto maggiore sulle piccole e medie imprese più che sulle coltivazioni estese delle grandi aziende, riducendo quindi (oltre agli effetti economici sugli imprenditori stessi), la capacità dell'utente finale di avere accesso ad alimenti della filiera locale, quindi alimenti coltivati (o allevati) su piccola scala spesso nutrizionalmente migliori, che non richiedono lunghi stoccaggi e che hanno impatti ambientali più bassi a livello di trasporti (i cosiddetti prodotti alimentari a Km 0).

L'accesso alle filiere locali non è confortato da alcuni dati sulla componente produttiva nel nostro Paese, in particolari per gli alimenti prioritari sotto il profilo sanitario,

Secondo i dati ISTAT il numero di aziende agricole in Italia sta progressivamente diminuendo (Tabella 2.10).<sup>154</sup>

Anno	1982	1990	2000	2010
<b>Territorio</b>				
Italia	3133118	2848136	2396274	1620884

Tabella 2.10: Trend numero di aziende agricole in Italia (Fonte: ISTAT).

Nonostante l'aumento delle attenzioni dei consumatori nei confronti del cibo di qualità, la superficie totale (in ettari) dedicata alla produzione di ortaggi in piena aria e di frutta fresca (Tabella 3.10)<sup>155</sup> è diminuita nell'ultimo decennio.

Anno	2000	2011	%
Ortaggi in piena aria	478371	418630	-12
Frutta fresca	486809	434356	-11

Tabella 3.10: Superficie agricola per produzione ortaggi e frutta in Italia (Fonte: ISTAT).

Alcune più recenti evidenze descrivono gli effetti diretti di variabili meteo climatiche e di CO<sub>2</sub> e ozono sui contenuti nutrizionali degli alimenti. L'elevata concentrazione di CO<sub>2</sub>, alla base stessa del fenomeno climatico, ha effetti differenti a seconda delle colture e spesso negativi. Elevati livelli di CO<sub>2</sub> ci si aspetta che producano cambiamenti nella qualità degli alimenti, ad esempio riduzione della concentrazione di proteine e nutrienti minerali, così come una composizione lipidica alterata (DaMatta et al., 2010). Un esempio è fornito dal riso (*Oryza sativa* L.) che è una delle coltivazioni più importanti a livello globale. Livelli elevati di CO<sub>2</sub> producono numerosi cambiamenti fisiologici nelle coltivazioni di riso, come cambiamenti nella fotosintesi, l'assorbimento e trasporto nella pianta dei nutrienti, l'espressione genica e l'attività enzimatica. L'alterazione di tali processi, influenzano con tutta probabilità e caratteristiche chimiche e fisiche dei chicchi di riso. Elevate concentrazioni di CO<sub>2</sub> hanno mostrato di diminuire significativamente la concentrazione di azoto o

<sup>154</sup> Serie storiche "Numero di aziende, superfici, giornate di lavoro per forma di conduzione, titolo di possesso, categoria di manodopera aziendale, classe di giornate di lavoro totale aziendale": <http://dati-censimentoagricoltura.istat.it/>.

<sup>155</sup> [http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSP\\_COLTIVAZ](http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSP_COLTIVAZ).

proteine nei chicchi di riso. Le informazioni disponibili in letteratura indicano comunque una chiara tendenza all'alterazione della qualità e quindi anche del valore commerciale del riso coltivato in ambienti ad alta concentrazione di CO<sub>2</sub> (Wanga et al., 2011).

Anche gli effetti dell'esposizione all'ozono durante la stagione di raccolta hanno effetti sulla qualità del riso. Le concentrazioni di proteine e lipidi in riso trattato con ozono aumentano significativamente, ma la concentrazione di amido e la massa si riducono. Altri parametri, tra cui le concentrazioni di ferro, zinco, fenoli, la viscosità e le caratteristiche geometriche del chicco non ha evidenziato effetti significativi. La produzione totale di riso integrale, la resa in proteine, e la resa in ferro sono stati influenzati negativamente dall'ozono (Frei et al., 2012).

L'effetto combinato di elevate concentrazioni di O<sub>3</sub> aumentano la concentrazione di Cadmio in piante di frumento coltivate su terreni contaminati da questo elemento. Cadmio e O<sub>3</sub> elevati hanno un effetto sinergico significativo sullo stress ossidativo nei germogli di grano (Guo et al., 2012).

I cambiamenti del clima molto probabilmente influiranno sulla varietà dei cereali di qualità, d'interesse per i diversi mercati e le loro esigenze di utilizzo. L'aumento della temperatura in futuro cambierà valore nutrizionale e lavorazione dei cereali. Uno dei primi esperimenti che combinano la temperatura e le precipitazioni ha mostrato che la temperatura elevata penalizza la qualità dei grani di orzo più severamente rispetto ai cambiamenti nelle precipitazioni. Diversi aminoacidi proteinogenici sono aumentati a causa della temperatura elevata, mentre la loro composizione è stato solo leggermente modificata. Le concentrazioni totali di carboidrati non strutturali, amido, fruttosio e raffinosio erano inferiori in piante coltivate ad alte temperature, mentre il maltosio era maggiore. La fibra grezza è rimasta inalterata dal riscaldamento, mentre le concentrazioni di lipidi e alluminio sono stati ridotti. Le precipitazioni hanno influenzato solo marginalmente i chicchi d'orzo: la riduzione ha aumentato le concentrazioni di diversi minerali (sodio, rame) e amminoacidi (leucina) (Högy et al., 2013).

Anche la produzione di prodotti derivanti dagli allevamenti animali (carne, uova, latte e derivati) possono essere nutrizionalmente alterate da fenomeni di stress fisiologico a cui vanno incontro gli animali da allevamento a causa di ondate di calore e di gelo alternate e prolungate. Inoltre un utilizzo di mangimi alterati dal punto di vista nutrizionale (per i medesimi motivi incorrenti nelle produzioni agricole) ha ovvie ricadute sulla crescita degli animali da allevamento. Ancora poche sono le informazioni disponibili sui cambiamenti nella qualità nutrizionale degli alimenti, campo che ad oggi richiederebbe un maggiore interesse investigativo scientifico.

## **Clima e salute: i danni diretti**

### *Eventi meteorologici avversi*

Tra gli effetti diretti sulla salute da cambiamenti climatici sono ben noti nel nostro Paese e nella percezione comune quelli associati all'esposizione ad alte temperature nelle ondate di calore (vedi paragrafo successivo).

Le anomalie termiche includono comunque anche le ondate di gelo, cause che sono state associate, tra gli altri effetti clinici noti, anche ad aumento di accessi di mortalità per malattie cardiache e respiratorie. Maggiormente vulnerabili appaiono essere le popolazioni che vivono generalmente in climi temperati. Lo studio effettuato sulle conseguenze dell'ondata di freddo che ha colpito l'Italia nell'inverno 2011-2012 (de' Donato et al., 2013) ha evidenziato un globale eccesso di mortalità (25%) in soggetti ultra-75enni nelle 14 città esaminate affette dall'ondata di freddo del febbraio 2012. Alcuni Paesi europei (ad es. Inghilterra, Francia) stanno mettendo a punto sistemi di sorveglianza idonei sull'esperienza dei sistemi di prevenzione ed allarme per le ondate di calore.

Tra le implicazioni del globale fenomeno dei cambiamenti climatici molti autori includono anche l'eccessiva esposizione alle radiazioni UV causata dall'assottigliamento dello strato dell'ozono stratosferico, dal momento che è stata riconosciuta una interazione tra questo e i gas serra causa del riscaldamento globale che ha richiesto anche interventi normativi.<sup>156</sup> Le temperature più miti favoriscono anche una maggiore esposizione outdoor specie nei Paesi a clima tradizionalmente più freddo e, quindi, ai potenziali effetti delle radiazioni UV riconosciute dall'OMS<sup>157</sup> come fattore di rischio per l'insorgenza di tumori cutanei (specie raggi UVB a lunghezza d'onda più corta), danni oculari (cheratiti, cataratte precoci) ed effetti avversi sul sistema immunitario (raggi UVA e UVB).

Vanno altresì menzionati, tra i danni diretti, anche i rischi per la salute negli scenari di aumento degli incendi associati a vulnerabilità territoriali, aumento delle temperature e delle stagioni siccitose.

Tra i danni diretti associati ai cambiamenti climatici vanno comunque annoverati anche quelli conseguenti agli eventi meteorologici avversi come alluvioni, frane, valanghe, inondazioni costiere, trombe d'aria. Di questi, nonostante il loro visibile aumento nel nostro Paese, specie negli ultimi anni, non si dispone ad oggi di un'informazione sistematica dei loro impatti, nè per quelli diretti, inclusi i danni socio-economici, che per gli indiretti ovvero dell'aumento di patologie fisiche e psichiatriche conseguenti agli eventi estremi e, in alcuni casi, al ripetersi di tali eventi in un non lungo intervallo temporale .

---

<sup>156</sup> Ex multis: Il Regolamento (CE) n. 842/2006: serie di disposizioni che hanno come obiettivo la riduzione delle emissioni dei tre gruppi di gas fluorurati ad effetto serra contemplati dal Protocollo di Kyoto: gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>) utilizzati in alcune tipologie di apparecchiature e applicazioni industriali. Decreto Legislativo 5 marzo 2013, n. 26 recante la disciplina sanzionatoria per la violazione delle disposizioni di cui al Regolamento (CE) n. 842/2006 su taluni gas fluorurati ad effetto serra (G.U. n. 74 del 28 marzo 2013) -

<sup>157</sup> <http://www.who.int/globalchange/climate/summary/en/index7.html>.

A livello globale e nel continente europeo tra gli eventi meteorologici avversi le alluvioni/inondazioni sono le più frequenti, e numerosi sono i potenziali effetti negativi per la salute umana, tra questi:

- morti traumatiche, principalmente per annegamento;
- ferite;
- gastroenteriti;
- salute mentale come il disturbo post-traumatico da stress;
- malattie trasmesse da vettori;
- malattie trasmesse dai roditori quali la leptospirosi;
- avvelenamento causato da sostanze tossiche;
- morsi di rettili che cercano rifugio nelle case per sfuggire all'inondazione;
- crescite delle muffe e spore nel periodo immediatamente successivo alle inondazioni (allergeni indoor);
- altri risultati sanitari negativi quali l'interruzione dei servizi sanitari espostamento della popolazione.

In generale il gap informativo degli impatti socio-economici nelle alluvioni e degli elementi che modulano la gravità degli impatti è condiviso in ambito UE. Tale problematica è stata affrontata nel progetto europeo MICRODIS<sup>158</sup> per gli aspetti di approccio conoscitivo utile non solo alle valutazioni d'impatto, ma anche a rafforzare la capacità adattativa delle comunità locali e dei settori strategici (non sanitari) per le misure di adattamento.

Le strategie di adattamento dovranno anche tener conto dei fattori che incidono sulla vulnerabilità della popolazione che possono essere preesistenti, concorrenti o realizzarsi a seguito dell'alluvione (Lowe et al., 2013), tra questi l'insorgenza di disturbo post-traumatico da stress sia negli addetti alle emergenze che nella popolazione colpita (Stanke et al., 2012).

In Italia, in assenza di un sistema informativo *ad hoc*, le stime sugli impatti diretti e socio-economici negli eventi estremi vengono operate sulla base di più fonti, per periodi temporali difformi e in assenza di criteri di selezione e raccolta dei dati di riferimento<sup>159</sup> sono relative solo ad eventi disastrosi che devono corrispondere a rigorosi parametri d'inclusione (numero di decessi, di feriti, popolazione colpita e necessità di aiuti internazionali) che quindi, in sintesi, non descrivono assolutamente il quadro reale a livello nazionale nè tantomeno le vulnerabilità territoriali che

---

<sup>158</sup> MICRODIS: <http://www.microdis-eu.be>.

<sup>159</sup> <http://www.emdat.be/database>.

concorrono alla realizzazione degli impatti. Le poche informazioni disponibili su vulnerabilità idrogeologiche e impatti comunque configurano un quadro di rischio socio-economico: nelle aree classificate come ad alto rischio di frane e alluvioni è stata stimata la presenza di oltre 1 milione gli edifici ad uso prevalentemente residenziale, 6.251 scolastici e 547 strutture ospedaliere. Tra gli insediamenti non residenziali i capannoni a uso produttivo sono circa 34.000 e circa 24.000 quelli commerciali (ANCE/CRESME, 2012 su dati ISTAT e MATTM). Per l'anno 2011 i dati ISPRA registrano 91 episodi franosi con 39 vittime e danni stimati di oltre 1,60 miliardi di Euro. Per danni da eventi meteorologici avversi la Protezione Civile nel biennio gennaio 2009-gennaio 2011 ha stanziato, per soli interventi urgenti, fondi per oltre 1,3 miliardi di Euro. L'analisi di fonti varie (elaborazione CRESME) stima che tra il 2002 e il 2012 gli eventi di dissesto che hanno provocato danni diretti alla popolazione (con vittime, feriti e sfollati) hanno provocato circa 290 morti (128 dovuti alle alluvioni e 165 alle frane).

### *Ondate di calore e rischi per la salute*

Nei Paesi industrializzati uno dei principali rischi per la salute associato ai cambiamenti climatici è rappresentato dall'aumento della frequenza e dell'intensità di episodi di ondata di calore che, insieme al progressivo invecchiamento della popolazione, aumenteranno il carico di decessi e di patologie nelle fasce di popolazione a maggior rischio, soprattutto nelle grandi aree urbane.

Una delle prime ondate di calore descritte nel nostro Paese è quella verificatasi a Roma nell'estate del 1983. In quell'anno furono registrate temperature massime al di sopra delle medie stagionali e negli stessi giorni venne evidenziato un significativo aumento della mortalità totale e della mortalità per cause cardiovascolari rispetto all'anno precedente. Studi successivi, utilizzando metodi di analisi più complessi, hanno evidenziato che le temperature elevate hanno un effetto a breve termine sulla mortalità: picchi di mortalità della popolazione si registrano infatti con un tempo di latenza molto breve, di 1-2 giorni, dal picco di temperatura osservato (Basu & Ostro, 2008).

Valutazioni sull'impatto dell'ondata di calore del 2003 in Europa hanno stimato più di 70.000 morti in eccesso in 12 Paesi europei, con effetti maggiori in Francia, Germania, Spagna e Italia); si è trattato soprattutto di persone sole, di età maggiore di 75 anni, con malattie croniche e disabilità funzionale, che vivevano in aree urbane con basso livello socio-economico (Åström et al., 2011; Baccini et al., 2008; Bell et al., 2008; Johnson et al., 2005).

L'estate 2012 è stata la seconda più calda dal 1800 a oggi e, secondo gli esperti del CNR, inferiore solo alle condizioni osservate nell'estate 2003. Nel 2012 il caldo eccezionale ha interessato prevalentemente le regioni del centro e del centro-nord, mentre nel 2003 l'ondata di calore aveva interessato tutte le regioni italiane.

Considerata l'eccezionalità delle temperature osservate in Italia nell'estate 2012, risulta particolarmente interessante fare un confronto con l'estate 2003 in termini di effetti sulla mortalità

della popolazione, a dieci anni di distanza dall'attivazione del Sistema nazionale di allarme<sup>160</sup> e del Piano nazionale di prevenzione del Ministero della Salute.<sup>161</sup>

Da tale confronto si evidenzia un effetto minore nel 2012, con eccessi significativi solo a Roma e Bolzano. Complessivamente nelle città analizzate il numero di casi in eccesso sono stati 2.704 nel 2003 (incremento pari a +46%) e 226 nel 2012 (incremento pari +7%). Occorre tuttavia evidenziare che, in termini di durata, l'esposizione nel 2003 è stata maggiore e questo dato è significativo dal momento che uno studio multicentrico europeo (progetto EuroHEAT<sup>162</sup>) (D'Ippoliti et al., 2010) ha evidenziato che "la durata" dell'ondata di calore (oltre cinque giorni), più dell'intensità, ha un effetto significativo nell'aumentare l'impatto sulla mortalità.

Il recente aggiornamento (marzo 2013) delle Linee di indirizzo del Ministero della Salute per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute<sup>163</sup> evidenzia le maggiori conoscenze scientifiche sul fenomeno e sulla situazione italiana di seguito esaminate.

Le variazioni di temperatura dell'ambiente esterno determinano effetti a breve termine sulla salute delle popolazioni esposte in termini di incrementi della mortalità. Tale effetto si verifica al di sopra di un valore di temperatura definito "valore soglia", che è specifico per ogni popolazione, ed è funzione del livello di suscettibilità della popolazione e della sua capacità di adattamento alle condizioni climatiche locali. Inoltre, in una stessa area geografica, l'impatto delle ondate di calore sulla popolazione può variare, non solo al variare dei livelli di esposizione ma anche a seguito dell'implementazione di interventi di prevenzione e di cambiamenti delle caratteristiche socio-demografiche che determinano la suscettibilità individuale

Esaminando le caratteristiche dell'ondata di calore in termini di durata e intensità, è stato riscontrato che gli effetti maggiori si osservano durante ondate di calore di lunga durata (oltre cinque giorni) in cui si registrano incrementi della mortalità 2-5 volte più elevati rispetto alle ondate di più breve durata. Inoltre è stato osservato che le ondate di calore che si verificano precocemente, all'inizio della stagione estiva, hanno un impatto maggiore sulla salute della popolazione rispetto a episodi di uguale intensità che si verificano successivamente nel corso dell'estate. L'incremento della mortalità associata alle ondate di calore è un fenomeno noto e ben documentato, ma rappresenta solo una parte del fenomeno, in quanto esistono una serie di effetti che, al decrescere del livello di gravità, interessano porzioni sempre più ampie di popolazione. Gli effetti del caldo sulla salute vanno da sintomi che non arrivano all'attenzione clinica (ad es. riduzione delle capacità fisiche), a sintomi di maggiore entità, spesso non quantificabili poiché non

---

<sup>160</sup> Sistema nazionale di sorveglianza, previsione e di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute della popolazione (HHWWS) del dipartimento Protezione Civile nazionale.

<sup>161</sup> Il Piano operativo nazionale per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute" del Ministero della Salute si aggiorna dal 2004. Il piano più recente per l'estate 2014 è disponibile al link:  
[http://www.salute.gov.it/portale/documentazione/p6\\_2\\_2\\_1.jsp?lingua=italiano&id=2166](http://www.salute.gov.it/portale/documentazione/p6_2_2_1.jsp?lingua=italiano&id=2166)

<sup>162</sup> EuroHEAT: [www.euroheat-project.org/](http://www.euroheat-project.org/).

<sup>163</sup> Le "Linee di indirizzo per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute" del 2013 sono state approvate dal Consiglio Superiore di Sanità, III sezione, nella seduta del 19 marzo 2013 e sono disponibili sul portale del Ministero  
[http://www.salute.gov.it/portale/documentazione/p6\\_2\\_2\\_1.jsp?lingua=italiano&id=1959](http://www.salute.gov.it/portale/documentazione/p6_2_2_1.jsp?lingua=italiano&id=1959).

si dispone di sistemi di monitoraggio, fino ad effetti più gravi che possono determinare il ricorso al Pronto Soccorso e il ricovero in ospedale. L'occorrenza di questi effetti è quantificabile attraverso l'uso dei sistemi informativi sanitari.

L'età tra i principali co-fattori di rischio per la mortalità e la morbosità legate all'esposizione ad alte temperature (ultra-75enni). Tra le cause di morte registrate più frequentemente in associazione con episodi di onde di calore, in letteratura sono indicate le seguenti: cardiopatia ischemica, accidente vascolare cerebrale, diabete, broncopneumopatia, cause violente, omicidio e suicidio. In associazione con episodi di ondate di calore è stato registrato anche un significativo aumento degli accessi al Pronto Soccorso e alle cure ospedaliere per le stesse cause sopra elencate e per nefropatie, disordini del sistema nervoso centrale, enfisema ed epilessia.

Nelle stesse linee d'indirizzo del Ministero della Salute su citate vengono evidenziati anche altri fattori incidenti sulla vulnerabilità della popolazione agli effetti delle alte temperature e delle ondate di calore: la "susceptibilità" individuale (stato di salute, caratteristiche socio-demografiche e di ambiente di vita) e/o la presenza di sottogruppi della popolazione ad elevato rischio definito "pool di suscettibili" e la capacità di adattamento sia a livello individuale che di contesto sociale e ambientale (percezione/riconoscimento del rischio, disponibilità di risorse).

Numerosi studi rilevano una maggiore vulnerabilità dei neonati e dei bambini alle alte temperature tra cui un'associazione tra caldo e mortalità nei bambini per cause legate al periodo perinatale (disturbi del sistema digestivo, infezioni, disturbi respiratori e cardiovascolari)

Sono disponibili solide evidenze in letteratura di un incremento del rischio di decesso in seguito all'esposizione al caldo intenso, tra le persone affette da alcune malattie croniche (come ad esempio diabete, Alzheimer, Parkinson, malattie cardiache, respiratorie e renali croniche) che ne determinano la particolare suscettibilità di questa popolazione agli effetti delle ondate di calore (WHO Euro, 2011). L'assunzione di alcuni tipi di farmaci può rappresentare un ulteriore fattore di rischio per gli effetti del caldo interferendo con il meccanismo della termoregolazione o alterando lo stato di idratazione del paziente. I fattori socio-economici quali la povertà, l'isolamento, la non conoscenza della lingua locale, il limitato accesso ai media - televisione e giornali - aumentano la condizione di fragilità perché riducono la consapevolezza dei rischi e limitano l'accesso alle soluzioni di emergenza ed, inoltre, limitano le possibilità di spostare temporaneamente il proprio domicilio in zone più fresche quando le condizioni climatiche sono sfavorevoli o di condizionare l'aria della propria abitazione.

Tra i gruppi vulnerabili vanno anche annoverati le diverse tipologie di lavoratori esposti per la loro occupazione a temperature ambientali elevate ed essere quindi maggiormente a rischio di sviluppare disturbi associati al caldo (lavoratori edili, operai di cantieri stradali, agricoltori, ecc.) per i quali vanno previste opportune misure di informazione (come riconoscere i segni e i sintomi dello stress termico e del colpo di calore per esempio) e di prevenzione.

## *Le strategie delle autorità sanitarie in Italia per la governance dei rischi da ondate di calore*

I risultati dell'estate 2012 confermano una riduzione dell'effetto delle elevate temperature quale risultato di successo dell'implementazione del piano nazionale di prevenzione promosso dal Ministero della Salute e dal Centro per la Prevenzione Controllo delle Malattie (CCM). Tali risultati sono stati anche confermati in un recente studio condotto in 16 città italiane che mette a confronto due periodi: "pre" e "post" attivazione del piano di prevenzione nazionale (Schifano et al., 2012) che documenta una sostanziale riduzione dell'effetto del caldo sulla mortalità nei soggetti di età superiore ai 65 anni negli anni più recenti (2006-2010) rispetto al periodo precedente (1998-2002). Il Piano italiano rappresenta un'esperienza unica in Europa in quanto si basa sulle migliori evidenze disponibili ed è stato implementato secondo le linee guida internazionali dell'OMS. In particolare, il coordinamento centrale dei sistemi di allarme, del monitoraggio rapido della mortalità e delle attività di prevenzione nell'ambito del Piano nazionale, hanno consentito l'adozione di strumenti comuni (pur tenendo conto dell'eterogeneità tra le diverse città in termini di impatto del caldo e delle risorse e livelli di organizzazione locali) ed una condivisione delle "migliori pratiche" in ambito di sanità pubblica (Ministero della Salute, 2006) ed ha contribuito ad aumentare la capacità adattativa della popolazione insieme a modifiche dei comportamenti individuali.

Dal 2004 è anche attivo il sistema di sorveglianza epidemiologica degli eccessi di mortalità che si avvale di un sistema di rilevazione rapido della mortalità giornaliera messo a punto su iniziativa del Dipartimento della Protezione Civile e del Ministero della Salute al fine di monitorare in tempo reale la mortalità associata alle ondate di calore. Il sistema include tutti i capoluoghi di regione e le città con più di 200.000 abitanti; dal 2007 è attivo tutto l'anno in 34 città.

Ogni giorno, dati anonimi relativi ai decessi dei residenti avvenuti in ciascuna città sono trasmessi online dagli Uffici di Stato Civile dei Comuni al Centro di Competenza Nazionale (Dipartimento di Epidemiologia ASL RME - oggi Dipartimento di Epidemiologia del Sistema Sanitario della Regione Lazio). Il sistema di rilevazione consente di disporre dei dati di mortalità relativi alla popolazione residente, entro le 72 ore successive al decesso. Per ogni città i dati individuali vengono aggregati in base alla data del decesso per la popolazione totale e anziana (età  $\geq 65$  anni). L'eccesso di mortalità giornaliera viene quindi calcolato come la differenza tra numero di decessi osservati e attesi nella popolazione anziana (decessi attesi = media dei decessi calcolata sui dati storici di mortalità). Giornalmente il CCN riceve dal Servizio Meteorologico del DPC i dati meteorologici registrati presso la stazione aeroportuale più vicina alla città ad intervalli di 6 ore, dai quali viene calcolato il dato giornaliero della temperatura apparente massima.

Il monitoraggio degli accessi al Pronto Soccorso rappresenta uno strumento messo a punto dal Ministero della Salute in via sperimentale nell'estate del 2012 in 10 città, per consentire un monitoraggio in tempo reale dell'esposizione al caldo sulla salute in termini di morbilità. E' uno strumento importante per la sorveglianza in tempo reale della morbilità associata alle ondate di

calore e l'attivazione in tempi rapidi della risposta all'emergenza in caso di condizioni climatiche avverse.

Il sistema prevede la trasmissione al CCN dei dati relativi agli accessi al Pronto Soccorso per cause non traumatiche della popolazione residente nel periodo di attività dei sistemi di allarme (15 maggio-15 settembre). Le informazioni sono rilevate, a seconda della disponibilità dei dati, su base aggregata (numero di accessi giornalieri per genere e classe di età) o su base individuale anonima (informazioni rilevate: genere, data di nascita, età, diagnosi principale di dimissione, esito, comune di residenza). I dati sono trasmessi al CCN a cadenza settimanale o, in occasione di ondata di calore, con cadenza giornaliera. L'analisi dei dati in occasione di ondata di calore permette di stimare l'incremento del numero di accessi giornalieri come differenza tra il numero di accessi osservati e di quelli attesi sulla base dei dati della serie storica resa disponibile per ogni città.

Gli studi condotti per valutare l'impatto del caldo sulla salute attraverso i dati dei sistemi dell'emergenza sanitaria hanno evidenziato un incremento degli accessi al Pronto Soccorso durante i periodi di ondata di calore tra la popolazione anziana (età  $\geq 75$  anni) ed i bambini di età compresa tra 0 e 4 anni. Le cause più frequenti degli accessi sono il colpo di calore, lo squilibrio elettrolitico, la sindrome nefrosica, l'insufficienza renale acuta, le malattie cardiovascolari e respiratorie. In diversi Paesi europei sono attivi sistemi di sorveglianza basati sulla rilevazione in tempo reale delle informazioni sul ricorso alle strutture di emergenza per alcune cause specifiche utilizzate come indicatori dell'impatto del caldo estremo sulla salute: disidratazione, ipertermia, iponatremia, insufficienza renale. La non disponibilità di una serie storica di dati sufficientemente lunga per molte delle città coinvolte ha rappresentato un limite importante per il calcolo degli accessi attesi con cui confrontare i valori osservati durante l'estate 2012 e poter, quindi, stimare eventuali eccessi nei periodi di ondata di calore.

Si prevede una maggiore operatività del sistema nel corso delle prossime estati, attraverso il coinvolgimento di un numero maggiore di città e di strutture di Pronto Soccorso per raggiungere una rappresentatività significativa dell'intero territorio nazionale, e l'acquisizione, ove possibile, di serie storiche sufficientemente lunghe.

Oltre a fattori di natura sanitaria e socio-demografica, il livello di suscettibilità di un individuo è influenzato anche da condizioni ambientali di vita in ambiente urbano che accentuano la vulnerabilità microclimatica locale (quali l'effetto da isola di calore urbana, la riduzione della ventilazione, la maggiore concentrazione di presidi meccanici per il condizionamento delle temperature indoor) e determinano condizioni sinergiche di rischio come l'inquinamento atmosferico (quartieri ad alta densità di traffico). Come già discusso nelle sezioni precedenti infatti nei grandi centri urbani, l'esposizione simultanea agli inquinanti atmosferici – in particolare all'ozono ed al particolato – potenzia gli effetti delle alte temperature, richiamando la necessità, sempre più urgente, di efficaci misure per la riduzione dell'inquinamento atmosferico outdoor oltre all'implementazione di uso di materiali e del territorio urbano finalizzati all'abbattimento dell'isola di calore urbano.

## Considerazioni finali

### *La componente salute nelle strategie d'adattamento ambientale*

L'adozione di misure di adattamento è urgente sia perché numerose sono le vulnerabilità territoriali, ambientali e socio-demografiche che, nel loro complesso modulano la realizzazione e le caratteristiche di gravità degli impatti, sia perché sulle costanti meteo-climatiche – ormai in discussione - si sono organizzati, stabilizzati e evoluti i sistemi di prevenzione sanitaria, ambientale e territoriale, le tecnologie applicate alla sicurezza delle infrastrutture, l'edilizia residenziale e la pianificazione di attività socio- produttive strategiche come turismo e agricoltura.

I cambiamenti climatici e l'aumento di frequenza degli eventi estremi osservati ed i futuri scenari condivisi hanno posto in discussione tali costanti, e richiedono un adattamento di tali sistemi insieme ad una gestione informata degli operatori dei vari settori delle conseguenze sanitarie e socio-economiche evidenziate dalla comunità scientifica internazionale. E' auspicabile che le valutazioni di vulnerabilità per benessere, sicurezza e rischi sanitari siano parte integrante delle strategie di adattamento di questi settori e che vengano inclusi in un approccio integrato delle strategie ambientali con interventi anche normativi in presenza di vulnerabilità dei sistemi di prevenzione, come la gestione e il controllo sostenibile e qualificato degli insetti vettori, la gestione del rischio di malattie idrotrasmesse (incluso il collegamento con i gestori dei servizi idrici), il potenziamento delle politiche di tutela di qualità dell'aria outdoor e indoor.

Interventi strutturali e non in aree a rischio idrogeologico e di inondazione, tecniche e tecnologie per la mitigazione delle isole di calore urbano e dell'uso di sostanze chimiche in agricoltura, la tutela della qualità degli ecosistemi terrestri, marini e acquatici da anomalie termiche e contaminazioni chimiche e biologiche, la resilienza tecnologica dei servizi idrici, reti fognarie e depuratori, la gestione ambientale di insetti vettori di malattie infettive e di specie allergizzanti sono, tutti esempi di azioni afferenti a settori diversi da quello sanitario ma che comunque concorrono alla prevenzione e mitigazione dei rischi per la salute e potenziano l'efficacia degli interventi sanitari di sorveglianza e controllo delle malattie. I determinanti di salute, cioè quei fattori che incidono su frequenza e magnitudo del rischio, ricadono infatti anche nel loro ambito così come i costi sopportati per continuare a garantire la tutela di salute, benessere e sicurezza della popolazione dai rischi indotti dai cambiamenti climatici che, rimane, quindi una responsabilità condivisa.

## Bibliografia

- Accordini, S., Corsico, A.G., Braggion, M., Gerbase, M.W., ..., De Marco, R. (2013). The Cost of Persistent Asthma in Europe: An International Population-Based Study in Adults. *Int Arch Allergy Immunol.* 2013, 160(1):93-101. doi: 10.1159/000338998.
- Ade, P., Funari, E., Poletti, R. (2003). Il rischio sanitario associato alle tossine di alghe marine. *Ann Ist Sup Sanità* 2003, 39 (1):53-68.
- Alessandrini, E.R., Faustini, A., Chiusolo, M., Stafoggia, M., ... , Gruppo Collaborativo EpiAir2. Inquinamento atmosferico e mortalità in venticinque città italiane: risultati del progetto EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):220-9.
- ANCE/CRESME (2012). Lo stato del Territorio Italiano 2012 - Insediamento e rischio sismico e idrogeologico. Primo Rapporto ANCE/CRESME. Roma, ottobre 2012.
- Anderson, G.B., Bell, M.L. (2009) Weather-related mortality: how heat cold and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*; 20(2):205-13,2009.
- APAT/OMS (2007). Cambiamenti climatici ed eventi estremi: rischi per la salute in Italia. APAT Rapporti 77/2007, ISBN: 978-88-848-0309-4.
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., Anderson, H.R., Bisanti, L., D'Ippoliti, D., Danova, J., Forsberg, B., Medina, S., Paldy, A., Rabczenko, D., Schindler, C., Michelozzi, P. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology* 2008;19(5):711-9.
- Basu, R., Ostro, B.D. (2008). A multicounty analysis identifying the populations vulnerable to mortality associated with high ambient temperature in California. *Am J Epidemiol*, 168(6):632-7, 2008.
- Bayram, H., Sapsford, R.J., Abdelaziz, M.M., Khair, O.A. (2001). Effect of ozone and nitrogen dioxide on the release of proinflammatory mediators from bronchial epithelial cells of nonatopic nonasthmatic subjects and atopic asthmatic patients in vitro. *J Allergy Clin Immunol.* Feb;107(2):287-94, 2001.
- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Jovanovic Andersen, Z., Weinmayr, G., Hoffmann, B., ..., Hoek, G. (2013). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet*, Volume 383, Issue 9919, Pages 785 - 795, 1 March 2014. doi:10.1016/S0140-6736(13)62158-3.
- Bell, M.L., O'Neill, M.S., ..., Gouveia, N.C. (2008). Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City. *Mexico Int J Epidemiol* 2008;37(4):796-804.
- Bellomo, R., Gigliotti, P., Treloar, A., Holmes, P., Suphioglu, C., Singh, M.B., Knox, B. (1992). Two consecutive thunderstorm associated epidemics of asthma in the city of Melbourne. The possible role of rye grass pollen. *Med J Aust.* 1992 Jun 15;156(12):834-7.
- Bernard, S.M., Samet, J.M., Grambsch, A., Ebi, K.L., Romieu, I. (2001). The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Air Pollution-Related Health Effects in the United States. *Environ Health Perspect*, 109(suppl 2):199-209 (2001).
- Boccia, D., Tozzi, A.E., Cotter, B., Rizzo, C., Russo, T., Buttinelli, G., Caprioli, A., Marziano, M.L., Ruggeri, F.M. (2002). Waterborne outbreak of Norwalk-like virus gastroenteritis at a tourist resort, Italy. *Emerging Infectious Diseases*, 2002; 8(6):563-8.

- Boccolini, D., Di Luca, M., Toma, L., Severini, F., Massa, A., Mancini Barbieri, F., Tamburro, A., Pontuale, G., Cocchi, M., Romi, R. (2009). Ulteriori indagini sulla presenza di specie del complesso *Anopheles maculipennis* nella maremma toscana. Atti XXII Congresso Nazionale di Entomologia, Ancona 15-18 giugno 2009: 239.
- Boccolini, D., Toma, L., Di Luca, M., Severini, F., Cocchi, M., Bella, A., Massa, A., Mancini Barbieri, F., Buongiorno, G., Angeli, L., Pontuale, G., Raffaelli, I., Fausto, A.M., Tamburro, A., Romi, R. (2012). Impact of environmental changes and human-related factors on the potential malaria vector, *Anopheles labranchiae* (Diptera: Culicidae), in Maremma, Central Italy. *Journal of Medical Entomology*, 2012; 49 (3).
- Bolzoni, G., Zanardi, G., Bertocchi, L., Delle Donne, G. (2013). Risultati delle analisi dell'autocontrollo per la contaminazione da Aflatossina M1 nel latte in Lombardia. *Large Animal Review* 2013; 19: 251-255.
- Bonadonna, L., Di Porto, M. (2009). L'acqua come veicolo di malattie: elaborazione e valutazione di dati registrati e notificati nell'area di Roma. *Rapporti ISTISAN* 09/3, 2009.
- Botana, L.M. (Ed.) (2008). *Seafood and Freshwater toxins: Pharmacology, Physiology and Detection*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, pp. 149-161.
- Brera, C., De Santis, B., Debegnach, F., Gregori, E., Pannunzi, E., Barea Toscan, M.C. (2013). IV Congresso Nazionale. Le micotossine nella filiera agro-alimentare. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 11-13 giugno 2012. Atti.2013, vi, 172 p. *Rapporti ISTISAN* 13/18.
- Burge, H.A. (2002). Un update on pollen and fungal spore aerobiology. *J allergy Clinical Immunol* 2002;110:544-52.
- Caburlotto, G., Gennari, M., Ghidini, V., Tafi, M., Lleo, M.M. (2009). Presence of T3SS2 and other virulence-related genes in tdh-negative *Vibrio parahaemolyticus* environmental strains isolated from marine samples in the area of the Venetian Lagoon, Italy. *FEMS Microbiol Ecol.* 2009 Dec;70(3):506-14. doi: 10.1111/j.1574-6941.2009.00764.x. Epub 2009 Aug 18.
- Caburlotto, G., Gennari, M., Ghidini, V., Tafi, M., Lleo, M.M. (2010). Serological and molecular characterization of *Vibrio parahaemolyticus* marine strains carrying pandemic genetic markers. *ISME J.* 2010 Aug;4(8):1071-4. doi: 10.1038/ismej.2010.34. Epub 2010 Apr 15.
- Capelli, G., Drago, A., Martini, S., Montarsi, F., Soppelsa, M., Delai, N., Ravagnan, S., Mazzon, L., Schaffner, F., Mathis, A., Di Luca, M., Romi, R., Russo, F. (2011). First report in Italy of the exotic mosquito species *Aedes (Finlaya) koreicus*, a potential vector of arboviruses and filariae. *Parasites & Vectors*, 4: 188.
- Cecchi, L., Torrigiani Malaspina, T., Albertini, R., Zanca, M., Ridolo, E., Usberti, I., Morabito, M., Dall'Aglio, P., Orlandini, S. (2007). The contribution of long-distance transport to the presence of *Ambrosia* pollen in central northern Italy. *Aerobiologia*; 23:145-151, 2007.
- Cerbin, S., Kraak, M.H.S., de Voogt, P., Visser, P.M., Van Donk, E. (2010). Combined and single effects of pesticide carbaryl and toxic *Microcystis aeruginosa* on the life history of *Daphnia Pulicaria*. *Hydrobiologia* April 2010, Volume 643, Issue 1, pp 129-138.
- D'amato, G., Liccardi, G., Gilder, J.A., Baldacci S., Viegi, G. (1994). Thunderstorm-associated asthma in pollinosis patients. *BMJ* 1994;309:131.
- D'Amato, G., Liccardi, G., D'Amato, M., Holgate, S. (2005). Environmental risk factors and allergic bronchial asthma. *Clin Exp Allergy. Sep*;35(9):1113-24.
- D'Amato, G., Cecchi, L., Liccardi, G. (2008). Thunderstorm-related asthma: not only grass pollen and spores. *J Allergy Clin Immunol*, 2008; 121, 2: 537-8.
- Åström, D.O., Forsberg, B., Rocklöva, J. (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas.* 2011 Jun;69(2):99-105. doi: 10.1016/j.maturitas.2011.03.008.

- de'Donato, F.K., Leone, M., Noce, D., Davoli, M., Michelozzi, P. (2013). The Impact of the February 2012 Cold Spell on Health in Italy Using Surveillance Data. PLoS ONE 8(4): e61720. doi:10.1371/journal.pone.0061720.
- Di Luca, M., Laghezza, M.V., Papeschi, C., Romi, R., Fausto, A.M. (2009). Caratterizzazione della fauna culicidica (Diptera: Culicidae) della Maremma laziale. In: 22. Congresso nazionale italiano di entomologia. Atti; 15-18 giugno 2009; ncona. 2009a. p.256.
- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., de'Donato, F., Menne, B.,... Perucci, C. (2010). The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. Environmental Health 2010, 9:37 doi:10.1186/1476-069X-9-37.
- Ebi, K.L., Exuzides, K.A., Lau, E., Kelsh, M., Barnston, A. (2004). Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983-1998. Int J Biometeorol. 2004 Sep;49(1):48-58.
- ECDC (2010). Climate change and communicable diseases in the EU Member States. ECDC Tech. Document March 2010, [http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1003\\_TED\\_handbook\\_climatechange.pdf](http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1003_TED_handbook_climatechange.pdf).
- ECDC (2012). Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe. ECDC Tech Report April 2012, <http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1203-TER-Potential-impacts-climate-change-food-water-borne-diseases.pdf>.
- ECDC (2012a). Epidemiological situation of tick-borne encephalitis in the European Union and European Free Trade Association countries. ECDC technical report, <http://www.ecdc.europa.eu/en/publications/publications/tbe-in-eu-efta.pdf>.
- EFSA (2009). Reasoned opinion of EFSA prepared by the Pesticides Unit (PRAPeR) on the 2007 Annual Report on Pesticide Residues. EFSA Scientific Report (2009) 305, 1-106.
- EFSA (2012). The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Food-borne Outbreaks in 2010. Scientific report of EFSA. EFSA Journal 2012;10(3):2597 [442 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2012.2597.
- EFSA (2014). The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Food-borne Outbreaks in 2012. EFSA Journal 2014;12(2):3547 [312 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2014.3547.
- EEA (European Environmental Agency) (2012) Report No 12/2012, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, An indicator-based report, ISSN 1725-9177. doi:10.2800/66071.
- Emberlin, J., Detandt, M., Gehrig, R., Jaeger, S., Nolard, N., Rantio-Lehtimäki, A. (2002). Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. Int J Biometeorol. 2002 Sep;46(4):159-70.
- Erbas, B., Chang, J., Dharmage, S., Ong, E.K., Hyndman, R., Newbiggin, E., Abramson, M. (2007). Do levels of airborne grass pollen influence asthma hospital admissions?. Clin Exp Allergy. 2007 Nov;37(11):1641-7.
- DaMatta, F.M., Grandis, A., Arenque, B.C., Buckeridge, M.S. (2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. Food Research International Volume 43, Issue 7, August 2010, 1814–1823.
- Forsberg, B., Bråbäck, L., Keune, H., Kobernus, M., Kraymer von Krauss, M., Yang, A., Bartonova, A. (2012). An expert assessment on climate change and health with a European focus on lungs and allergies" Environmental Health 2012, 11(Suppl 1):S4 doi:10.1186/1476-069X-11-S1-S4.
- Fabbro, C., Cataletto, B., Del Negro, P. (2010). Detection of pathogenic Vibrio parahaemolyticus through biochemical and molecular-based methodologies in coastal waters of the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea). FEMS Microbiol Lett. 2010 Jun;307(2):158-64. doi: 10.1111/j.1574-6968.2010.01969.x.

- Frei, T. (1998). The effects of climate change in Switzerland 1969-1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass. *Grana*, Volume 37, Issue 3, 1998.
- Frei, M., Kohno, Y., Tietze, S., Jekle, M., Hussein, M.A., Becker, T., Becker, K. (2012). The response of rice grain quality to ozone exposure during growth depends on ozone level and genotype. *Environ Pollut.* 2012 Apr;163:199-206. doi: 10.1016/j.envpol.2011.12.039.
- Funari, E., Scardala, S., Testai, E. (2008). Cianobatteri potenzialmente tossici: aspetti ecologici, metodologici e valutazione del rischio. *Rapporti ISTISAN 08/6*, 92 p.
- Funari, E., Manganelli, M., Sinisi, L. (2012). Impacts of climate change on water borne diseases. *Ann Ist Super Sanità.* 48(4):473-487, DOI: 10.4415/ANN\_12\_04\_13.
- Galán, I., Tobías, A., Banegas, J.R., Aránguez, E. (2003). Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *European Respiratory Journal* 22(5):802-808.
- Galán, C., García-Mozo, H., Vázquez, L., Ruiz, L., de la Guardia, C.D., Trigo, M.M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *Int J Biometeorol.* 2005 Jan;49(3):184-8. Epub 2004 Jul 27.
- García-Mozo, H., Galán, C., Jato, V., Belmonte, J., de la Guardia, C., Fernandez, D., Gutierrez, M., Aira, M., Roure, J., Ruiz, L., Trigo, M., Dominguez-Vilches, E. (2006). Quercus pollen season dynamics in the Iberian peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Ann Agric Environ Med.* 2006;13(2):209-24.
- Grievink, J.W. (2003). The changing face of the global food industry. OECD conference on changing dimensions of the food economy: exploring the policy issues, The Hague, 6 February 2003, [webdomino1.oecd.org/comnet/agr/foodeco.nsf/viewHtml/index/\\$FILE/GrievinkPPT.pdf](http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/foodeco.nsf/viewHtml/index/$FILE/GrievinkPPT.pdf).
- Guo, H., Tian, R., Zhu, J., Zhou, H., Pei, D., Wang, X. (2012). Combined cadmium and elevated ozone affect concentrations of cadmium and antioxidant systems in wheat under fully open-air conditions. *Journal of Hazardous Materials*, Volumes 209–210, 30 March 2012, Pag 27-3.
- Hall, G.V., D'Souza, R.M., Kirk, M.D. (2002). Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire? *MJA*, 177: 614-618.
- Hansen, A., Bi, P., Ryan, P., Nitschke, M., Pisaniello, D., Tucker, G. (2008). The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city in Australia. *Int J Epidemiol* 2008;37(6):1359-65.
- Högy, P., Poll, C., Marhan, S., Kandeler, E., Fangmeier, A. (2013). Impacts of temperature increase and change in precipitation pattern on crop yield and yield quality of barley. *Food Chemistry*, Volume 136, Issues 3-4, 15 February 2013, Pages 1470-1477.
- Ingram, J.S.I, Gregory, P.J, Brklacich, M. (Eds.) (2005). *GECAFS science plan and implementation strategy. ESSp report*, Wallingford. vol. 2. 2005. p. 36.
- Institute of Medicine - . Committee on the Effect of Climate Change on Indoor Air Quality and Public Health (2011). *Climate Change, the Indoor Environment, and Health*. Washington, DC: The National Academies Press, 2011.
- ISPRA (2012). *Ostreopsis cf ovata* lungo le coste italiane: monitoraggio 2011. *Rapporti* 173/2012.
- Jones, A.M., Harrison, R.M. (2004). The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentration- a review. *Sci Total Environ* 2004;326:151-80.

- Johnson, H., Kovats, S., McGregor, G., Stedman, J., Gibbs, M., Walton, H. (2005). The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *Eurosurveillance*, Volume 10, Issue 7, 01 July 2005.
- Jörres, R., Nowak, D., Magnussen, H. (1996). The effect of ozone exposure on allergen responsiveness in subjects with asthma or rhinitis. *Am J Respir Crit Care Med*. Jan;153(1):56-64, 1996.
- Keatinge, W.R., Coleshaw, S.R., Cotter, F., Mattock, M., Murphy, M., Chelliah, R. (1984). Increases in platelet and red-cell counts, blood-viscosity, and arterial-pressure during mild surface cooling-factors in mortality from coronary and cerebral thrombosis in winter. *British Medical Journal* 289(6456): 1405-1408(1984).
- King, B.J., Monis, P.T. (2007). Critical processes affecting *Cryptosporidium* oocyst survival in the environment. *Parasitology*. 2007 Mar;134(Pt 3):309-23. Epub 2006 Nov 13.
- Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G., Margolis, H.G., Smith, D., Solomon, G., Trent, R., English, P. (2009). The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environ Health Perspect*;117(1):61-7, 2009.
- La Rosa, G., Fratini, M., Spuri Vennarucci, V., Guercio, A., Purpari, G., Muscillo, M. (2012). GIV noroviruses and other enteric viruses in bivalves: a preliminary study. *New Microbiol*. 2012 Jan;35(1):27-34. Epub 2012 Jan 10.
- Lipp, E.K., Huq, A., Colwell, R.R. (2002). Effects of global climate on infectious disease: the cholera model. *Clin Microbiol Rev* 15(4):757-70.
- Lowe, D., Ebi, K.L., Forsberg, B. (2013). Factors Increasing Vulnerability to Health Effects before, during and after Floods. *Int J Environ Res Public Health*. Dec 2013; 10(12): 7015–7067.
- Lucentini, L., Ottaviani, M., Gruppo nazionale per la gestione del rischio cianobatteri in acque destinate a consumo umano, (ed.) (2011a). *Cianobatteri in acque destinate al consumo umano. Stato delle conoscenze per la valutazione del rischio. Volume 1.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2011. (Rapporti ISTISAN 11/35 Pt 1).
- Lucentini, L., Ottaviani, M., Gruppo nazionale per la gestione del rischio cianobatteri in acque destinate a consumo umano, (ed.) (2011b). *Cianobatteri in acque destinate a consumo umano. Linee guida per la gestione del rischio. Volume 2.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2011. (Rapporti ISTISAN 11/35 Pt 2).
- Manganelli, M., Scardala, S., Stefanelli, M., Palazzo, F., Funari, E., Vichi, S., Buratti, F.M., Testai, E. (2012). Emerging health issues of cyanobacterial blooms. *Ann Ist Super Sanità* 48(4):415, 2012.
- Maroli, M., Feliciangeli, M.D., Bichaud, L., Charrel, R.N., Gradoni, L. (2012). Phlebotomine sandflies and the spreading of leishmaniasis and other diseases of public health concern.. *Med Vet Entomol*. 2012 Aug 27. doi: 10.1111/j.1365-2915.2012.01034.x.
- Maroli, M., Rossi, L., Baldelli, R., Capelli, G., Ferroglio, E., Genchi, C., Gramicci, M., Mortarino, M., Pietrobelli, M., Gradoni, L. (2008). The northward spread of leishmaniasis in Italy: evidence from retrospective and ongoing studies on the canine reservoir and phlebotomine vectors. *Tropical Medicine and International Health*: volume 13 no 2 pp 256-264 february 2008.
- Ministero della Salute - DGPRE del 12 giugno 2012 Circolare "Sorveglianza dei casi umani delle malattie trasmesse da vettori con particolare riferimento alla Chikungunya, Dengue e West Nile Disease - Aggiornamento 2012"
- Ministero della Salute (2006). *Linee guida per preparare piani di sorveglianza e risposta verso gli effetti sulla salute di ondate di calore anomalo - 28 giugno 2006.*
- MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) (2010). *Strategia Nazionale per la Biodiversità, MATTM - Roma.*

- O'Neil, J.M., Davis, T.W., Burford, M.A., Gobler, C.J. (2012). The Rise of harmful cyanobacteria blooms: The Potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* 14 (2012) 313–334, Elsevier Ed, 2012.
- Ottaviani, D., Leoni, F., Serra, R., Serracca, L., Decastelli, L., Rocchegiani, E., Masini, L., Canonico, C., Talevi, G., Carraturo, A. (2010). Nontoxigenic *Vibrio parahaemolyticus* Strains Causing Acute Gastroenteritis. *Diagn Microbiol Infect Dis* 66: 452-455.
- Pan, W.H., Li, L.A., Tsai, M.J. (1995). Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly Chinese. *Lancet* 345: 353-355 (1995).
- Pecorari, M., Longo, G., Gennari, W., Grottola, A., Sabbatini, A.M.T., Tagliazucchi, S., Savini, G., Monaco, F., Simone, M.L., Lelli, R., Rumpianesi, F. (2009). First human case of Usutu virus neuroinvasive infection, Italy, August-Sept, 2009. *Eurosurveillance*, Volume 14, Issue 50, 17 December 2009.
- Piro, R., Biancardi, A. (2010). Micotossine. *PIZ* 5/10, IZSLER - Ottobre 2010. IZS Lombardia ed Emilia-Romagna.
- Rasmussen, A. (2002). The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark. *Aerobiologia*, September 2002, Volume 18, Issue 3-4, pp 253-265.
- Regione Emilia-Romagna - Assessorato Politiche per la salute (2012). *Epidemiologia delle Malattie Trasmesse da Alimenti in Emilia-Romagna - Aggiornamento al 2010. Rapporto*, marzo 2012.
- Ren, C., Williams, G.M., Morawska, L., Mengersen, K., Tong, S. (2008). Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occup Environ Med*. Apr;65(4):255-60. 2008.
- Ren, C., O'Neill, M.S., Park, S.K., Sparrow, D., Vokonas, P., Schwartz, J. (2011). Ambient Temperature, Air Pollution, and Heart Rate Variability in an Aging. *Epidemiol*. 2011 May 1;173(9):1013-21. doi: 10.1093/aje/kwq477. Epub 2011 Mar 8.
- Rezza, G., Nicoletti, L., Angelini, R., Romi, R., Finarelli, A.C., Panning, M., Cordioli, P., Fortuna, C., Boros, S., Magurano, F., Silvi, G., Angelini, P., Dottori, M., Ciufolini, M.G., Majori, G.C., Cassone, A.; CHIKV study group (2007). Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *Lancet*. 2007 Dec 1;370(9602):1840-46.
- Rogers, C., Wayne, P.M., Macklin, E.A., Muilenberg, M.L., Wagner, C.J., Epstein, P.R. and Bazzaz, F. (2006). Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environmental Health Perspectives* 114, 865-869, 2006.
- Romi R. (2010). Arthropod borne diseases in Italy: from a neglected matter to an emerging health problem. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità* 2010;46(04):436-443.
- Romi, R., Boccolini, D., Menegon, M., Rezza, G. (2012b). Probable autochthonous introduced malaria cases in Italy in 2009-2011 and the risk of local vector-borne transmission. *Eurosurveillance*, Volume 17, Issue 48, 29 November 2012.
- Romi, R., Boccolini, D., Vallorani, R., Severini, F., Toma, L., Cocchi, M., Tamburro, A., Messeri, G., Crisci, A., Angeli, L., Costantini, R., Raffaelli, I., Pontuale, G., Thiery, I., Landier, A., Le Goff, G., Fausto, A.M., Di Luca, M. (2012a). Assessment of the risk of malaria re-introduction in the Maremma Plain (Central Italy) using a multi-factorial approach. *Malaria Journal* 2012 (a), 11: (98).
- Romi, R., Toma, L., Severini, F., Di Luca, M. (2009). Twenty years of presence of *Aedes albopictus* in Italy: from the annoying pest mosquito to the real disease vector. *European infectious disease* .2009;2(2):98-101.
- Sarno, G., Maio, S., Simoni, M., Baldacci, S., Cerrai, S., Viegi, G., a nome del Gruppo collaborativo progetto EpiAir2 (a cura di) (2013). Inquinamento atmosferico e salute umana. *Epidemiol Prev* 2013; 37(4-5) suppl 2: 1-863.

- Scarinzi C., Alessandrini, E.R., Chiusolo, M., Galassi, G., Baldini, M., ... Gruppo collaborativo progetto EpiAir2 (2013). Inquinamento atmosferico e ricoveri ospedalieri urgenti in 25 città italiane: risultati del progetto EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013; 37(4-5):230-241, luglio-ottobre 2013 ;
- Scavia, G., et al. (2009). In: Scavia G et al (Ed.). V Workshop Nazionale di Epidemiologia Veterinaria. Torino, 10-11 dicembre 2009. Riassunti. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2009 (ISTISAN Congressi 09/C13).
- Schifano, P., Leone, M., De Sario, M., de'Donato, F., Bargagli, A.M., D'Ippoliti, D., Marino, C., Michelozzi, P. (2012). Changes in the effects of heat on mortality among the elderly from 1998-2010: results from a multicenter time series study in Italy. *Environ Health*. 2012 Sep 3;11(1):58.
- Semenza J.C., Domanović D. (2013). Blood supply under threat. *Nature Climate Change* 3,432–435 (2013).
- Semenza, J.C., Menne, B. (2009). Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infect Dis* 2009; 9: 365-75.
- Serracca, L., Battistini, R., Rossini, I., Prearo, M., Ottaviani, D., Leoni, F., Ercolini, C. (2011). *Vibrio* virulence genes in fishes collected from estuarine waters in Italy. *Lett Appl Microbiol* 53: 403-408.
- Sinisi, L., Aertgeets, R. (2011). Guidance on Water Supply and Sanitation In Extreme Weather Events, 2011. WHO Euro & UN-ECE [http://www.unece.org/env/water/whmop2/WHO\\_Guidance\\_EWE\\_Final\\_draft\\_web\\_opt.pdf](http://www.unece.org/env/water/whmop2/WHO_Guidance_EWE_Final_draft_web_opt.pdf).
- Spieksma, F. Th. M., Emberlin, J. C., Hjelmroos, M., Jäger, M. & Leuschner, R. M. (1995). Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. *Grana* 1995;34:51-796 (1):86-91.
- Stach, A., Emberlin, J., Smith, M., Adams-Groom, B. and Myszkowska, D. (2008). Factors that determine the severity of *Betula* spp. pollen seasons in Poland (Poznan and Krakow) and the United Kingdom (Worcester and London). *International Journal of Biometeorology* 52, 311-321.
- Stanke, C., Murray, V., Amlôt, R., Nurse, J., Williams, R. (2012). The Effects of Flooding on Mental Health: Outcomes and Recommendations from a Review of the Literature. *PLOS Current Disasters*, May 30, 2012.
- Tirado, C., Schmidt, K. (2001). WHO surveillance programme for control of foodborne infections and intoxications: preliminary results and trends across greater Europe. *J Infect*. 2001;43(1):80-4.
- Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A., Franke, J.M. (2010). Climate change and food safety: A review. *Food Research International* Volume 43, Issue 7, August 2010, Pages 1745–1765.
- Toma, L., Cipriani, M., Goffredo, M., Romi, R., Lelli, R. (2008). First report on entomological field activities for the surveillance of West Nile disease in Italy. *Vet Ital*. 2008 Jul-Sep;44(3):483-97, 499-512.
- Toma, L., Di Luca, M., Severini, F., Boccolini, D., Romi, R. (2011). *Aedes aegypti*: risk of introduction in Italy and strategy to detect the possible re-introduction. *Veterinaria italiana* 2011;23:18-26.
- Tubaro, A., Durando, P., Del Favero, G., Ansaldi, F., Icardi, G., Deeds, J.R., Sosa, S. (2011). Case definitions for human poisonings postulated to palytoxins exposure. *Toxicon*. 2011 Mar 1;57(3):478-95. doi: 10.1016/j.toxicon.2011.01.005. Epub 2011 Jan 19.
- U.S. CDC (2013). West Nile Virus and Other Arboviral Diseases — Morbidity and Mortality Weekly Report , Vol. 62, n.25, June 2013, <http://www.cdc.gov/mmwr/pdf/wk/mm6225.pdf>.
- Vezzulli, L., Brettar, I., Pezzati, E., Reid, P.C., Colwell, R.R., Höfle, M.G. and Pruzzo, C. (2012). Long-term effects of ocean warming on the prokaryotic community: evidence from the vibrios", *The ISME Journal* (2012) 6, 21–30; doi:10.1038/ismej.2011.89.

- Villeneuve, P.J., Chen, L., Rowe, B.H., Coates, F. (2007). Outdoor air pollution and emergency department visits for asthma among children and adults: a case-crossover study in northern Alberta, Canada. *Environmental Health* 6:40. doi:10.1186/1476-069X-6-40, 2007.
- Wan, S., Yuan, T., Bowdish, S., Wallace, L., Russell, S.D., Luo, Y. (2002). Response of an allergenic species, *Ambrosia psilostachya* Allergic Disease and Climate Change 469 (Asteraceae), to experimental warming and clipping: implications for public health. *American Journal of Botany* 89(11):1843-1846.
- Wanga, Y., Frei, M., Song, Q., Yang, L. (2011). The impact of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration enrichment on rice quality - A research review. *Acta Ecologica Sinica* Volume 31, Issue 6, December 2011, Pages 277-282.
- WHO Euro (World Health Organization Regional Office for Europe) (2009). Guidelines for indoor air quality: dampness and mould, [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43325/E92645.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf).
- WHO Euro (World Health Organization Regional Office for Europe) (2010). Guidelines for indoor air quality: selected pollutants, [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf).
- WHO Euro (World Health Organization Regional Office for Europe) (2011). Public health advice on preventing health effects of heat, [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0007/147265/Heat\\_information\\_sheet.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/147265/Heat_information_sheet.pdf).
- Zanini, B., Ricci, C., Bandera, F., Caselani, F., Magni, A., Laronga, A.M., Lanzini, A.; San Felice del Benaco Study Investigators (2012). Incidence of Post-Infectious Irritable Bowel Syndrome and Functional Intestinal Disorders Following a Water-Borne Viral Gastroenteritis Outbreak. *Am J Gastroenterol* 2012; 107:891-899.
- Ziello, C., Sparks, T.H., Estrella, N., Belmonte, J., Bergmann, K.C., .., Menzel, A. (2012). Changes to Airborne Pollen Counts across Europe. *PLoS ONE*, April 2012, Volume 7, Issue 4.
- Ziska, L., Gebhard, D., Frenz, D.A., Faulkner, S., Singer, B.D., Straka, J.G. (2003). Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 111(2):290-295.

# Foreste

## Sintesi

**Inquadramento del settore forestale.** I boschi italiani hanno svolto in passato, e svolgono tuttora, un importante ruolo multifunzionale capace di erogare, a vantaggio della collettività, benefici sia di tipo economico che di tipo ambientale.

Il sistema industriale foresta-legno in Italia coinvolge più di 78.000 imprese e più di 515 mila addetti (MiPAAF, Piano della filiera legno 2012-14). A livello nazionale, l'offerta locale di legname risulta insufficiente a soddisfare la domanda delle industrie di trasformazione che rimangono dipendenti dall'estero per oltre il 70 % del materiale legnoso utilizzato. La massa legnosa prelevata annualmente in Italia con le operazioni selvicolturali si attesta, secondo i dati ufficiali disponibili di FAOSTAT<sup>164</sup>, da ormai più di 10 anni, a meno 9 M di m<sup>3</sup> (di cui oltre il 60% è rappresentato da legna per uso energetico) e intorno a 13,5 M di m<sup>3</sup> secondo i dati dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC, 2005), rispetto ad un incremento annuo totale di circa 35,5 M di m<sup>3</sup> disponibile per il prelievo legnoso (INFC, 2005). I dati di prelievo, probabilmente sottostimati, soprattutto nel caso delle statistiche FAOSTAT a causa delle utilizzazioni delle proprietà forestali di piccola superficie (<3ha) per le quali la semplice dichiarazione di taglio non riporta alcun dato del volume dell'utilizzazione, si attestano tra il 25% e il 38% dell'incremento annuo, e sono comunque di molto inferiori alla media dei Paesi dell'UE-27 che si attesta al 64,2% dell'incremento totale annuo (MCPFE, 2011). Tuttavia nonostante la dipendenza dall'estero di materie prime legnose, la filiera nazionale del legno-mobilità nel suo complesso garantisce un saldo commerciale positivo. L'Italia, infatti, è tra i primi posti al mondo per l'esportazione di prodotti finiti e il sistema legno-arredo costituisce il comparto trainante della filiera foresta-legno italiana. Il saldo relativo all'import-export risulta invece negativo per l'altra importante filiera della trasformazione di pasta di cellulosa e produzione di carte, cartoni e assimilati (MiPAAF, Piano della filiera legno 2012-14).

Accanto alla funzione produttiva, anche i servizi ecosistemici delle foreste ricoprono un ruolo sempre più importante nell'economia del paese come conseguenza della crescente domanda di servizi pubblici quali la protezione diretta degli insediamenti, infrastrutture e attività dell'uomo da pericoli naturali (caduta massi, valanghe, lave torrentizie e scivolamenti superficiali) molto diffusa in ambito alpino, la tutela idrogeologica, la regolazione del ciclo dell'acqua, la conservazione del paesaggio e della biodiversità, la riduzione delle emissioni di gas di serra in atmosfera. Va registrata inoltre la crescita di nuovi utilizzi delle foreste, spesso con positivi impatti di reddito e occupazionali su scala locale, legati alle attività turistico-ricreative (più di 70 parchi-avventura

---

<sup>164</sup> Divisione Statistica della FAO, <http://faostat.fao.org/>.

forestali creati in pochi anni), sportive, di didattica ambientale, di valorizzazione dei prodotti non legnosi, culturali (musei e concerti in foresta) e ricettive.

**Impatti dei cambiamenti climatici sul settore forestale.** La risposta degli ecosistemi forestali ai cambiamenti climatici si sta traducendo in alterazioni dei tassi di crescita e della produttività, tendenzialmente con riduzioni negli ecosistemi mediterranei e aumenti nelle zone del nord Italia e montane, in cambiamenti nella composizione delle specie presenti e shift altitudinali e latitudinali degli habitat forestali con conseguente perdita locale di biodiversità, in aumento del rischio di incendio e di danni da insetti e patogeni, alterazione del ciclo dell'acqua e del carbonio. Queste alterazioni sono tali da determinare significative alterazioni del patrimonio forestale italiano, compromettendone la funzionalità ed i servizi ecosistemici che esso offre e sono destinate ad aumentare in risposta anche agli scenari climatici futuri.

Gli impatti consistenti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità delle biocenosi forestali italiane sono ipotizzabili soprattutto nelle zone mediterranee e negli ambienti di alta quota, determinando un più rapido *turnover* delle specie arboree forestali, con una riduzione delle loro aree di stabilità, possibili processi di asincronia riproduttiva e di frammentazione degli habitat.

Riguardo agli incendi boschivi, i dati statistici hanno evidenziato un aumento degli eventi catastrofici, sia in termini di danno a beni antropici e naturalistici, sia in termini di perdita di vite, specialmente nelle ultime tre decadi. Gli incendi, inoltre, rappresentano una notevole fonte di CO<sub>2</sub> e gas ad effetto serra, influenzando non solo la qualità dell'aria e la salute umana a scala locale, ma anche il budget atmosferico e il ciclo del carbonio a scala regionale e globale. Proiezioni climatiche future indicano cambiamenti nelle dinamiche di umidità del combustibile, un allungamento della durata della stagione di pericolo, specialmente in aree caratterizzate da macchia mediterranea, nonché un ampliamento delle aree soggette agli incendi boschivi. Risultati modellistici suggeriscono che la futura attività degli incendi boschivi incrementerà le concentrazioni di O<sub>3</sub>, così come quelle di PM<sub>10</sub>.

In seguito a condizioni ricorrenti di siccità e di "ondate di calore" si osservano situazioni di deperimento e mortalità, soprattutto nella regione Mediterranea. A loro volta, le condizioni di deperimento possono interagire con le popolazioni di parassiti, animali e funghi, innescando anche attacchi ed epidemie particolarmente distruttive di grande ampiezza territoriale e intensità.

I cambiamenti climatici hanno un impatto "a cascata" anche sull'effetto di mitigazione delle foreste sul dissesto idrogeologico, secondo il quale tutti gli effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione sono interrelati fra loro: le siccità indeboliscono la vegetazione rendendola vulnerabile alle infestazioni di insetti, patologie, incendi. La vegetazione indebolita e/o defogliata non è in grado di esplicare il suo ruolo di mitigazione del dissesto idrogeologico, sia esso di tipo diretto e/o indiretto, rendendo il suolo più suscettibile al dissesto idrogeologico (piene fluviali, frane superficiali e colate detritiche torrentizie - debris flow).

Gli effetti teorici dell'aumento delle temperature, prescindendo cioè da meccanismi di adattamento e migrazione, sono generalmente negativi tranne che per le foreste della fascia subalpina dominate

da abete bianco/abete rosso; mentre l'effetto combinato dell'aumento delle temperature e della concentrazione di CO<sub>2</sub> indica scenari di aumento della produttività principalmente nelle foreste dominate da abete bianco/abete rosso e nei querceti decidui, anche se l'aumento delle temperature e la variazione del regime pluviometrico determinano una maggiore probabilità di pullulazione di insetti fitofagi.

La lotta ai cambiamenti climatici e l'adattamento delle foreste agli effetti negativi già in atto e a quelli attesi in futuro sono obiettivi legati all'applicazione di una gestione sostenibile delle foreste, volta ad aumentarne la resistenza e la capacità di adattamento a eventi climatici estremi. Tuttavia, nonostante gli indirizzi condivisi a livello internazionale e gli impegni attuativi a livello nazionale e locale, non esiste a tutt'oggi una politica nazionale armonizzata sull'adattamento capace di "mettere in sicurezza" le foreste e i servizi che esse assolvono. E' quindi urgente e necessario programmare una politica nazionale di adattamento delle foreste al fine di individuare le aree forestali nazionali prioritarie a maggiore rischio di vulnerabilità ed identificare l'insieme delle attività di gestione mirate ad aumentarne la capacità di adattamento.

**Azioni di adattamento ad oggi attuate.** Con riferimento ai boschi italiani gli interventi di adattamento attualmente in essere sono basati sui principi di Gestione Forestale Sostenibile (MCPFE – Forest Europe). In questo contesto, la gestione attiva e multifunzionale della foresta indicata dal Programma quadro per il settore forestale (PQSF)<sup>165</sup> rappresenta lo strumento idoneo per valorizzare la capacità di rispondere in tempi medio lunghi alle problematiche dei cambiamenti climatici. La politica di Sviluppo Rurale rappresenta in Italia il principale strumento operativo per il finanziamento di azioni per il settore forestale di adattamento ai cambiamenti climatici.

Le azioni di adattamento ai cambiamenti climatici in corso nel nostro paese, in termini di conservazione della biodiversità delle biocenosi forestali, sono rappresentate dall'adozione di una "gestione forestale sostenibile" e dal rafforzamento della rete di aree sottoposte a regime di tutela.

Riguardo agli incendi boschivi, la gestione del combustibile vegetale (rimozione della vegetazione secca, controllo delle infestanti e degli arbusti più infiammabili, creazione di discontinuità) costituisce un elemento chiave nelle strategie selvicolturali di adattamento agli incendi boschivi. Il mantenimento e/o l'incremento della biodiversità dell'ecosistema può garantire un aumento della resilienza degli ecosistemi su larga scala, favorendone l'adattamento agli incendi boschivi. La pianificazione territoriale e l'identificazione di aree forestali maggiormente suscettibili a incendi severi o ricorrenti permettono di migliorare la prevenzione e lotta attiva agli incendi.

Azioni di monitoraggio, previsione, pianificazione e utilizzo di strategie di mitigazione sono necessarie anche per affrontare l'aumento di vulnerabilità degli ecosistemi forestali nei confronti dei cambiamenti climatici e della modificazione degli equilibri con le popolazioni di parassiti.

---

<sup>165</sup> <http://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/755>.

Per quanto riguarda la produzione legnosa, impianti polispecifici, con specie autoctone, realizzati con specie trattate a turni diversi hanno una capacità di adattamento ai cambiamenti climatici superiori rispetto a quelli di norma realizzate nel passato. Più del 50% del legname ad uso industriale in Italia proviene da pioppeti. L'impatto dei cambiamenti climatici sulla pioppicoltura è attualmente contrastato attraverso la disponibilità di diversi cloni, la possibilità di fare ricorso all'irrigazione e ai trattamenti fitosanitari per la stabilizzazione delle produzioni in condizione di climatiche mutate. Inoltre, colture legnose a rapido accrescimento per la produzione di biomassa con turni di ceduzione medio-lunghi (Medium Rotation Forestry – MRF, con tagli ogni 4-6 anni) si basano su una tecnica colturale meno intensiva che permette di ottenere biomassa di miglior qualità grazie alla maggiore dimensione dei polloni e alla minore percentuale di corteccia rispetto ai turni attuati con maggior frequenza (Short Rotation Forestry – SRF, con taglio ogni 2 anni). Le MRF, come coltivazioni meno dense delle SRF, sono inoltre meno esposte a fattori di degrado conseguenti ad attacchi parassitari. Anche il mantenimento dei cedui purché correttamente gestiti crea meno problemi, soprattutto in aree a scarsa fertilità e forte pendenza, nella rinnovazione naturale e nella rapida copertura del terreno, aspetto certamente non irrilevante in una politica di riduzione della vulnerabilità delle risorse forestali ai cambiamenti climatici.

## **Quadro di riferimento nazionale**

### *Consistenza del patrimonio forestale*

Le caratteristiche geografiche, geomorfologiche, pedologiche e climatiche del territorio italiano determinano una elevata diversità specifica e fisionomica delle formazioni forestali. L'attuale paesaggio forestale italiano è il risultato di profonde trasformazioni territoriali e socio-economiche avvenute nel corso dei secoli. Tra queste, le secolari attività selvicolturali hanno fortemente modellato e modificato la struttura, la composizione, la complessità e la diversità degli ecosistemi forestali. Per tutte le regioni di montagna del nostro Paese i boschi rappresentano ancora oggi una componente integrante della vita e della cultura. Essi svolgono tuttora un importante ruolo multifunzionale capace di erogare, a vantaggio della collettività, benefici non solo di tipo economico, ma anche e soprattutto di tipo ambientale.

Secondo le stime dell'Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio (INFC, 2005) la superficie forestale nazionale secondo la definizione internazionale adottata dal Global Forest Resources Assessments (FRA)<sup>166</sup>, raggiunge i 10.467.533 ettari (34% del territorio nazionale). Tale superficie è costituita per l'83,7% (8.759.200 ettari) dalla macrocategoria Bosco (29% del territorio nazionale) in grado di assorbire annualmente dall'atmosfera circa 35Mt CO<sub>2</sub>/anno (IT NIR, 2013), al netto dei prelievi legnosi attualmente applicati e delle perdite dovute a incendi e altri fattori biotici e abiotici,, di cui 16,2Mt CO<sub>2</sub>/anno possono essere utilizzati per compensare le emissioni ai fini del protocollo di Kyoto (Libro bianco, 2012), corrispondenti al 21,2% dell'impegno

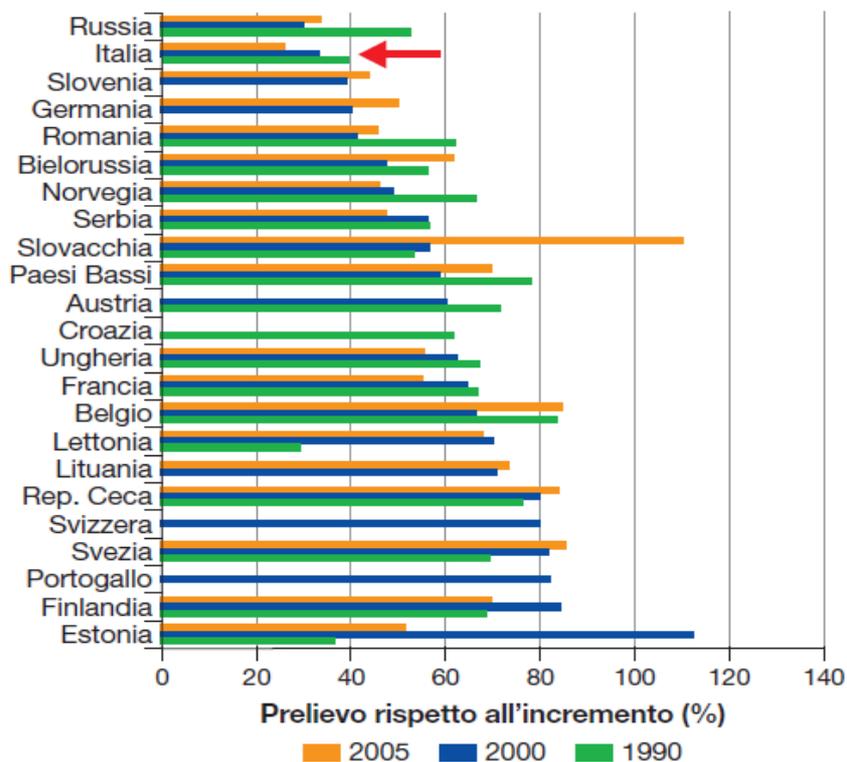
---

<sup>166</sup> <http://www.fao.org/forestry/fra/en/>.

di riduzione per l'Italia.). Inoltre, le foreste costituiscono un elemento sostanziale delle aree naturali protette statali, regionali o locali, e delle aree sottoposte a tutela per accordi o iniziative internazionali (aree Ramsar, siti NATURA2000). Tali aree nel loro insieme ricoprono circa il 10% della superficie nazionale e includono più di un quarto della superficie forestale nazionale totale (28%, INFC, 2005). I boschi delle aree naturali protette in Italia costituiscono una tra le principali fonti economiche per il territorio e per il settore turistico nazionale e si stimano oltre 22 milioni di presenze turistiche annue (pernottamenti), pari al 5,9% delle presenze turistiche italiane, 5,4 miliardi di Euro di consumi totali, 2,9 miliardi di valore aggiunto, 102 mila posti di lavoro attivati (Unioncamere, 2012).

I boschi italiani sono costituiti per circa il 75% da popolamenti a prevalenza di latifoglie (formazioni più diffuse: boschi di rovere, roverella e farnia, faggete, castagneti e boschi di cerro, farnetto, fragno e vallonea) e per il 15% da popolamenti a prevalenza di conifere in cui predomina l'abete rosso (586.082 ettari pari al 6,7% della superficie totale dei boschi in Italia); il restante 10% è costituito da popolamenti misti. La principale forma di governo rimane il ceduo (41%, 3.663.143 ettari dei boschi italiani) con una netta prevalenza dei cedui matricinati (35%), per lo più rappresentati da popolamenti prossimi al turno di utilizzazione o invecchiati. Le fustaie occupano il 36% della totalità dei boschi italiani (3.157.965 ettari), con una leggera prevalenza di quelle di tipo coetaneo (15,8%) rispetto alle disetanee (13,5%) e sono rappresentate per quasi il 50% da formazioni pure di conifere, in particolare abete rosso, abete bianco, larice e pini montani e mediterranei. Inoltre, costituiscono una importante risorsa genetica ed economica locale le tipologie colturali considerate speciali (castagneti da frutto, noceti, sugherete) che coprono una superficie di circa 200.000 ettari.

Nel nostro Paese l'81,3% della superficie forestale totale risulta disponibile al prelievo legnoso per una massa ritraibile annualmente di circa 35,5 M di m<sup>3</sup> (INFC, 2005). La massa legnosa asportata annualmente con le operazioni selvicolturali ammonta invece, secondo i dati ufficiali disponibili di FAOSTAT, da ormai più di 10 anni, a meno 9 M di m<sup>3</sup> (di cui oltre il 60% è rappresentato da legna per uso energetico) e intorno a 13,5 M di m<sup>3</sup> secondo i dati dell'inventario forestale nazionale (INFC, 2005). I dati di prelievo, probabilmente sottostimati, soprattutto nel caso delle statistiche FAOSTAT a causa delle utilizzazioni delle proprietà forestali di piccola superficie (<3ha) per le quali la semplice dichiarazione di taglio non riporta alcun dato del volume dell'utilizzazione, si attestano tra il 25% e il 38% dell'incremento annuo, e sono comunque di molto inferiori alla media dei Paesi dell'UE-27 che si attesta al 64,2% dell'incremento totale annuo (MCPFE, 2011).



Fonte: Mcpfe, 2007.

Figura 2.11: Percentuale del prelievo legnoso rispetto all'incremento in diversi paesi Europei (Fonte: Elaborazione Marandola D., Osservatorio foreste Inea Rete Rurale Nazionale).

Nella seguente tabella (Tabella 1.11) viene riportata una sintesi dei principali risultati emersi dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC, 2005), rimandando per maggiori approfondimenti al sito ufficiale<sup>167</sup> in cui vengono presentati in dettaglio i dati rielaborati.

<sup>167</sup> <http://www.infc.it>.

<b>Superficie Forestale Nazionale (10.467.533 ha 34,74% della superficie totale nazionale) su cui insiste una fitomassa arborea epigea di circa 874 Mt pari a 99,8 t/ha</b>
<b>Paesaggio forestale diversificato.</b> Vicinanza di aree agricole in prossimità di margini forestali (44,4%), di praterie, pascoli e incolti (28,0%), di zone aperte con vegetazione rada o assente (8,7%) di acque (4,7%), di zone umide (0,9%).
<b>Superficie forestale interessata dalla presenza di "infrastrutture":</b> 1.854.659 ha, corrispondente al 17,7% della superficie totale.
<b>Proprietà:</b> 63,5% privata, 32,4% pubblica (di cui 65,5% Comuni e Province, 23,7% Demanio statale e regionale, 8,3% altri enti pubblici) - (il 4% della superficie non è stata classificata).
<b>Pianificazione:</b> l'86,6% della superficie forestale nazionale è regolamentata da almeno uno dei seguenti strumenti: Prescrizioni di Massima e di Polizia Forestale (PMPF), pianificazione di orientamento, pianificazione di dettaglio. La pianificazione di orientamento interessa appena l'1,9% della superficie forestale totale e il 2,2% della superficie del Bosco, mentre quella di dettaglio riguarda il 14,2% della superficie forestale totale (pari a circa 1.500.000 ha) e il 15,7% della superficie del Bosco.
<b>Vincolo idrogeologico:</b> 80,9% della superficie.
<b>Vincolo naturalistico:</b> 27,5% della superficie forestale nazionale.
<b>Parchi nazionali:</b> 7,6% della superficie forestale nazionale;
<b>Parchi naturali regionali:</b> 6,7% della superficie forestale nazionale.
<b>Rete Natura2000 (Sic e Zps):</b> 22,2% della superficie forestale nazionale.
<b>Disponibilità al prelievo legnoso:</b> l'81% della superficie nazionale (8.510.104 ha) non è soggetta a limitazioni significative delle attività selvicolturali dovute a norme, vincoli o a cause di tipo fisico.
<b>Macrocategoria Bosco (8.759.200 ha, 83,7% della superficie forestale nazionale)</b>
<b>Densità boscosa:</b> dal 62,6% della Liguria (Trentino 60,5%) al 7,5 % della Puglia (Sicilia 10,0%). Il 67,5% della superficie a Bosco è costituito da formazioni con copertura totale superiore all'80%.
<b>Proprietà:</b> 66,1% privata (individuale per oltre il 79%; società e imprese per il 6,2%, altri enti privati per il 4,5%). 33,9% dei boschi sono di proprietà pubblica,
<b>Vincolo idrogeologico:</b> 87,1% della superficie, il 76,9% dei soprassuoli Bosco non risultata interessata da "fenomeni di dissesto".
<b>Possibilità di prelievo legnoso:</b> 88,4% non soggetta a limitazioni significative delle attività selvicolturali.
<b>Cedui:</b> il 41,8% (3.663.143 ha) della superficie Bosco, (predominanza di castagno, carpino e querce nei boschi di collina, di faggio nei boschi montani, sia alpini sia appenninici).
<b>Proprietà dei cedui:</b> 69% privata.
<b>Fustaie:</b> 36% (3.157.965 ha) della superficie Bosco, di cui quasi il 50% costituito da formazioni pure di conifere, (abete rosso, abete bianco, larice e pini montani e mediterranei). Le fustaie di conifere più produttive, sono localizzate nelle Regioni del Nord-Est (Veneto, Trentino-Alto Adige e Friuli-Venezia Giulia).
<b>Proprietà delle fustaie:</b> 47% privata.

<p><b>Tipi culturali speciali:</b> 2% (118.311 ha) della superficie Bosco e con marcata localizzazione in senso geografico (castagneti da frutto, noceti e sugherete).</p>
<p><b>Boschi alti:</b> 8.584.016 ha, 98% della superficie macrocategoria Bosco;</p> <p><b>Cedui matricinati:</b> 35% dei Boschi alti, popolamenti prossimi al turno di utilizzazione o invecchiati (gli stadi adulto e invecchiato rappresentano infatti l'89% dell'intera superficie governata a ceduo).</p> <p><b>Ceduo non matricinato e composto:</b> 19% dei Boschi alti</p> <p><b>Cedui a sterzo:</b> 21.471 ha, marcata localizzazione in senso geografico (otto Regioni su ventuno);</p> <p><b>Fustaie coetanee:</b> 20% dei Boschi alti, di cui il 60% si trova in uno stadio di sviluppo giovane o adulto, il 40% mature o stramature.</p> <p><b>Fustaie disetanee:</b> 17% dei Boschi alti.</p> <p><b>Fustaie transitorie e Fustaie irregolari o articolate:</b> 9% dei Boschi alti</p>
<p><b>Popolamenti a prevalenza di latifoglie:</b> 75% della superficie categoria Boschi alti;</p> <p><b>Formazioni più diffuse:</b> Boschi di rovere, roverella e farnia, Faggete, Castagneti e Boschi di cerro, farnetto, fragno e vallonea, che superano ciascuna il milione di ha. La predominanza dei boschi di latifoglie è comune in tutte le regioni, ad eccezione di alcuni contesti alpini (Valle d'Aosta, Trentino-Alto Adige).</p> <p><b>Popolamenti a prevalenza di conifere:</b> 15% della superficie categoria Boschi alti;</p> <p><b>Formazioni più diffuse:</b> l'Abete rosso con un'estensione di 586.082 ha corrispondono al 6,7% della superficie totale della categoria Boschi alti.</p> <p><b>Popolamenti misto di conifere e latifoglie:</b> 10% della superficie categoria Boschi alti;</p>
<p><b>Impianti di arboricoltura:</b> 1,14% (122.252 ha) della superficie categoria Boschi alti, di cui 84% latifoglie in purezza con prevalenza di Pioppeti artificiali (66.269 ha), piantagioni di altre latifoglie con prevalenza di latifoglie nobili ed eucalipti (40.985 ha).</p>
<p><b>Altre terre Boscate (1.708.333 ha)</b></p>
<p><b>Arbusteti:</b> Prevalentemente Macchia e Arbusteti mediterranei, in cui per il 60,3% della superficie prevalgono formazioni con copertura totale superiore al 50% e per il 38,6% copertura maggiore dell'80%.</p> <p><b>Disponibile al prelievo legnoso:</b> 45,1% non soggetta a limitazioni significative delle attività selvicolturali.</p>
<p><b>Aree boscate inaccessibili o non classificate (398.000 ha).</b></p>

**Tabella 1.11:** Sintesi dei principali risultati emersi dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC 2005) (Fonte: Elaborazione Osservatorio Foreste INEA su dati INFC).

## *Accordi internazionali in materia ambientale e politiche forestali nazionali connesse all'adattamento dei cambiamenti climatici*

Una concreta strategia di adattamento ai cambiamenti climatici deve avere obiettivi intimamente legati all'applicazione di una gestione sostenibile delle foreste, volta ad aumentarne la resistenza e la loro capacità di adattamento a eventi climatici estremi. Il concetto di sostenibilità e quindi di gestione sostenibile delle risorse naturali ha trovato legittimazione internazionale alla Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (UNCED-1992, Rio de Janeiro). I governi partecipanti, riconoscendo la natura transfrontaliera dei problemi relativi a inquinamento, perdita di biodiversità e cambiamento climatico globale, hanno sottoscritto una serie di accordi internazionali quali la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), la Convenzione sulla biodiversità (CBD), la Convenzione per la lotta alla desertificazione (UNCCD) e l'AGENDA 21. Questi strumenti, pur occupandosi di settori diversi, condividono una comune preoccupazione per molte problematiche ambientali connesse allo sviluppo sostenibile, riconoscendo alle foreste un ruolo di fondamentale importanza nella strategia di lotta ai cambiamenti climatici ed incentivando l'applicazione di una gestione forestale sostenibile. Anche la dialettica sulle foreste europee è stata incentrata negli ultimi anni sulla Gestione Forestale Sostenibile (GFS), i cui aspetti sono stati discussi nel processo intergovernativo pan-europeo MCPFE - Conferenze Ministeriali sulla Protezione delle Foreste in Europa oggi denominato Forest Europe. In occasione della Conferenza Ministeriale di Helsinki (1993)<sup>168</sup>, la Gestione Forestale Sostenibile è stata definita come *“la gestione corretta e l'uso delle foreste e dei terreni forestali nelle forme e a un tasso di utilizzo che consentano di mantenere la loro biodiversità, produttività, capacità di rinnovazione, vitalità e una potenzialità che assicurino, ora e nel futuro, rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello nazionale e globale e non comporti danni ad altri ecosistemi”*. In tale contesto sono stati inoltre presentati i sei criteri guida della GFS<sup>169</sup> e le strategie di adattamento hanno assunto un ruolo di primaria importanza con l'adozione della Risoluzione H4 su *Strategie per un processo di adattamento delle foreste europee ai cambiamenti climatici*<sup>170</sup>.

Le recenti strategie forestali pan-europee e dell'UE<sup>171</sup> sono basate sui principi generali della GFS e mirano sempre più ad assecondare il dinamismo naturale dei sistemi forestali conciliando le esigenze produttive con il bisogno di conservazione e tutela del patrimonio naturale, favorendone al tempo stesso l'adattamento agli scenari climatici futuri, in linea con l'approccio ecosistemico (ecosystem approach) proposto dalla CBD e riconosciuto dall'MCPFE.

---

<sup>168</sup> [http://www.foresteurope.org/ministerial\\_conferences/helsinki1993](http://www.foresteurope.org/ministerial_conferences/helsinki1993).

<sup>169</sup> I criteri prevedono: 1. Mantenimento e appropriato miglioramento delle risorse forestali e loro contributo al ciclo globale del carbonio. 2. Mantenimento della salute e vitalità degli ecosistemi forestali. 3. Mantenimento e sviluppo delle funzioni produttive nella gestione forestale (prodotti legnosi e non legnosi). 4. Mantenimento, conservazione e appropriato miglioramento della diversità biologica negli ecosistemi forestali. 5. Mantenimento e appropriato miglioramento delle funzioni protettive nella gestione forestale (con specifica attenzione alla difesa del suolo e alla regimazione delle acque). 6. Mantenimento delle altre funzioni e delle condizioni socio-economiche.

<sup>170</sup> [http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC\\_helsinki\\_resolutionH4.pdf](http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_helsinki_resolutionH4.pdf).

<sup>171</sup> Criteri MCPFE, Risoluzione UE 1999/C/56/01, Strategia Forestale dell'Europa 1998, Piano di Azione forestale, 2006.

L'impegno del nostro Paese alla gestione sostenibile delle risorse forestali è sancito dal D. Lgs. 227/2001, che detta le norme quadro per il settore e ha assunto un valore di riferimento normativo generale, riconoscendo la fondamentale necessità di legare la politica forestale nazionale agli impegni sottoscritti dal nostro Paese in sede comunitaria e internazionale. Il Decreto ha introdotto un opportuno collegamento tra la normativa propria del settore forestale e quella paesistico-ambientale, riconoscendo l'importanza della selvicoltura nella conservazione attiva delle risorse forestali e introducendo principi per la determinazione, da parte delle Regioni, delle regole utili a disciplinare l'attività selvicolturale e a definire giuridicamente il bosco.

Come previsto dall'art. 3 del D. Lgs. 227/2001, nel 2005 sono state redatte, le "Linee guida nazionali di programmazione forestale" (D.M. 16 giugno 2005), con cui viene definito il quadro generale dello stato di conservazione e valorizzazione delle foreste e dei prodotti forestali in un approccio di gestione sostenibile delle risorse naturali rinnovabili e più genericamente del territorio, tenendo conto delle componenti ecologiche, socioculturali ed economiche. Le Linee guida nazionali di programmazione forestale includono tra gli obiettivi strategici: a) il mantenimento e l'appropriato sviluppo delle risorse forestali in connessione al loro contributo al ciclo globale del carbonio, attraverso una gestione forestale che contribuisca all'azione di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici a livello globale massimizzando la capacità di assorbimento del carbonio delle foreste e realizzando opere di imboschimento e rimboschimento; b) il mantenimento e il miglioramento del valore economico, ecologico, culturale e sociale delle risorse forestali, compresi acqua, suolo, flora e fauna attraverso pratiche di gestione forestale che salvaguardino la quantità e la qualità delle risorse nel medio e nel lungo periodo.

Principali Strumenti Normativi e Programmatici	
Livello Globale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo – UNCED (1992)</li> <li>• Agenda 21 (1992)</li> <li>• Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici – UNFCCC (1994)</li> <li>• Convenzione delle Nazioni Unite sulla lotta alla desertificazione – UNCCD (1997)</li> <li>• Protocollo di Kyoto (1997)</li> <li>• Forum sulle Foreste delle Nazioni Unite – UNFF (2000)</li> <li>• Convenzione sulla Diversità Biologica – CBD (2002).</li> </ul>
Livello Europeo e pan-europeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convenzione sulla conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa – Convenzione di Berna (1982)</li> <li>• Conferenze Ministeriali per la protezione delle foreste in Europa - MCPFE, oggi Forest Europe (dal 1990)</li> <li>• Convenzione delle Alpi (Austria, Francia, Germania, Italia, Liechtenstein, Monaco, Slovenia, Svizzera e Unione Europea) e relativo Protocollo “Foreste Montane” (dal 1991)</li> <li>• Strategia forestale dell'Unione europea, risoluzione del Consiglio 1999/C 56/01 del 15 dicembre 1998.</li> <li>• Natura 2000, Direttiva “Habitat” (Dir. 92/43/CEE), Direttiva “Uccelli” (Dir. 79/409/CEE).</li> <li>• Sesto Programma d’azione per l’ambiente 2001-2010 (Decisione 1600/2002/CE) – 2002.</li> <li>• Programma di Sviluppo Rurale 2007 – 2013 (Reg. CE n. 1698/2005 del Consiglio).</li> <li>• Relazione sull'attuazione della strategia forestale dell'Unione europea" - <a href="#">COM(2005) 84</a> def.</li> <li>• Piano d’azione europeo per le foreste 2007-2011(COM (2006) 302).</li> <li>• Commissione Europea, “Libro verde - L’adattamento ai cambiamenti climatici in Europa – quali possibilità di intervento per l’UE” (2007).</li> <li>• Politica Agricola Comunitaria (Reg. (CE) n. 73/2009 del Consiglio).</li> <li>• Commissione Europea, “Libro bianco - L’adattamento ai cambiamenti climatici: un quadro d’azione europeo (2009).</li> <li>• Pacchetto energia-clima 2013-2020 (Dir. 2009/28/CE del 5 giugno 2009).</li> <li>• Commissione Europea, “Libro Verde - La protezione e l’informazione sulle foreste nell’UE: preparare le foreste ai cambiamenti climatici” (2010).</li> </ul>

<b>Livello Nazionale</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regio Decreto Legge del 30 dicembre 1923, nr. 3267.</li><li>• Regio Decreto Legge del 16 maggio 1926, nr. 1126.</li><li>• Legge 21 novembre 2000, n. 353 - "Legge-quadro in materia di incendi boschivi".</li><li>• Decreto Legislativo 18 maggio 2001, nr 227 - "Orientamento e modernizzazione del settore forestale".</li><li>• Legge 1 giugno 2002, nr. 120 - "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997".</li><li>• Conferenza Stato-Regioni - Intesa nr 2049 del 15 luglio 2004, "Linee guida nazionali di programmazione forestale".</li><li>• Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 giugno 2005 - "Linee guida nazionali di programmazione forestale".</li><li>• Strategia Nazionale per la Biodiversità 2011-2020 (2008).</li><li>• Conferenza Stato-Regioni - Intesa nr 265 del 18 dicembre 2008, "Programma Quadro per il settore forestale (PQSF)".</li></ul>
--------------------------	---

*Tabella 2.11: Principali Strumenti Normativi e Programmatici.*

Questi strumenti legislativi, congiuntamente al R.D. 3267/1923, costituiscono l'ossatura della normativa forestale di riferimento a livello nazionale. In particolare, il D.Lgs. 227/2001 attribuisce alle Regioni il compito di definire linee di tutela, conservazione e valorizzazione del settore forestale nel rispetto degli impegni assunti dall'Italia a livello internazionale e comunitario in materia di biodiversità e sviluppo sostenibile. Le Regioni e le Province Autonome sono dunque chiamate a definire proprie linee di tutela, conservazione, valorizzazione e sviluppo del settore forestale e redigere (o revisionare) Piani Forestali Regionali (PFR, vd. art. 3, comma 1) sulla base delle linee guida nazionali, in un'ottica di gestione sostenibile e multifunzionale delle foreste. Attualmente, la quasi totalità delle regioni italiane ha redatto il proprio piano forestale regionale, alcune limitandosi a definire delle linee guida. Tali Piani costituiscono strumenti di programmazione territoriale del settore e devono ispirarsi ai sei criteri di GFS (vedi nota 8) concordati ad Helsinki nel 1993 e sottoscritti dal nostro paese.

Alle normative nazionali e regionali si aggiunge il Programma Quadro per il Settore Forestale (PQSF, MiPAAF 2008), redatto nel pieno rispetto delle competenze istituzionali centrali e periferiche, che ha l'obiettivo di coordinare e armonizzare l'attuazione degli impegni internazionali e comunitari (vedi Tabella 2.11) sottoscritti dal Governo italiano in materia di foreste. Il PQSF costituisce al tempo stesso un quadro di riferimento strategico, d'indirizzo e di coordinamento per il settore forestale nazionale favorendo ogni possibile sinergia con le politiche forestali già definite e attuate dalle amministrazioni regionali. Il suo fine è anche quello di migliorare l'efficacia e l'efficienza della spesa per il settore nel medio e lungo termine ed essere uno strumento condiviso che rappresenti anche all'estero le linee di indirizzo generali della politica forestale italiana. Gli Obiettivi prioritari nazionali definiti dal PQSF, che trovano opportuna

attuazione nella programmazione regionale e sostegno finanziario principalmente nelle risorse messe a disposizione dai Programmi di Sviluppo Rurale (PSR), sono:

- a) Sviluppare una economia forestale efficiente, sostenibile e innovativa, migliorando la competitività nel lungo periodo del settore forestale.
- b) Tutelare il territorio e l'ambiente mantenendo e migliorando la funzione protettiva e gli equilibri interni degli ecosistemi forestali.
- c) Valorizzare la dimensione sociale e culturale delle foreste, trasformando i boschi in uno strumento di sviluppo, coesione sociale e territoriale.
- d) Favorire la comunicazione e partecipazione della società civile, e migliorare la cooperazione interistituzionale al fine di coordinare e calibrare gli obiettivi economici, ambientali e socioculturali ai diversi livelli.

Al fine di rafforzare il coordinamento operativo nazionale sugli obiettivi prioritari definiti dal PQSF, in analogia con quanto già effettuato dall'Unione europea tramite il Comitato Permanente Forestale, è stato istituito un gruppo tecnico permanente di lavoro, denominato "Tavolo di coordinamento forestale", che ha lo scopo di individuare le tematiche prioritarie e di rilevanza nazionale per il settore, di proporre le opportune azioni e di individuare i possibili strumenti di finanziamento. Il Tavolo, che ha funzione di Comitato di Sorveglianza del PQSF, ha compiti di coordinamento, indirizzo e informazione, rappresenta il punto unitario di riferimento interistituzionale per l'attuazione sul territorio italiano della programmazione forestale e delle politiche forestali nazionali ed internazionali.

Nonostante gli indirizzi condivisi a livello internazionale e gli impegni attuativi a livello nazionale e locale, non esiste a tutt'oggi una politica nazionale armonizzata sull'adattamento capace di "mettere in sicurezza" le foreste e i servizi che esse assolvono. Le attuali politiche di tutela e protezione delle foreste in genere mirano ad aumentare la resistenza e la resilienza degli ecosistemi forestali attraverso misure e azioni spesso non adeguatamente coordinate ai vari livelli e dirette esclusivamente a singoli prodotti e servizi eco sistemici che mancano di un'adeguata visione d'insieme dell'aspetto multifunzionale delle foreste. È quindi urgente e necessario programmare una politica nazionale di adattamento delle foreste alla luce delle più recenti considerazioni e risultati derivanti dalla comunità scientifica nazionale e internazionale (IPCC), al fine di individuare le aree forestali nazionali prioritarie a maggiore rischio di vulnerabilità e identificare l'insieme delle attività di gestione mirate ad aumentarne la capacità di adattamento.

### ***Il contesto istituzionale per il settore forestale nazionale***

Nel corso degli ultimi decenni lo scenario internazionale e comunitario della politica forestale ha fortemente influenzato l'evoluzione del settore forestale nazionale, ponendo la necessità di meglio identificare e definire istituzioni e competenze in materia forestale.

Già a partire dai primi anni '70 il passaggio alle Regioni di competenze e funzioni amministrative in materia di agricoltura e foreste ha generato una ricca normativa regionale (derivante dal RDL n. 3267/1923 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani"), che ha creato una forte disomogeneità di situazioni territoriali e, conseguentemente, una attuazione piuttosto differenziata di norme e strumenti di programmazione. Ne è un esempio la grande diversità che nel corso degli anni si è registrata nel panorama nazionale in merito alle definizioni di bosco e alla natura dei rimboschimenti compensativi, alla valorizzazione della pianificazione forestale, all'ampliamento delle Prescrizioni di massima e di polizia forestale, alla regolamentazione nella fruizione del bosco, al divieto del taglio a raso e alla promozione del taglio colturale, all'incentivazione delle forme associative.

Alla luce del decreto legislativo n. 143/97 (decentramento amministrativo operato dalle cosiddette leggi Bassanini) e della modifica del titolo V - Parte seconda della Costituzione (Legge Costituzionale n. 3/2001), la chiara assegnazione di compiti e ruoli istituzionali in materia forestale nel nostro Paese risulta oggi confusa, sovrapposta e in alcuni casi addirittura lacunosa. In particolare, a norma della Costituzione, la gestione forestale deve ritenersi di *competenza residua-esclusiva* delle Regioni, anche se poi le tematiche forestali vanno a intersecare sia quelle del governo del territorio (di *competenza concorrente* e la cui determinazione dei principi fondamentali è riservata alla legislazione dello Stato, art. 117, comma 3, lett. m), sia quelli di tutela dell'ambiente e dell'ecosistema (di *competenza esclusiva statale*, art. 117, com. 2, lett. s). Con la Legge 353/2000, inoltre, la competenza primaria per la prevenzione e la lotta agli incendi boschivi viene affidata alle Regioni che sono anche responsabili della redazione e dell'attuazione dei Piani Antincendio Boschivi.

L'attuazione della regionalizzazione delle competenze ha visto in molti casi le Regioni dotarsi di proprie strutture organizzative o delegare e affidare, in tutto o in parte, l'organizzazione del settore agli Enti territoriali (Comunità Montane, Province o Comuni) o al Corpo Forestale dello Stato (CFS), lasciando all'allora "Ministero per le Politiche Agricole e Forestali" le residue competenze di carattere generale e programmatico, modificandone e ridimensionandone anche le competenze gestionali che esercitava attraverso il CFS. La crescente attenzione ai temi ambientali, il susseguirsi degli impegni internazionali nati dalla conferenza di Rio del 1992 (CBD, UNFCCC-Protocollo di Kyoto, ecc.), l'evoluzione del processo pan-europeo sulle foreste (MCPFE - Forest Europe) e le nuove politiche comunitarie in materia di agricoltura, ambiente e sviluppo rurale, hanno enfatizzato le carenze istituzionali nazionali in materia di politiche forestali. In particolare, l'assenza di un coordinamento tra la normativa ambientale e quella forestale, la mancanza di una definizione univoca di alcuni termini chiave (bosco, foresta, taglio colturale, ecc.) ha lasciato, e in alcuni casi lascia ancora oggi, un vuoto che ha dato adito a interpretazioni spesso non perfettamente univoche.

In questo contesto, ferme restando le competenze delle Regioni e delle Province Autonome e considerando la natura trasversale della materia forestale, permane ancora una reale sovrapposizione di compiti e ruoli tra il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM) e il Ministero delle politiche agricole agroalimentari e forestali (MiPAAF): il primo

con un ruolo esclusivo per la tutela dell'ambiente e dell'ecosistema, e il secondo con il solo ruolo di coordinamento ed elaborazione delle linee forestali di indirizzo politico a livello nazionale.

L'ultimo atto nazionale di coordinamento e indirizzo sulla materia forestale è rappresentato dal Programma quadro per il settore forestale (PQSF – ai sensi del com. 1082, art.1 della Legge finanziaria 2007), proposto dal MiPAAF e dal MATTM con l'approvazione finale dalla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano nella seduta del 18 dicembre 2008. A questo si affianca il Tavolo Filiera-Legno, istituito con D.M. MiPAAF n. 18352 del 14 dicembre 2012, con la funzione di coordinamento tra le diverse componenti della filiera foresta-legno ed energia e le diverse politiche di settore nazionali e regionali, coerentemente con la strategia nazionale definita dal PQSF e gli impegni sottoscritti a livello internazionale e comunitario.

### ***Il contesto socio-economico e le filiere industriali<sup>172</sup>***

Il sistema industriale foresta-legno conta più di 78.000 imprese (Tabella 3.11) in cui operano più di 515 mila addetti (MiPAAF, Piano della filiera legno 2012-14). La struttura industriale della produzione e lavorazione del legno può essere suddivisa in tre componenti tra loro integrate in una logica di filiera:

- le utilizzazioni forestali (fase di raccolta) effettuate da imprese e aziende di utilizzazione boschiva e agro-forestale;
- la prima trasformazione che comprende la produzione di materiali semilavorati, le imprese del comparto dei pannelli a base di legno e dell'imballaggio;
- la seconda lavorazione, formata dall'industria della carta, del mobile, e altre produzioni in legno.

Le componenti risultano legate fra di loro da scambi intersettoriali che, nella maggior parte dei casi, non coinvolgono trasversalmente tutte le fasi della filiera, presentando frequenti collegamenti e competizioni nell'approvvigionamento delle materie prime. A livello nazionale, l'insufficiente offerta locale di legname (dettata anche dai prezzi non remunerativi), non riuscendo a soddisfare la domanda delle industrie di trasformazione, ha generato una situazione di profonda criticità nell'ambito del sistema di lavorazione del legno e dei suoi derivati (Pettenella, 2009).

---

<sup>172</sup> Il presente capitolo è parzialmente ripreso dal Documento di sintesi del Piano della filiera legno 2011 del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (Romano, 2011).

SETTORI	Imprese	Addetti
Imprese di utilizzazione boschiva	n.a.	43.000
Industria di lavorazione del Legno	40.400	166.500
Settore Mobile – Arredo	33.140	222.450
Fabbric. della pasta-carta, della carta e del cartone	4.570	83.600
<b>Totale complessivo</b>	<b>78.110</b>	<b>515.550</b>

*Tabella 3.11: Imprese e addetti della filiera foresta-legno (2010) (Fonte: Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali - Piano della filiera legno 2012-14).*

La filiera nazionale del legno-mobile nel suo complesso, grazie all'efficacia dell'industria del mobile, garantisce un saldo commerciale positivo nonostante la dipendenza dall'estero di materie prime legnose. Con il 15% delle imprese nazionali (quasi 400.000 addetti e 73.500 aziende) è il secondo settore dell'industria manifatturiera italiana e il volume d'affari complessivo è pari a 32,4 miliardi di Euro (20,5 miliardi di Euro dal settore mobile arredamento e 11,9 miliardi di Euro dal settore legno).

Il settore del mobile arredo (il 63 % di tutta la filiera) occupa il 50% degli addetti del sistema legno-arredo. Il settore relativo alla trasformazione del legno (prodotti per l'edilizia, semilavorati e componenti per l'industria dell'arredo) copre il 37 % della filiera legno arredo e occupa circa il 25 % degli addetti.

Le imprese di prima trasformazione, per la maggioranza microimprese individuali o a carattere familiare, operano principalmente nel settore delle produzioni della carpenteria, del pannello, degli imballaggi in legno e nella commercializzazioni di prodotti semilavorati. Le specie più utilizzate rimangono l'abete e il pioppo, impiegate principalmente dalle industrie di produzione dei pannelli a base di legno e dai produttori di imballaggi. Il legname consumato (tondo e semilavorato) proviene per oltre il 65% dall'estero e principalmente da Austria, Francia, Svizzera e Germania.

Tra le imprese di seconda trasformazione ad alto livello di specializzazione dei processi produttivi e dei prodotti, le falegnamerie e la carpenterie sono quelle maggiormente rappresentate come numero di imprese. Dalla lavorazione dei prodotti semilavorati le imprese del settore, concentrate nelle industrializzate zone di pianura, lavorano per la produzione di mobili in legno, pannelli e prodotti finiti per l'industria meccanica e manifatturiera, utilizzando principalmente materiale proveniente dal mercato estero.

Di particolare importanza sono le imprese di tradizione artigianale nella produzione di mobili, caratterizzate dalla ridotta manodopera che utilizza principalmente legname di latifoglie proveniente da mercato locale. Queste attività imprenditoriali, radicate sul territorio, costituiscono

in molti contesti montani del paese le ultime realtà occupazionali svolgendo un importante ruolo nella valorizzazione delle risorse umane e boschive del nostro territorio.

Le piccole e medie imprese del sistema foresta-legno, prevalentemente artigiane (88% quelle del legno, 80% circa quelle dei mobili), hanno con cultura orientata alla produzione e per lo più bassi investimenti in ricerca e sviluppo. I maggiori vantaggi competitivi sono legati alla qualità del design e alla flessibilità offerta dai distretti industriali specializzati. Il consumo di legname di alta qualità - soprattutto di latifoglie (temperate e tropicali) da fonti non nazionali - ha un ruolo cruciale nello sviluppo del settore. Infatti, il mercato italiano rappresenta il primo mercato per l'export di tronchi e altri prodotti legnosi da Camerun, Costa d'Avorio, Romania, Bosnia Erzegovina, Albania e Serbia, tutti Paesi riconosciuti a livello internazionale per gli alti livelli di illegalità nei settori del taglio e commercio dei prodotti forestali, con impatti negativi a livello ambientale (deforestazione e degrado delle foreste) e sociale (ISPRA, 2009).

L'Italia è tra i primi posti al mondo per l'esportazione di prodotti finiti e il sistema legno-arredo costituisce il comparto trainante della filiera foresta-legno italiana. I principali mercati di destinazione delle esportazioni sono gli Stati Uniti d'America e la Russia, che coprono il 12% circa delle esportazioni italiane, e l'Europa, con Francia, Germania e Regno Unito che ricevono da soli circa il 36% delle esportazioni italiane (nel 2010 le esportazioni verso questi tre paesi sono aumentate, rispettivamente, del 10%, 22% e 8%).

L'altra importante filiera che si approvvigiona di materia prima legnosa, fino agli scarti di lavorazione e materiale ligneo di riciclo, è quella della loro trasformazione nei diversi tipi di pasta di cellulosa e quindi produzione di carte, cartoni e assimilati. Nel comparto che produce carta, cartoni e paste per carta operano 139 aziende, che gestiscono 180 stabilimenti e impiegano circa 21.800 addetti con una produzione annua pari a circa 9,5 M tonnellate, un terzo delle quali destinate all'export (dati Assocarta<sup>173</sup>). La produzione complessiva di carta e cartoni è risultata nel 2010 di poco inferiore ai 9 milioni di tonnellate (+6,9 % rispetto al 2009) con un'esportazione di circa il 30% della produzione. Il saldo relativo all'import-export risulta comunque negativo, a fronte di un consumo nazionale apparente di poco inferiore a 11,7 milioni di tonnellate. Tale livello della produzione segna un recupero del 6,9% rispetto ai livelli del 2009, ma restano ancora lontani i valori record fatti registrare nel 2007 (oltre 10,1 M tonnellate).

### *Il contesto ambientale: servizi degli ecosistemi*

I servizi ecosistemici collegati alla presenza di risorse forestali ricoprono un ruolo sempre più importante nell'economia del paese come conseguenza della crescente domanda di servizi pubblici quali la tutela idrogeologica, la regolazione del ciclo del acqua, la conservazione del paesaggio e della biodiversità, la riduzione delle emissioni di gas di serra in atmosfera (Vidale et al., 2012). L'offerta di questo ampio spettro di servizi pubblici, un tempo una sorta di spillover conseguenti

---

<sup>173</sup> <http://www.assocarta.it/>.

ad una attiva gestione delle foreste per la produzione di beni commerciali, è attualmente minacciata dai processi di abbandono gestionali, spesso associati a fenomeni di diminuzione della stabilità degli ecosistemi forestali e alla loro maggiore vulnerabilità al fuoco, agli eventi meteorologici avversi, agli attacchi parassitari. Incendi, invecchiamento delle formazioni in aree a forte pendenza, abbandono delle sistemazioni idrauliche tradizionali e dei terrazzamenti sono alcuni dei fattori che causano o innescano l'instabilità dei versanti, risultato della mancanza di una gestione dei beni fondiari, *in primis* le foreste.

Oltre l'86,6% della superficie forestale nazionale e il 93,0% della categoria Bosco è sottoposta a qualche forma di regolamentazione più o meno vincolante; il Vincolo idrogeologico interessa l'87,1% della superficie classificata come Boschi. Secondo i dati dell'Inventario Forestale nazionale solo il 15,7% della categoria Boschi (1,3 milioni di ettari) è sottoposto ad una pianificazione di dettaglio (piani di assestamento). Dal momento che il 33,9% dei boschi sono di proprietà pubblica, ben più della metà di questa non rispetta l'obbligatorietà della pianificazione di dettaglio nella proprietà pubblica (art.130 della Legge Serpieri - RDL 3267/23), strumento fondamentale per garantire l'offerta di servizi ecosistemici in equilibrio con quella di prodotti commerciali (legname ad uso industriale e legna da ardere). Il 27,5% della superficie forestale nazionale è tutelata da un vincolo naturalistico, con un'incidenza maggiore in alcune Regioni del Centro e Sud Italia: in Abruzzo, Campania, Puglia e Sicilia più della metà delle aree forestali è sottoposta a vincolo naturalistico. Il 7,6% delle foreste ricade in parchi nazionali, mentre il 6,7% è compreso in parchi regionali. Una quota molto minore (intorno all'1%) ricade in riserve naturali o in altre aree protette. Da ultimo va evidenziato che il 22,2% della superficie forestale nazionale rientra in siti della rete Natura2000 (Sic e Zps<sup>174</sup>).

Va registrata infine la crescita di una serie molto ampia e diversificata di nuovi utilizzi delle foreste, spesso con positivi impatti di reddito e occupazionali su scala locale, legati alle attività turistico-ricreative (più di 70 parchi-avventura forestali creati in pochi anni), sportive, di didattica ambientale, di valorizzazione dei prodotti non legnosi, culturali (musei e concerti in foresta) e ricettive. Non sempre in questo caso i decisori pubblici sono preparati a valorizzare tali potenzialità, per esempio dando i terreni in gestione a terzi o fornendo le necessarie autorizzazioni.

Ritardi analoghi si individuano nell'ambito della messa a punto di sistemi di pagamento per i servizi ambientali pubblici delle foreste: benché al settore forestale sia attribuito un ruolo pari a circa un quarto delle iniziative di riduzione delle emissioni di gas di serra nella strategia italiana di attuazione del Protocollo di Kyoto, si è ben lontani dall'aver avviato l'impostazione di un sistema di compensazione dei proprietari. Le possibilità di tariffazione dell'acqua offerte dalla Legge Galli (L. n. 36/1994) per creare le risorse economiche per la realizzazione di interventi di gestione dei bacini di captazione, salvo lodevoli eccezioni (per esempio, in Piemonte), non sono state ancora valorizzate (Pettenella et al., 2012).

---

<sup>174</sup> <http://www.minambiente.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia>.

Possibilità di finanziamento dell'offerta di servizi ambientali sono collegate alle attività di compensazione<sup>175</sup>. Tutte le opere sottoposte a Valutazione d'Impatto Ambientale (art. 5 della Dir. 1997/11), a Valutazione Ambientale Strategica (art. 5 Dir. 2001/42) e quelle realizzate nella rete Natura 2000 sono soggette, nel caso si ipotizzino danni ambientali, ad interventi di compensazione. Il D.Lgs 227/2001 (vd. c.6 art. 4) e molte normative regionali prevedono opportunamente la possibilità di versare agli enti pubblici preposti l'ammontare dei costi di realizzazione del rimboschimento compensativo, anche al fine di accelerare l'iter di approvazione dei progetti.

Da una parte le restrizioni della spesa pubblica, anche nel settore forestale, dall'altra la più meticolosa applicazione del principio della compensazione hanno fatto sì che i fondi investiti per questi interventi siano diventati rilevanti, sia in termini relativi che assoluti, in molti contesti regionali. In Regione Lombardia, ad esempio, dall'introduzione delle norme regionali sulla compensazione (agosto 2003) il valore degli interventi compensativi ammonta a oltre 60 M di Euro.

## **Impatti dei cambiamenti climatici sulla funzionalità e sui servizi ecosistemici delle foreste**

Gli impatti dovuti ai cambiamenti climatici fin'ora registrati e quelli potenziali previsti dai modelli negli scenari climatici futuri comportano un aumento della temperatura media e della siccità estiva e l'amplificazione, in intensità e frequenza, dei fenomeni estremi quali uragani, temporali e inondazioni (IPCC AR4, 2007; IPCC AR5, 2014).

La risposta degli ecosistemi forestali ai cambiamenti climatici si sta traducendo in un'alterazione dei tassi di crescita e della produttività (Sabatè et al., 2002; Lindner et al., 2010; Giuggiola et al., 2010; Bertini et al., 2011; Rodolfi et al., 2007). Per quanto concerne la composizione delle specie, la fascia tirrenica della penisola italiana, compresa la fascia settentrionale della Sicilia e le coste orientali della Sardegna, è storicamente caratterizzata da una condizione climatica capace di preservare la coesistenza di querce decidue e sempreverdi. Confrontando l'attuale clima con quello previsto in futuro (Girvetz et al., 2009) emerge che la condizione climatica potrebbe traslare verso una condizione estremamente favorevole alla dominanza delle sole specie sempreverdi, a discapito della copresenza e della diversità, già a partire dalla seconda metà di questo secolo, dovuto per lo più ad un calo complessivo dell'umidità del suolo (Di Paola et al., 2012).

A causa dei cambiamenti climatici, si registrano, inoltre, cambiamenti nella distribuzione delle specie e shift altitudinali e latitudinali (Parolo & Rossi, 2008) degli habitat forestali, influenzati spesso anche dall'uso del suolo, con conseguente perdita locale di biodiversità, aumento del rischio di incendio e di danni da insetti e patogeni, alterazione del ciclo dell'acqua e del carbonio.

---

<sup>175</sup> Vd. art. 4 del D.Lgs. 18.5.2001, n. 227 "Orientamento e modernizzazione del settore forestale".

Queste alterazioni sono tali da determinare significative alterazioni del patrimonio forestale italiano, compromettendone la funzionalità ed i servizi ecosistemici che esso offre e sono destinate ad aumentare in risposta anche agli scenari climatici futuri. In particolare, le nostre foreste, a causa degli impatti dei cambiamenti climatici, rischiano di ridurre notevolmente, o persino perdere del tutto, alcune delle funzioni più importanti che attualmente esse sono chiamate a svolgere, tra cui:

- serbatoi di biodiversità e tutela delle specie e degli habitat;
- funzione produttiva in termini di prodotti legnosi e bioenergia;
- regimazione e captazione delle acque, protezione del suolo e difesa dal dissesto idrogeologico, incluso il mantenimento della qualità delle acque;
- protezione diretta degli insediamenti, infrastrutture e attività dell'uomo da pericoli naturali (caduta massi, valanghe, lave torrentizie e scivolamenti superficiali) e contenimento del rischio di alluvioni;
- assorbimento e fissazione del carbonio nei suoli e nella biomassa e mantenimento della qualità dell'aria;
- funzione turistico-ricreativa.

### ***Biodiversità: semplificazione delle biocenosi, migrazione delle specie e spostamento dei loro areali di distribuzione***

I cambiamenti climatici sono fra i fattori che possono influenzare in modo significativo la biodiversità forestale, sia negli aspetti che riguardano la distribuzione delle specie, i loro processi di migrazione e la loro variabilità genetica, sia in quelli che riguardano la fisionomia e la struttura delle biocenosi forestali, con ricadute anche a scala di ecosistema e paesaggio.

Utili conoscenze, a fini di orientative previsioni, possono essere ricavate da studi paleo-ecologici e filo-geografici, con particolare riferimento alla risposta delle specie arboree ad antecedenti variazioni climatiche, in termini di capacità di adattamento e migrazione (ad es. Petit et al., 2005; Svenning et al., 2008). Sono note, a tal riguardo, sia le rotte di migrazione post-glaciale, sia le aree di rifugio di numerose specie forestali europee (Magri et al. 2006; Parducci et al., 2012). Significative indicazioni derivano anche da studi sul grado di sensibilità al clima condotti a livello di specie, combinando scenari di cambiamenti climatici con modelli di risposta alle variabili climatiche (ad es. Bakkenes et al., 2002). Queste ricerche concordano sul fatto che i cambiamenti climatici possano determinare un più rapido turnover delle specie arboree forestali, con una riduzione delle loro aree di stabilità, soprattutto negli ambienti mediterranei, dove si potrebbe verificare una contrazione delle specie arboree oggi presenti, con un aumento relativo delle specie arbustive o più termofile e xeroresistenti rispetto a quelle più esigenti di umidità (Alkemade et al., 2011). Ben studiato è il caso del faggio, per il quale, in base a dati genetici e fisiologici, è prevedibile un arretramento del limite meridionale dell'areale e un aumento della frammentazione delle popolazioni in queste aree (Kramer et al., 2010). In generale, numerosi modelli di processo

prevedono una rarefazione delle specie arboree temperate alle quote più basse, come conseguenza dei cambiamenti climatici, anche se persiste una notevole divergenza fra gli scenari di previsione, dovuta in buona parte ai diversi criteri con cui i modelli rappresentano l'effetto dell'aumento dell'anidride carbonica in atmosfera (Cheaib et al., 2012).

La maggior parte dei modelli previsionali di stima per scenari di cambiamenti climatici sono stati applicati su dati regionali a bassa risoluzione spaziale, mentre poche e, a nostra conoscenza, carenti sono le applicazioni su dati ad alta risoluzione per il nostro paese (Ruiz-Labourdette et al., 2012).

Nonostante le specie arboree forestali siano in genere caratterizzate da alti livelli di variabilità genetica intraspecifica, con alti potenziali adattativi, possibili processi di asincronia riproduttiva e di frammentazione degli habitat a causa dei cambiamenti climatici potrebbero determinare conseguenze sui processi riproduttivi e sulla diversità genetica a scala di popolazione (ad es. Alizoti et al., 2010; Leonardi et al., 2012). Per le specie forestali la stima delle conseguenze di processi di frammentazione non è comunque facile. La difficoltà deriva in buona parte dalle caratteristiche del loro ciclo biologico (longevità, generazioni sovrapposte, ritardo nel raggiungimento della maturità sessuale Kramer et al., 2008, Smulders et al., 2009), che tendono a ritardare le conseguenze tipiche della frammentazione: impoverimento della variabilità genetica adattativa, aumento dei fenomeni di inincrocio, effetti di deriva sulle popolazioni periferiche, limitazioni del flusso genico tra popolazioni (Bacles e Jump, 2011).

Impatti consistenti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità delle biocenosi forestali italiane sono ipotizzabili soprattutto nelle zone mediterranee (Resco de Dios et al., 2007) e negli ambienti di alta quota (Motta & Nola, 2001). Peraltro, pochi sono gli studi che quantificano le conseguenze genetiche delle migrazioni legate allo spostamento altitudinale nelle specie forestali (Piotti et al. 2009; Pluess, 2011), e carente è anche la letteratura sulle dinamiche al margine meridionale dell'areale, dove le specie forestali potrebbero subire una progressiva perdita di habitat (Jump et al., 2009). In Italia, a fronte di pochi studi su specie di maggior interesse (ad es. Scalfi et al., 2009; Leonardi et al., 2012; Vernesi et al., 2012), le caratteristiche genetiche delle popolazioni forestali periferiche sono state poco indagate nonostante, per le peculiarità del territorio e la sua posizione geografica, la penisola italiana rappresenti una sorta di esperimento a cielo aperto per studiare le conseguenze dei cambiamenti climatici connesse alla frammentazione degli habitat.

Incomplete appaiono pure le conoscenze circa l'impatto sulla biodiversità forestale di eventi climatici estremi, e circa la possibilità di discriminare fra gli effetti diretti delle variabili climatiche e quelli indiretti connessi ad altri processi potenzialmente modulati dai cambiamenti climatici, come la competizione interspecifica, i cambiamenti di uso del suolo, gli incendi, le deposizioni azotate, in grado di plasmare la biodiversità a scala di biocenosi, con particolare riferimento alla loro consistenza e continuità spaziale (Clavero et al., 2011). In alcuni casi, è prefigurabile un effetto di rinforzo fra i vari fattori connessi ai cambiamenti climatici, con un esito complessivo che potrebbe portare alla marginalizzazione di specie arboree oggi ampiamente diffuse, e a cambiamenti nella fisionomia e nella continuità delle coperture forestali. Esiste quindi la possibilità

che si determinino condizioni di vulnerabilità della biodiversità forestale ai cambiamenti climatici anche al di là del grado di sensitività alle variabili climatiche della singole specie che costituiscono le biocenosi forestali.

La presente valutazione di sintesi circa l'impatto dei cambiamenti climatici sulla biodiversità delle biocenosi forestali italiane si basa su analogie rispetto a studi condotti in zone geografiche comparabili (ad es. Ruiz-Laboudette, 2012), su ragionamenti fondati sulle relazioni clima-crescita e clima-distribuzione derivanti da studi dendro-ecologici ed ecofisiologici (ad esempio, Borghetti et al. 1993; Casalegno, 2010; Di Filippo et al., 2010; Dirnböck et al., 2003; Garfi, 1997; Garfi et al., 2002; Motta & Nola, 2001; Piermattei et al., 2012; Piovesan et al., 2008; Todaro et al., 2007), su stime di funzionalità ecologica condotte sotto scenari di cambiamenti climatici (ad es. Vitale et al., 2012), su valutazioni dei processi di rinnovazione di specie localizzate al limite del proprio areale (ad es. Sala et al., 2011), nonché sulla conoscenza diretta dei vari ecosistemi forestali del nostro paese. Si è tenuto anche conto dei possibili effetti sulla biodiversità dovuti all'espansione di specie aliene legnose ed erbacee che, superata la fase di adattamento, possono mettere a rischio le biocenosi forestali direttamente e/o indirettamente, ad esempio riducendo le capacità di rinnovazione delle specie autoctone e impedendo un loro recupero attraverso processi di successione secondaria (Heywood, 2010; Badalamenti et al., 2012; Pasta et al., in press). Nella Tabella 4.11 si mettono in luce alcuni impatti prefigurabili da questa valutazione di sintesi, incrociando fisionomie forestali e regioni biogeografiche.

Fisionomie forestali	Regione biogeografica mediterranea (RBM)	Regione biogeografica continentale (RBC)	Regione biogeografica alpina (RBA)
<i>Macchia-foresta mediterranea</i>	Contrazione, nelle zone di bassa quota, delle aree di stabilità di <i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Quercus ilex</i> , con possibile erosione della variabilità genetica intraspecifica; transizione da macchia-foresta a macchia-garighe lacunose, con biocenosi semplificate in termini strutturali, non necessariamente in termini compositivi. A rischio le localizzazioni costiere di latifoglie mesofile ( <i>Quercus</i> sp., <i>Fraxinus</i> sp., <i>Carpinus</i> sp.). Ulteriore contrazione di specie relitte e/o localizzate come <i>Zelkova sicula</i> . Maggiore espansione di specie aliene a scapito delle specie autoctone.	Processi simili, ma attenuati, rispetto a quelli previsti per la RBM.	Presenze trascurabili, impatti non significativi.
<i>Formazioni forestali sopra-</i>	Contrazione delle aree di stabilità delle latifoglie arboree	Possibili processi di immigrazione di specie del piano	Presenze minori, impatti attenuati del CC. Possibile

<p>mediterrane e sub-montane</p>	<p>più esigenti nelle zone di quota più bassa, con particolare riferimento a specie con modesta capacità di dispersione, come <i>Quercus</i> sp. A rischio di ulteriore erosione entità "orientali" già relittuali come <i>Quercus troiana</i>, <i>Quercus frainetto</i>, <i>Quercus aegilops</i>, e differenziate nelle regioni meridionali come <i>Q. gussonei</i>.</p> <p>Pure a rischio le popolazioni eterotopiche di bassa quota di <i>Fagus sylvatica</i>.</p>	<p>mediterranee (es. <i>Quercus ilex</i>). Come nelle RBM, a rischio le popolazioni eterotopiche di bassa quota di <i>Fagus sylvatica</i>, e le localizzazioni collinari di <i>Castanea sativa</i>, le cui dinamiche sono comunque in buona parte connesse ai cambiamenti di uso del suolo.</p>	<p>maggiore espansione di formazioni sopramediterranee. Dinamiche importanti, legate alla biodiversità delle biocenosi forestali, comunque connesse ai cambiamenti di uso del suolo.</p>
<p>Foresta montana</p>	<p>Vulnerabilità di <i>Fagus sylvatica</i>, ma soprattutto di <i>Abies alba</i>, in termini di capacità competitiva, dinamica di popolazione e variabilità genetica intraspecifica; possibile ampliamento dell'area di stabilità delle latifoglie più continentali. A rischio di erosione le popolazioni di specie "oceaniche", già relittuali, come <i>Taxus baccata</i> e <i>Ilex aquifolium</i>, ma anche di <i>Betula aetnensis</i> e <i>Populus tremula</i> in Sicilia e sugli appennini. Possibile aumento della diversificazione strutturale delle biocenosi forestali, ma diminuzione della loro consistenza e del loro grado di copertura. In genere, possibile drastica riduzione della variabilità genetica intraspecifica, in quanto per diverse specie arboree montane (es. <i>Fagus sylvatica</i>, <i>Abies alba</i>) l'aliquota più alta di variabilità genetica è localizzata, in seguito alle dinamiche di ricolonizzazione post-glaciale, proprio nella RBM.</p> <p>Possibile spostamento al di sopra della odierna <i>timberline</i> di alcune specie.</p>	<p>Processi simili, ma attenuati, rispetto a quelli previsti per la RBM. Per l'effetto congiunto di riscaldamento e siccità la montagna appenninica potrebbe perdere buona parte della sua importanza come "rifugio" per le specie adattate a un clima temperato-umido (es. grandi latifoglie esigenti dei generi <i>Fraxinus</i>, <i>Acer</i> e <i>Tilia</i>), che vedrebbero contratta la loro area di stabilità, con rischi di erosione genetica.</p>	<p>Impatti simili, ma prevedibilmente attenuati, rispetto alla RBC. Sulle Alpi Orientali, la continentalizzazione del clima potrebbe corrispondere a una contrazione dell'area di stabilità di <i>Fagus sylvatica</i> alle quote più alte, mentre ci potrebbero essere effetti favorevoli su stabilità e diffusione delle pinete di pino silvestre.</p>

Foresta subalpina	Assente	Assente	<p>Espansione verso l'alto del limite superiore della foresta subalpina, in rapporto al CC, che potrebbe facilitare i processi riproduttivi e le dinamiche di popolazione, e ai cambiamenti di uso del suolo. Possibile minore competitività di <i>Picea abies</i> su <i>Larix decidua</i> e conseguente innalzamento dell'area di stabilità di <i>Larix decidua</i> probabile espansione dell'areale di <i>Pinus cembra</i>.</p> <p>Modifiche di rilievo del <i>timberline</i> seguiranno comunque i cambiamenti di uso del suolo.</p>
-------------------	---------	---------	---

**Tabella 4.11:** Prefigurabili impatti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità delle biocenosi forestali italiane entro il 2100. La suddivisione in regione biogeografiche segue la mappa condivisa dal Ministero dell'Ambiente.

### **Impatti sulla produttività<sup>176</sup> forestale e sul ruolo delle foreste nella mitigazione e capacità di sequestro di carbonio**

La funzionalità degli ecosistemi forestali e gran parte dei prodotti e servizi che essi offrono, tra cui anche la capacità di sequestro di carbonio, sono strettamente connessi alla loro produttività.

Su ambiti geografici molto vasti, la Produttività Primaria Netta (NPP) degli ecosistemi forestali tende ad aumentare al decrescere della latitudine e all'aumentare della temperatura media annua, qualora le riserve idriche non costituiscano un fattore limitante. Di conseguenza, i cambiamenti climatici in atto e previsti in futuro (aumento della temperatura media annua, siccità prolungate e ripetute, aumento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>) potrebbero significativamente influire sulla crescita delle foreste europee, riducendone la produttività soprattutto in zone sensibili come la Regione Mediterranea (Sabatè et al., 2002; Lindner et al., 2010; Giuggiola et al., 2010) ma anche nelle foreste di latifoglie decidue (faggio e querce) dell'Italia centrale a basse altitudini e nelle foreste di abete rosso a quote medio-alte nelle Alpi, a causa del deficit idrico e delle alte temperature (Bertini et al., 2011).

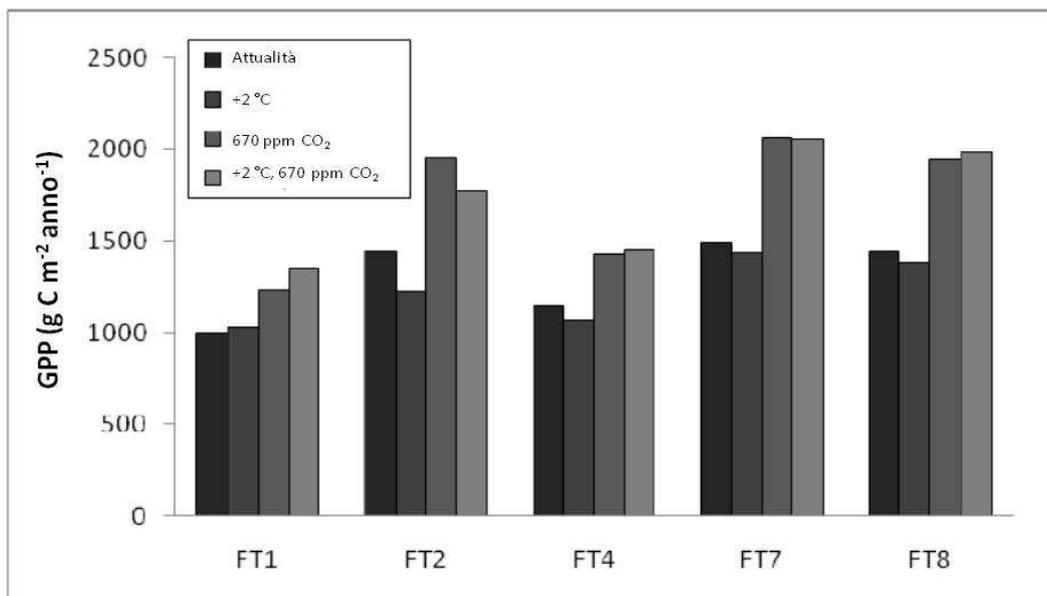
<sup>176</sup> La produttività forestale può essere intesa in termini di Produttività Primaria Lorda (*Gross Primary Production* – GPP) che rappresenta il quantitativo di CO<sub>2</sub> fissata dalle piante durante la fotosintesi. La Produttività Primaria Netta (*Net Primary Production* – NPP) è rappresentata dalla GPP al netto della CO<sub>2</sub> emessa in seguito alla respirazione autotrofa. La Produttività Ecosistemica Netta (*Net Ecosystem Production* – NEP) è data invece dalla NPP al netto di tutte le perdite per respirazione eterotrofa dell'ecosistema (decomposizione legno morto, lettiera, respirazione del suolo..etc) e rappresenta dunque la reale capacità di un ecosistema di assorbire il carbonio.

È stato dimostrato che l'aumento delle temperature influenza sensibilmente la produttività e la conseguente capacità di assorbimento di carbonio. Tenzialmente negli ecosistemi mediterranei, l'aumento delle temperature medie comporta una forte riduzione dell'assorbimento netto di carbonio. Vi sono esempi nelle pinete della Calabria (Sila Greca), dove, a causa dell'ondata di calore dell'estate del 2007, si sono registrati valori di assorbimento di carbonio del 20-30% rispetto al 2005 e al 2003-2004 (Scarascia Mugnozza & Matteucci, 2010), e nelle faggete abruzzesi (Collelongo) nel 1993 (Valentini et al., 1996), nel 2000 (Scarascia Mugnozza et al., 2003) e 2007 (Scarascia Mugnozza & Matteucci, 2010).

Nelle faggete delle zone montane italiane si registra, invece, un aumento della produttività forestale in conseguenza all'aumento delle temperature (Rodolfi et al., 2007). Tuttavia la variazione di produttività delle foreste può dipendere da molteplici fattori (Boisvenue & Running, 2006) ed è stata attribuita per il 50% ad effetti diretti della gestione forestale, per il 33% agli effetti "indiretti" causati dall'uomo (aumento CO<sub>2</sub> e temperatura, deposizioni azotate) e per l'8-17% ad effetti storici legati alla dinamica delle classi di età degli alberi (Vetter et al., 2005).

L'impatto dei cambiamenti climatici futuri sulla produttività forestale è stato analizzato da Maselli et al., (2009). Le risposte attese in termini di produttività primaria lorda (GPP) sono state simulate in funzione di uno scenario dei cambiamenti climatici che prevede un aumento della temperatura media annua di circa 2 °C e della concentrazione di CO<sub>2</sub> pari a 670 ppm. (Figura 2.11). Gli effetti teorici dell'aumento delle temperature, prescindendo cioè da meccanismi di adattamento e migrazione, sono generalmente negativi tranne che per le foreste della fascia subalpina dominate da abete bianco/abete rosso (FT 1). La produttività di questa tipologia forestale aumenta di circa il 3%, mentre quella degli altri tipi di foreste mostra una riduzione variabile da -4% (FT8, querceti decidui) a -15% (FT2, castagno). L'ultimo scenario simulato, che considera l'effetto combinato dei due fattori (aumento delle temperature e della concentrazione di CO<sub>2</sub>), indica aumenti rilevanti della GPP in tutte le tipologie forestali. Gli aumenti più elevati, variabili dal +35% a +38%, sono attesi nelle foreste dominate da abete bianco/abete rosso (FT 1), nei querceti decidui (FT 8) e nelle leccete (FT 7). Nelle faggete (FT 4) e nei castagneti (FT2) l'aumento atteso si attesta intorno al 25%.

Non sono tuttavia da trascurare effetti indiretti negativi dovuti all'aumento delle temperature e alla variazione del regime pluviometrico, come ad esempio probabili deperimenti delle foreste dominate da abete rosso e dei querceti decidui a causa dell'aumento della pullulazione di insetti fitofagi (Battisti et al., 2009).



**Figura 2.11:** Produttività primaria lorda (GPP) nei tipi forestali più diffusi in Italia (FT1 abete bianco e/o abete rosso, FT2 castagneti, FT4 faggete, FT7 leccete, FT8 querceti decidui): confronto tra valori attuali e valori simulati per il futuro in funzione di scenari attesi dei cambiamenti climatici (Fonte: Maselli et al., 2009).

Come è noto gli ecosistemi forestali svolgono un importante ruolo nella mitigazione dei cambiamenti climatici grazie alla loro capacità di sequestro di carbonio. La capacità delle foreste di assorbire più o meno carbonio dall'atmosfera dipende dall'aumento/riduzione della superficie forestale e dall'aumento/riduzione della produttività dell'ecosistema (NEP) o da una combinazione di entrambi i meccanismi. Proiezioni future (Santini et al., 2014) indicano una situazione critica generale in termini di disponibilità idrica per la vegetazione mediterranea, aggravata anche dall'aumento della frequenza di fenomeni legati a eventi estremi, quali ad esempio gli incendi boschivi, favoriti in futuro da episodi di siccità ricorrenti (Santini et al., 2014). Tuttavia, nonostante le condizioni climatiche future sembrano meno favorevoli per la vegetazione mediterranea, la produttività primaria netta è destinata ad aumentare per effetto della potenziale fertilizzazione dovuta all'aumento della CO<sub>2</sub> in atmosfera (Santini et al., 2014). La combinazione di aumento della NPP e delle perdite di carbonio a causa dell'aumento della frequenza degli incendi boschivi o di attacchi parassitari o in seguito alla variazione dei fenomeni di decomposizione del legno morto e di respirazione del suolo, può influenzare lo scambio netto degli ecosistemi forestali italiani e quindi la loro capacità di mitigazione dei cambiamenti climatici e di sequestro di carbonio (Santini et al., 2014).

## ***Impatti sul ruolo delle foreste nella mitigazione del rischio idrogeologico***

La vegetazione forestale e le sue dinamiche si inseriscono in un delicato equilibrio, la cui alterazione si manifesta non solo sulla componente vegetale stessa, ma anche sulle componenti del ciclo idrologico e sul regime climatico.

La presenza di un suolo vegetato influenza il ciclo idrologico, il bilancio idrologico del suolo e la formazione dei deflussi che ne deriva, mediante i processi di intercettazione della precipitazione, evapotraspirazione e infiltrazione. Inoltre, la presenza di vegetazione influenza la scabrezza del suolo e di conseguenza la propagazione dei deflussi.

I movimenti superficiali di massa innescati da forzante idrica sono influenzati dalla presenza di vegetazione sia direttamente che indirettamente attraverso gli elementi di feedback e cross cutting di essa con le componenti del ciclo idrologico. Le foreste esplicano un'azione diretta di tipo protettivo del suolo nei confronti degli agenti erosivi (idrici ed eolici) diminuendo sia la quantità che l'erosività della precipitazione al suolo. Tramite l'apparato radicale, inoltre, stabilizzano il suolo contrastando i fenomeni di instabilità. Indirettamente i movimenti di massa vengono influenzati dalla vegetazione a causa dell'influenza delle dinamiche evapotraspirative ed intercettative sul contenuto idrico del suolo, quest'ultimo uno dei fattori principali di innesco dei movimenti superficiali di massa.

L'impatto dei cambiamenti climatici sull'effetto di mitigazione delle foreste sul dissesto idrogeologico si esplica attraverso il così detto "fenomeno a cascata" (Dale et al., 2001) secondo il quale tutti gli effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione sono interrelati fra loro.

Le siccità indeboliscono la vegetazione rendendola vulnerabile alle infestazioni di insetti, patologie, incendi (Adams et al., 2009). Le infestazioni di insetti e le patologie della vegetazione a loro volta promuovono gli incendi futuri aumentando il carico di combustibile, e gli incendi a loro volta promuovono le infestazioni future compromettendo le difese delle piante a tali disturbi (Allen, 2007). Una vegetazione indebolita e/o defogliata non è in grado di esplicare il suo ruolo di mitigazione del dissesto idrogeologico, sia esso di tipo diretto e/o indiretto. Inoltre, a seguito dell'incendio vengono alterate le proprietà chimico-fisiche del suolo rendendo quest'ultimo più suscettibile al dissesto idrogeologico (piene e movimenti superficiali di massa). L'effetto dei cambiamenti climatici sul bilancio idrico del suolo e i feedback di quest'ultimo con la vegetazione possono indurre una redistribuzione della vegetazione (Foley et al., 1998) con la conseguente alterazione degli effetti di mitigazione del rischio idrogeologico della stessa. Gli effetti del cambiamento della composizione chimica dell'atmosfera sulla vegetazione e sui processi ecoidrologici, influenzando la struttura della vegetazione e il bilancio idrico del suolo, possono interagire con i disturbi naturali (Dale et al., 2001) ed alterare la funzione mitigatrice del rischio idrogeologico della foresta.

## ***Impatti sullo stato di salute delle foreste: alterazione dell'equilibrio con gli agenti patogeni***

Lo stato di salute delle foreste, a livello mondiale, sta destando preoccupazioni crescenti poiché negli ultimi decenni sempre più frequentemente vengono registrati fenomeni di mortalità diffusa o die-off a carico degli ecosistemi forestali in seguito a condizioni ricorrenti di siccità e di “ondate di calore”, indicando così che gli effetti dei cambiamenti climatici possono già essere in atto (Martinez-Vilalta et al., 2011). Situazioni di deperimento (forest decline) e mortalità sono particolarmente evidenti, soprattutto in annate caratterizzate da eventi climatici eccezionali (ad es. 2003, 2007 e 2012), nella regione Mediterranea, e nel nostro Paese in particolare; le cause, probabilmente complesse e ancora poco comprese, coinvolgono sia processi di tipo fisiologico come la vulnerabilità del sistema idraulico e il metabolismo del carbonio, sia condizioni ambientali particolarmente predisponenti, legate alle caratteristiche pedologiche e del territorio. La respirazione degli ecosistemi, soprattutto della componente arborea, è direttamente dipendente dalla temperatura e un aumento di questo parametro determina un aumento esponenziale della respirazione dei tessuti viventi degli alberi. Questo può provocare un rapido esaurimento delle riserve di carboidrati, generalmente utilizzati dagli alberi mediterranei per superare i periodi di siccità estiva, causando così gli episodi di deperimento osservati di recente in corrispondenza di annate consecutive di siccità e clima caldo. A loro volta, le condizioni di deperimento e di indebolimento degli alberi e delle popolazioni forestali, insieme alle sempre più frequenti anomalie climatiche, possono interagire con le popolazioni di parassiti, animali e funghi, innescando anche attacchi ed epidemie particolarmente distruttive di grande ampiezza territoriale e intensità (Battisti, 2008; Sturrock et al., 2011).

Un'importante serie di dati sullo stato di salute delle foreste italiane è raccolta da quasi 20 anni dal Corpo Forestale dello Stato, nell'ambito del programma di monitoraggio permanente degli ecosistemi forestali della rete di I livello ICP-Forests<sup>177</sup>. Le misure di trasparenza, o defogliazione, delle chiome sono un indicatore attendibile dello stato sanitario degli alberi; il loro valore ha oscillato tra 20% e 35% per le diverse specie di latifoglie e tra il 15% e 30% per le conifere. Picchi in trasparenza si sono verificati in annate anomale come nel 2003 e 2007, con effetti di trascinarsi a volte negli anni seguenti. Alcune specie hanno mostrato buone capacità di recupero (faggi, querce, carpini), mentre altre presentano un andamento corrispondente ad un continuo aumento della defogliazione e della trasparenza delle chiome. In particolare, il castagno ha raggiunto quasi il 40% di trasparenza. I boschi di castagno si trovano in collina e bassa montagna, con limitata capacità di adattarsi al riscaldamento e maggiore siccità anche perché, storicamente, per motivi economici, sono stati piantati in condizioni non ottimali (Matteucci et al., 2011). Anche le osservazioni da telerilevamento possono essere utilmente impiegate per individuare fenomeni di deperimento forestale come indicato da prove condotte in aree protette dell'Italia centro-settentrionale dove

---

<sup>177</sup> <http://www.icp-forest.or>

riduzioni dell'indice di vegetazione (NDVI) in foreste di pino e querce erano correlate con la diminuzione di piogge invernali (Maselli, 2004).

Gli attacchi di parassiti sugli alberi forestali sono anch'essi fortemente e spesso direttamente influenzati dalle condizioni meteorologiche, soprattutto da temperatura e umidità. Per gli insetti, i funghi patogeni, batteri, virus e altri microrganismi, le condizioni di temperatura e umidità interagiscono con la fenologia stagionale e le condizioni di stress dell'organismo ospite determinando gravità e diffusione dell'infezione o dell'attacco. Peraltro, l'impatto sugli ecosistemi forestali può riguardare anche le situazioni successive alla morte delle piante poiché il tasso di decomposizione del legno morto, determinato dai funghi saprofiti, può anch'esso cambiare in rapporto al clima, modificando così l'andamento del ciclo del carbonio nell'ecosistema forestale.

Le previsioni climatiche di IPCC mostrano che c'è ampio consenso nella comunità scientifica internazionale sull'aumento futuro della temperatura in gran parte del mondo e, in particolare, nella regione Mediterranea; più incerto è invece l'andamento futuro delle precipitazioni. In rapporto a questi parametri, possiamo distinguere due tipologie differenti di attacchi di patogeni forestali: malattie che sono favorite da condizioni climatiche più calde e siccitose e malattie favorite da condizioni più calde e più umide.

Nella prima tipologia rientrano le infezioni di *Biscogniauxia mediterranea* sui querceti decidui e sempreverdi e sulle faggete in varie regioni d'Italia, soprattutto del centro-sud; questo patogeno di debolezza ha intensificato gli attacchi dopo l'estate del 2003 e si prevede che si possa estendere in futuro verso le regioni settentrionali (Vannini et al., 2009). L'attività di ricerca in campo ed in laboratorio ha mostrato come lo stress idrico sia il fattore scatenante il processo di colonizzazione del sistema vascolare da parte del fungo. Il fungo cresce in vasi embolizzati dallo stress idrico (in condizioni aerobiche) e da qui si trasferisce rapidamente lungo il fusto fino agli apici vegetativi. Per la mitigazione di questi deperimenti si può ricorrere a interventi selvicolturali, in particolare diradamenti, che potrebbero aumentare l'efficienza di uso idrico delle singole piante del soprassuolo e prevenire stati di stress che altrimenti porterebbero all'innescò della patologia. Un altro esempio di malattia favorite da condizioni climatiche più calde e secche è rappresentato dal marciume radicale da *Armillaria spp.*, presente soprattutto nei boschi di conifere e meno frequentemente in quelli di latifoglie.

Le infezioni di *Phytophthora spp.*, parassiti in rapida espansione in Europa a carico di un gran numero di specie forestali di latifoglie, tra cui castagni e querce, e anche di conifere, prediligono soprattutto condizioni di temperature più elevate e di maggiore umidità e forti precipitazioni, e possono trovare condizioni favorevoli in climi più oceanici.

Le modificazioni climatiche hanno un impatto crescente anche sui cicli vitali e sulle infestazioni degli insetti forestali (Battisti, 2008). E' possibile prevedere che soprattutto l'aumento di temperatura abbia un effetto positivo sulla capacità di infestazione e sull'espansione territoriale soprattutto di quegli insetti caratterizzati da un forte ritmo di accrescimento e da multivoltinismo. D'altra parte anche gli insetti che presentano un periodo variabile, ma anche molto lungo di diapausa, ovvero di quiescenza nel loro ciclo vitale per riuscire a superare condizioni ambientali

difficili soprattutto invernali, potrebbero beneficiare dell'aumento di temperatura legato ai cambiamenti climatici, mentre gli alberi ospiti potrebbero essere indeboliti da concomitanti condizioni di siccità e di stress idrico. Situazioni di questo tipo hanno portato alla massiccia epidemia dell'imenottero defogliatore dell'abete rosso, *Cephalcia arvensis*, che ha devastato le peccete del Cansiglio e in generale delle Prealpi venete, intorno agli anni '90 e a pullulazioni di *Ips typographus* sull'abete rosso nelle Alpi ed in Europa centrale. Un'altra specie sulla quale testare gli effetti dei cambiamenti climatici è la processionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*, il cui areale piuttosto meridionale è limitato soprattutto dalle basse temperature invernali. Il riscaldamento climatico potrebbe però portare, e se ne hanno già i primi sintomi, ad una forte espansione dell'areale della specie in senso latitudinale e altitudinale, così come ad un aumento del numero delle specie forestali attaccate.

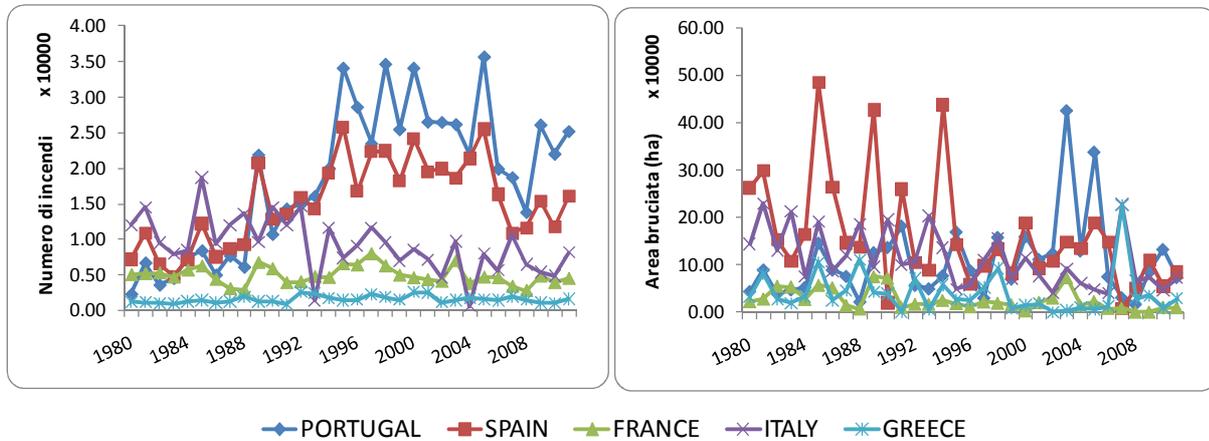
Quali iniziative intraprendere per affrontare l'aumento di vulnerabilità degli ecosistemi forestali nei confronti dei cambiamenti climatici e della modificazione degli equilibri con le popolazioni di parassiti? Si consigliano quattro categorie di azioni: monitoraggio, previsione, pianificazione e utilizzo di strategie di mitigazione. Il monitoraggio va affrontato in modo sistematico, su scala europea e secondo avanzati protocolli sperimentali per seguire con attenzione la dinamica delle popolazioni di parassiti già presenti sul nostro territorio così come la sempre più frequente invasione di nuove specie esotiche di parassiti. L'azione di previsione va sicuramente potenziata, soprattutto nel nostro Paese, avvalendosi delle più moderne metodologie scientifiche, soprattutto di quelle che fanno uso di modelli previsionali, e della sperimentazione che simuli condizioni ambientali che si potranno sviluppare negli anni futuri. E' però anche necessario avviare azioni di contenimento e prevenzione sull'espansione di popolazioni di parassiti autoctoni e esotici così come vanno avviate azioni di mitigazione e di adattamento che possono comprendere gli interventi selvicolturali per diminuire la suscettibilità delle comunità forestali allo studio della variabilità genetica degli alberi forestali per aumentare la loro resistenza alle mutevoli condizioni climatiche nonché alle popolazioni di parassiti.

### ***Regime degli incendi boschivi in condizioni di cambiamenti climatici***

Gli incendi costituiscono un fattore ecologico importante nel selezionare le comunità vegetali in molte aree del mondo (Bond et al., 2005), in particolare nel bacino del Mediterraneo (MB), caratterizzato dalla presenza di numerose specie che manifestano meccanismi adattativi di resistenza e rigenerazione dopo incendi ricorrenti (Pausas et al., 2004a; Pausas & Verdú, 2005). Se il regime degli incendi ha una lunga storia, la vegetazione e il suolo sono tipicamente adattati alle condizioni degli incendi, e gli effetti sono quindi blandi (Power et al., 2010). D'altra parte, se il regime degli incendi cambia rapidamente, gli effetti negativi sono potenzialmente maggiori, e possono indurre bruschi cambiamenti delle comunità vegetazionali (de Luís et al., 2006; Arnan et al., 2007), specialmente se gli incendi diventano più intensi e più frequenti (Moreno & Chuvieco, 2013).

Negli ultimi tre decenni, i paesi più colpiti dagli incendi nell'Unione Europea sono stati Portogallo, Spagna, Italia, Francia e Grecia, per i quali si registra complessivamente una media annua di 50.000

incendi, con una superficie media annua percorsa superiore a 460.000 ha (Commissione Europea, 2011) (Figura 3.11).



**Figura 3.11:** Numero di incendi e area bruciata (ha) nei cinque paesi europei maggiormente colpiti (1980-2010) (Fonte: Commissione Europea, 2011).

I dati statistici hanno però evidenziato un aumento degli eventi catastrofici, sia in termini di danno a beni antropici e naturalistici, sia in termini di perdita di vite umane (Alvarado et al., 1998; De Bono et al., 2004; Viegas et al., 2009; Koutsias et al., 2012), specialmente nelle ultime tre decadi (Pausas and Fernández-Muñoz, 2012; Marques et al., 2011). Ne sono esempio gli eventi avvenuti in Spagna nel 1994 (Moreno et al., 1998), in Portogallo durante le ondate di calore del 2003 (Pereira et al., 2005; Trigo et al., 2006), o in Grecia durante il 2007 (Founda & Giannokopoulos, 2009). Un numero sempre maggiore di studi (ad es. Viedma et al., 2006; Marlon et al., 2008; Carmo et al., 2011; Pezzatti et al., 2011) evidenzia che tali cambiamenti nel regime degli incendi siano da mettere in relazione con le repentine trasformazioni di uso del suolo e dei fattori socio-economici. La marcata industrializzazione che ha caratterizzato il MB negli ultimi decenni ha portato infatti a un forte esodo rurale verso città e zone costiere con conseguente incremento di quella che viene definita interfaccia urbano-rurale (WUI) (Martinez et al., 2009; Castellnou et al., 2010; Romero-Calcerrada et al., 2010). Come diretta conseguenza dell'abbandono delle campagne, l'aumento del combustibile vegetale e i cambiamenti nella struttura e nella continuità delle comunità vegetali hanno contribuito a modificare il paesaggio nonché il regime e il comportamento potenziale degli incendi (Moreira et al., 2011; Pausas, 2004); l'aumento delle WUI, in particolare nelle zone costiere, ha comportato una netta modifica dell'esposizione al rischio di tale aree (Koutsias et al., 2002; Badia-Perpinyà & Pallares-Barbera, 2006; Salis et al., 2013a; Salis et al., 2013b).

Benché l'insorgenza degli incendi boschivi sia strettamente legata a fattori di tipo socio-economico, la pericolosità, la propagazione e l'intensità di un evento dipendono da fattori di tipo topografico, vegetazionale e meteorologico. In particolare, l'importanza delle condizioni meteo-climatiche sul

comportamento del fuoco è ben documentato (ad es. Burgan et al., 1997; Flannigan e Wotton, 2001). La variabilità spazio-temporale del comportamento del fuoco è spesso messa in relazione con le condizioni meteorologiche a breve termine (ad es. velocità e direzione del vento, umidità relativa, temperatura), che rappresentano le componenti ambientali più variabili (Pyne et al., 1996; Arca et al., 2007). D'altro canto, la possibilità di innesco è in generale legata ad una serie di fattori a medio e lungo-termine, quali la siccità, il quantitativo e la distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni, il carico di combustibile e il rapporto fra materiale vivo e morto (Mouillot et al., 2002).

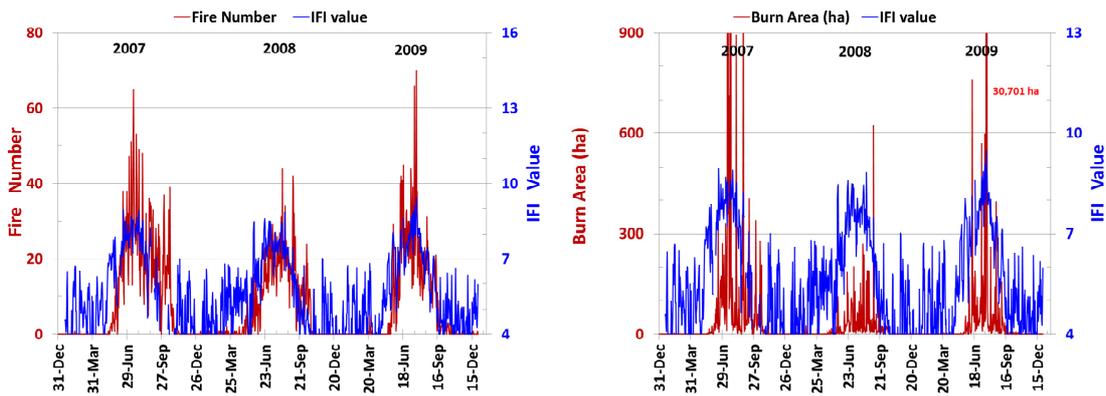
Alla luce delle variazioni climatiche in corso e degli scenari futuri, che prevedono per il MB un aumento degli eventi meteorologici più estremi (estati più calde e più lunghe, frequenti ondate di calore) (Alcamo et al., 2007; Lindner et al., 2010; Scoccimarro et al., 2011), è essenziale la valutazione dell'impatto di tali variazioni in termini di pericolosità, rischio, insorgenza e propagazione (Arca et al., 2012), nonché emissioni di gas serra e inquinanti. Negli ultimi due decenni, un grosso impulso in questo settore è stato possibile grazie allo sviluppo di una serie di strumenti modellistici che, convenientemente accoppiati con modelli di previsioni future derivanti da GCM (Global Circulation Models) e RCM (Regional Circulation Model), possono fornire utili approcci per la valutazione degli effetti dei cambiamenti futuri sugli incendi boschivi.

Punto di partenza imprescindibile per la valutazione degli impatti è comunque dato dallo studio delle relazioni storiche fra clima e incendi, per definire in quale misura i fattori meteorologici e climatici abbiano influenzato il regime degli incendi, al fine di prevederne le possibili evoluzioni nei decenni a venire. Ad oggi pochi studi hanno analizzato queste relazioni negli ecosistemi mediterranei, e, nella maggior parte di essi, la scala principale di analisi è quella locale (Vázquez & Moreno, 1993; Viegas & Viegas, 1994; Pausas, 2004; Pausas e Fernández-Muñoz, 2012). Recentemente, nell'ambito del progetto FUME<sup>178</sup> (Forest fire under climate, social and economic changes), Masala et al., (2012), e Zavala et al., (2012) hanno ricostruito i regimi e i trend storici di incendio in Italia e Spagna, rispettivamente, per le ultime tre decadi.

Gli indici di pericolosità, che definiscono la probabilità che un evento si verifichi e causi conseguenze più o meno importanti (sensu Bachmann e Allgöwer, 2001), sono stati spesso messi in relazione con il regime degli incendi, al fine di sviluppare scenari potenziali di severità. Diversi lavori (ad es. Sirca et al., 2007; Sirca et al., in prep.) hanno infatti evidenziato un aumento dei valori degli indici di pericolosità e una maggior frequenza delle classi estreme di pericolo, caratterizzate da una maggior estensione dell'area bruciata, specialmente in corrispondenza degli anni caratterizzati da eventi estremi (Spano et al., 2012) (Figura 4.11).

---

<sup>178</sup> <http://www.cmcc.it/it/articolo/progetto-fume-quando-la-terra-brucia-2>.



**Figura 4.11:** Valori previsti dell'indice di pericolosità IFI (Integrated Fire Index), numero di incendi e area bruciata durante il periodo 2007-2009 in Sardegna (Fonte: Spano et al., 2012).

Recentemente, Arca et al., (2012) hanno stimato i cambiamenti nelle condizioni meteorologiche considerando lo scenario A1B sviluppato dal Modello Climatico Regionale (RCM) EBU-POM dell'Università di Belgrado in collaborazione con il CMCC. Comparando il periodo 2071-2100 con lo storico 1961-1990, gli autori hanno riscontrato importanti differenze nel verificarsi dei giorni con elevata pericolosità potenziale, specialmente per il periodo estivo (Tabella 5.11). Anche Cane et al., (2012) suggeriscono un aumento della pericolosità potenziale degli incendi boschivi in Piemonte utilizzando un insieme di diversi modelli (multi-model ensemble) relativi a proiezioni climatiche.

Gli scenari RCM sono stati recentemente utilizzati anche per valutare l'effetto dei cambiamenti climatici sullo stato idrico del combustibile (ad es. Pellizzaro et al., 2010), informazione essenziale per la messa a punto di metodologie di stima della pericolosità potenziale e del comportamento degli incendi. I risultati indicano che le proiezioni climatiche future potrebbero determinare dei cambiamenti nelle dinamiche di umidità del combustibile, così come un allungamento della durata della stagione di pericolo.

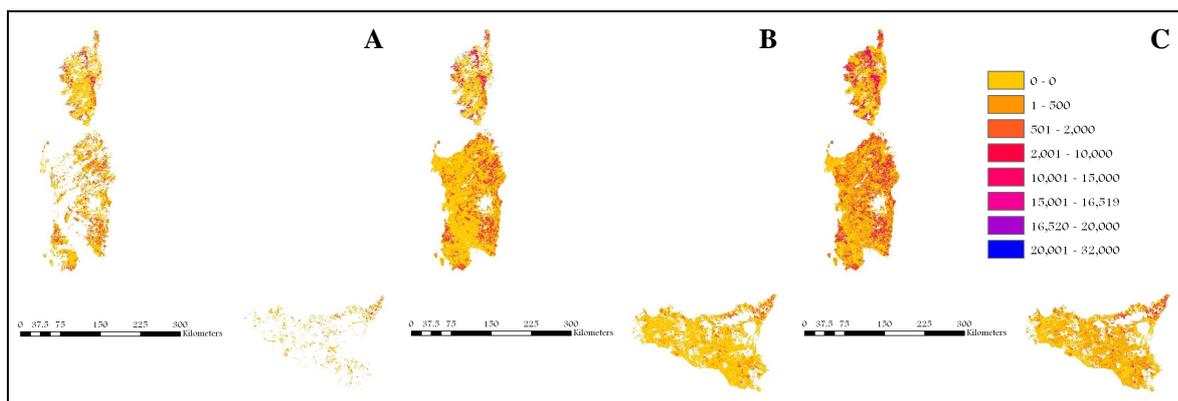
Stagione	Variabile	Differenza
OND	FWI	2.6
	Giornate estreme	1
JFM	FWI	1.4
	Giornate estreme	0
AMJ	FWI	5.4
	Giornate estreme	38
JAS	FWI	5.2
	Giornate estreme	135

**Tabella 5.11:** Differenza media annuale dell'indice FWI<sup>179</sup> e del numero di giornate estreme calcolata fra 1961-1990 e 2071-20100. OND= ottobre, novembre, dicembre; JFM= gennaio, febbraio, marzo; AMJ= aprile, maggio, giugno; JAS= luglio, agosto, settembre (Fonte: Modificato da Arca et al., 2012).

L'utilizzo dei simulatori della propagazione degli incendi, adeguatamente calibrati per le differenti tipologie vegetazionali (Arca et al., 2007), consente di studiare l'impatto dei differenti scenari climatici sul comportamento degli incendi boschivi a differenti scale temporali e spaziali (Farris et al., 2000; Finney, 2005; Salis et al., 2009; 2013a, 2013b). Arca et al., (2009) hanno valutato le potenzialità applicative dei simulatori degli incendi nella produzione di mappe di probabilità di propagazione e severità di incendio, specialmente in aree caratterizzate da macchia mediterranea, evidenziando come i regimi di incendio prevedibili nel futuro potranno essere caratterizzati da elevati valori di propagazione e intensità del fronte di fiamma. Salis et al., (2010) hanno applicato l'algoritmo di propagazione del fuoco "minimum travel time (MTT)" (Finney, 2002), per valutare il comportamento potenziale degli incendi sulle principali isole mediterranee, considerando diversi scenari di condizioni ambientali (Figura 5.11).

---

<sup>179</sup> FWI=Forest Fire Weather Index.



**Figura 5.11:** Mappe di intensità del fronte di fiamma ( $\text{kW m}^{-1}$ ), considerando diversi percentili delle condizioni meteorologiche storiche: (A) 50° percentile, (B) 75° percentile, (C) 90° percentile (Fonte: Modificato da Salis et al., 2010).

Gli incendi, inoltre, rappresentano una notevole fonte di CO<sub>2</sub> e GHG (gas ad effetto serra) (Bacciu et al., 2012; Hodnebrog et al., 2012; Martins et al., 2012). A scala globale, gli incendi contribuiscono per un quinto alle emissioni di CO<sub>2</sub> (Sandberg et al., 2002). Anche se gli incendi negli ecosistemi temperati concorrono meno rispetto agli incendi nelle foreste tropicali o nelle praterie, Miranda et al., (1994) riportano che il loro contributo al totale delle CO<sub>2</sub> equivalenti prodotte durante gli incendi può raggiungere fino al 7% quando la superficie bruciata supera i 100,000 ettari. L'Inventario Italiano delle emissioni (IT NIR, 2011) stima una media di circa 6 Mt di CO<sub>2</sub> all'anno per il periodo 1990-2009, mentre Bacciu et al., (2012) una media di circa 0,2 Mt di CO<sub>2</sub> all'anno per il periodo 2005-2009 per la sola Sardegna. San-Miguel Ayanz et al., (2012) stima che durante gli eventi catastrofici del 2007 in Grecia le emissioni da incendi boschivi avrebbero contribuito al 4% della media annuale delle emissioni di CO<sub>2</sub> dell'intero paese. Tali emissioni influenzano così non solo la qualità dell'aria e la salute umana a scala locale (Hodzic et al., 2007; Liu et al., 2009; Miranda et al., 2009), ma concorrono anche al budget atmosferico e il ciclo del carbonio a scala regionale e globale (Amiro et al., 2001).

L'approccio modellistico, anche in questo caso, può fornire un importante apporto nella quantificazione delle emissioni e nell'identificazione delle fonti maggiori di emissioni fra le diverse tipologie vegetazionali (Bacciu et al., 2012). Sono però ancora scarse le informazioni che riguardano il possibile impatto dei cambiamenti climatici sulle emissioni da incendi boschivi in area mediterranea, soprattutto a causa all'elevata l'incertezza nella stima relativamente alla determinazione della biomassa bruciata (Bacciu et al., 2012) e ai fattori di emissione utilizzati (Chiriaco et al., 2013). Uno degli studi più recenti, svolto in Portogallo da Carvalho et al., (2011), utilizza il modello di qualità dell'aria MM5/CHIMERE insieme con lo scenario IPCC SRES A2. I risultati modellistici suggeriscono che la future attività degli incendi boschivi incrementerà le concentrazioni di O<sub>3</sub>, così come quelle di PM<sub>10</sub>.

## **Impatti sulle filiere socio-economiche**

### *L'industria nazionale del legno*

Il legname industriale italiano è prelevato principalmente (66% del totale – dati ISTAT) da tre regioni, Lombardia (34%), Trentino-Alto Adige e Calabria, ed è costituito in massima parte da legname grezzo per trancia, sega, sfogliatura (compensati) e travature.

Escludendo Lussemburgo e Malta, l'Italia risulta il paese dell'UE a 25 con il più basso grado di auto-sufficienza nell'approvvigionamento di materia prima legnosa. Le importazioni di materia prima per usi industriali negli ultimi 5 anni sono pari a circa 12 milioni di m<sup>3</sup> annui, contro una produzione interna di poco più di 2 milioni di m<sup>3</sup> di legname.

Nell'ultimo decennio, per conservare una posizione di leadership nel mercato rispetto a Paesi con forti vantaggi competitivi in termini di costo di manodopera e di approvvigionamento della materia prima legnosa, in Italia si è privilegiato dapprima il decentramento delle attività produttive a livello locale e, in seguito, internazionale (delocalizzazione all'estero). Ciò è stato reso possibile dalla flessibilità tecnologica dei processi di lavorazione del legno e dall'introduzione di innovazioni di prodotto. Un'ulteriore conseguenza di tali processi è rappresentata dallo sviluppo di imprese specializzate nella subfornitura, piuttosto che dall'accorpamento di cicli produttivi in grandi strutture aziendali (Bernetti e Romano, 2007).

Queste condizioni di mercato fanno sì che gli impatti dei cambiamenti climatici sul settore industriale collegato alla lavorazione del legno siano nel breve-medio periodo dipendenti più dalla vulnerabilità dell'offerta internazionale di materie prime che di quella interna. In effetti tale vulnerabilità è collegata a fattori climatici che interagiscono con le politiche di sviluppo dei paesi fornitori di materie prime, e quindi con i processi di espansione dell'offerta mediate soprattutto grandi investimenti in piantagioni export-oriented (si pensi al Brasile, all'Argentina, al Cile, alla Nuova Zelanda, all'Australia, al Sud-Africa, ecc.) e, all'opposto, con i processi di deforestazione e degrado delle foreste che caratterizzano molti paesi centro-africani, tradizionali fornitori di legname tropicale alle imprese italiane, e del sud-est asiatico. La FAO prevede che in un arco di 30 anni, fino al 60% dell'offerta mondiale di legname possa provenire da piantagioni industriali (Figura 6.11).

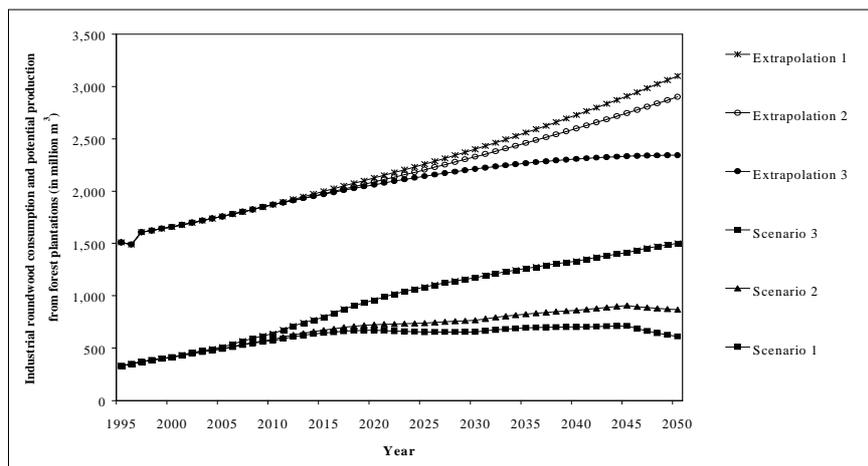


Figura 6.11: Evoluzione della produzione e consumo di legname ad uso industriale a livello mondiale e quota-parte coperta dalle piantagioni (Fonte:FAO-FRA, 2010<sup>180</sup>)

Un processo di cambiamento della funzione prioritaria delle piantagioni nell'offerta di legname rispetto ai boschi-seminaturali si è peraltro verificato, sulla scala molto limitata dell'offerta interna di legname, anche nel contesto italiano, addirittura in proporzione maggiore che a livello internazionale: più del 50% del legname ad uso industriale prelevato in Italia proviene da 60-90.000 ha di pioppo, ovvero da circa l'1% delle superfici forestali nazionali. Sulla vulnerabilità della pioppicoltura ai cambiamenti climatici si potrebbe quindi concentrare l'attenzione per gli impatti che tale settore ha sull'offerta di legname.

La disponibilità di diversi cloni, la possibilità di fare ricorso all'irrigazione e ai trattamenti fitosanitari per la stabilizzazione delle produzioni in condizioni climatiche mutate fanno sì che altri tradizionali fattori di vulnerabilità siano di maggiore rilevanza, quali il calo della domanda di legname di pioppo dell'industria italiana, l'offerta a prezzi competitivi di pioppo di origine estera, la dipendenza dalle politiche agricole comunitarie e dai suoi effetti sui prezzi di coltivazioni alternative al pioppo.

Questo quadro apparentemente tranquillizzante per ciò che concerne la vulnerabilità del sistema industriale nazionale agli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse forestali interne si basa su un consolidato grave ritardo nel processo di attivazione dell'offerta interna di legname ad uso industriale e comunque non deve portare a dimenticare che la mancata reciproca integrazione tra i due settori è associata a fenomeni di abbandono gestionale che rendono le risorse forestali più vulnerabili ed esposte a processi di degrado.

<sup>180</sup> <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/>.

## Scenari di impatto sulla disponibilità di bioenergia

Per l'offerta di biomasse a fini energetici valgono considerazioni analoghe a quelle presentate nelle pagine precedenti relative al legname ad uso industriale, anche se il quadro di incertezza è accresciuto dalla pessima qualità dei dati disponibili sull'offerta interna di biomasse legnose.

L'Italia è il primo importatore mondiale di legna da ardere ed il quarto di cippato e scarti in legno. Nel 2009 sono stati importati 0,5 milioni di tonnellate di legna da ardere e carbone di legna (+22,0% rispetto all'anno precedente) e 0,7 milioni di tonnellate di cippato e scarti in legno (FAO-FRA, 2010<sup>181</sup>). A questa consolidata dipendenza dall'estero per i segmenti della legna da ardere, dei residui legnosi e del cippato, si è andata associando anche una dipendenza nel settore del pellet di legno, un prodotto in fase di grande espansione nei consumi e nel commercio internazionale. L'Italia in pochi anni è passata da una posizione di consumatore marginale alla terza posizione in Europa, con oltre 1,2 milioni di tonnellate consumate annualmente, di cui circa il 60% prodotte internamente.

Questa accresciuta dipendenza dall'estero in un segmento commerciale caratterizzato da valori unitari del materiale legnoso molto bassi può essere compresa anche alla luce di una maggiore frequenza di grandi eventi distruttivi, di natura biotica e abiotica che si sono verificati negli ultimi decenni con una maggiore frequenza in diversi paesi centro e nord europei e, per ora, in forma molto più limitata in Italia (Figura 7.11).

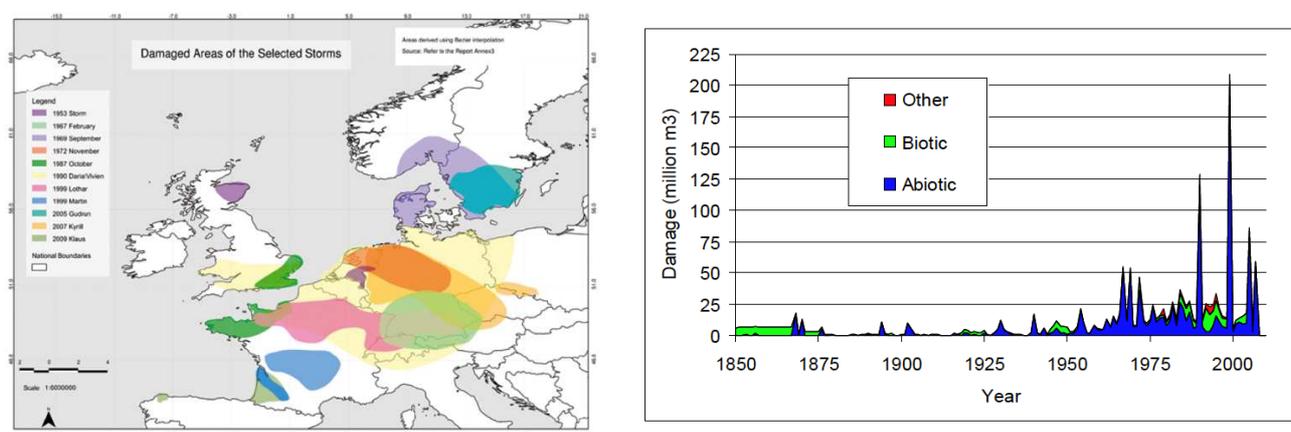


Figura 7.11: Localizzazione di vasti eventi biotici e abiotici di danneggiamento delle foreste europee e relativi effetti in termini di biomassa danneggiata (Fonte: Schelhaas, 2008).

<sup>181</sup> <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/>.

In questo contesto la vulnerabilità del settore è in misura significativa collegata ai problemi dell'offerta internazionale di biomasse. Non va tuttavia trascurato che, al di là del fatto che l'ISTAT registri livelli di offerta interna negli ultimi 5 anni di 3-5 milioni di m<sup>3</sup>/anno, il consumo domestico annuo di legna da ardere stimato su base campionaria è di circa 20 milioni di tonnellate/anno, con un controvalore di circa 2,1 miliardi di Euro.

Esiste, quindi, un'area significativa di prelievo di legna dai boschi nazionali di carattere informale, di piccola scala, spesso collegata ad autoconsumo o filiere del tutto locali. La presenza di questa area di consumo che ha impatti ambientali spesso positivi (oltre agli effetti di sostituzione di combustibili fossili, vengono fatti interventi su piccola scala di gestione e pulizia dei boschi, che in genere riducono i rischi di degrado forestale) potrebbe essere fortemente influenzata dall'accresciuta vulnerabilità delle risorse ai cambiamenti climatici. Spetta alle politiche energetiche e territoriali far leva su questa domanda diffusa, controllandola, rafforzandola e indirizzandola verso interventi che coniughino la produzione di biomassa ad uso energetico con la manutenzione di ecosistemi divenuti più esposti ai processi di degrado.

La filiera delle biomasse a finalità energetica è caratterizzata da ampi margini di sviluppo, in quanto il ricorso a risorse energetiche alternative a quelle fossili risulta essere sempre più occasione di investimenti per lo sviluppo territoriale, industriale e occupazionale e di integrazione del reddito per le imprese agro-forestali. Lo sviluppo della filiera, se correttamente pianificata sul territorio, potrebbe portare non solo a indubbi benefici ambientali ma anche ad una valorizzazione nella gestione del patrimonio forestale nazionale, con possibili ricadute anche sulla qualità degli assortimenti legnosi per le altre filiere produttive legate all'utilizzo della materia prima legno.

## **Azioni di adattamento intraprese**

Il ruolo e la vulnerabilità degli ecosistemi forestali nei confronti del "global change" sono diventati temi di interesse prioritario per tutte le decisioni che vengono intraprese in ambito strategico e politico a livello internazionale e locale per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. È ormai ampiamente riconosciuto il contributo delle foreste alla mitigazione, ma allo stesso tempo le formazioni boschive sono vulnerabili ai cambiamenti climatici, risentendo degli impatti e rispondendo a questi con una certa capacità di adattamento. Il primo effetto tangibile (misurabile in termini di danno ambientale, economico e sociale) si rispecchia in una minore efficienza funzionale degli ecosistemi forestali.

L'attuazione di adeguate misure volte ad aumentare la capacità di adattamento degli ecosistemi forestali agli impatti dei cambiamenti climatici è di fondamentale importanza ai fini del mantenimento dell'efficienza funzionale e del ruolo che le foreste e la selvicoltura svolgono per la società e le economie locali. Infatti, per poter esprimere al meglio le proprie funzioni e servizi, le foreste devono trovarsi in una condizione di buona salute ovvero, in termini ecologici, in una condizione di elevata efficienza funzionale o capacità bioecologica. Ciò può avvenire attraverso un'attenta gestione e mirata utilizzazione con cui non solo possono essere indirizzate e contenute

le dinamiche in atto ma anche essere salvaguardati ecosistemi naturali a rischio di mutamento ed economie, società e popolazioni potenzialmente a rischio.

### *Azioni di adattamento nelle attuali politiche*

Con riferimento ai boschi italiani gli interventi di adattamento attualmente in essere, affinché possa essere mantenuta costante la capacità degli ecosistemi di fornire tutta una serie di funzioni, compresa la capacità di “sequestro” di carbonio atmosferico, devono prevedere un tasso di utilizzazione legnosa che non superi, nel medio periodo, il saggio naturale di incremento naturale della massa legnosa e realizzare, quindi, pratiche di gestione e utilizzazione nel rispetto dei principi di GFS (MCPFE – Forest Europe). In questo contesto, la gestione attiva e multifunzionale della foresta indicata dal PQSF rappresenta lo strumento idoneo per valorizzare la dinamicità dei boschi e la loro capacità di rispondere in tempi medio lunghi alle problematiche emergenti e alle conseguenze negative prevedibili dei cambiamenti del clima futuro.

Attualmente le azioni di adattamento messe in atto nel nostro Paese sono principalmente volte a mantenere il dinamismo funzionale e la resilienza degli ecosistemi forestali. In particolare esse mirano a:

- mantenere e incrementare la gestione attiva migliorando il loro ruolo ambientale, produttivo e lo stato di salute delle risorse forestali esistenti nel medio lungo periodo;
- incentivare forme di utilizzazione forestale che riducano al massimo i processi di degradazione del suolo;
- favorire la conversione di impianti monospecifici alloctoni con specie autoctone in sistemi tipici delle forme di vegetazione locale;
- favorire i dinamismi ed evoluzione dei meccanismi di resilienza dei boschi nei confronti delle modificazioni climatiche in atto;
- incrementare la diversità biologica forestale e degli ecotoni agrosilvopastorali tutelando i patrimoni genetici locali;
- prevenire e ridurre i danni alle foreste e alla rinnovazione naturale da eccessivo carico antropico e animale, eventi climatici estremi e dagli incendi;
- incentivare la realizzazione di opere di imboscamento e rimboscamento in aree degradate e abbandonate, utilizzando specie autoctone di provenienza certificata e locale.
- incentivare l'uso delle biomasse legnose per la produzione di energia rinnovabile;

La politica di Sviluppo Rurale rappresenta in Italia il principale strumento operativo per il finanziamento di azioni per il settore forestale di adattamento ai cambiamenti climatici. In

particolare, gli interventi proposti dal Reg. (CE) n.1698/2005 e cofinanziati dal Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR)<sup>182</sup>, sono riconducibili alle misure dei primi due Assi (competitività e ambiente) attuate dai Programmi di sviluppo rurale regionali (PSR) per il periodo di programmazione 2007-2013. Gli interventi che i proprietari e gestori agricoli e forestali, pubblici e privati e loro associazioni, possono realizzare sono volti a incentivare la gestione pianificata e sostenibile e l'uso multiplo delle risorse forestali al fine di migliorare in primo luogo le capacità ambientali e produttive dei sistemi forestali e di conseguenza la resilienza dei territori e degli ecosistemi ai relativi impatti provocati dai cambiamenti climatici. Solo con la recente riforma dell'Health Check (2009)<sup>183</sup>, nel quale viene dato maggiore coerenza e un più chiaro indirizzo alle politiche dello sviluppo rurale, sono state indicate tra le nuove sfide la lotta ai cambiamenti climatici e lo sviluppo di energie rinnovabili, e a esse destinate risorse aggiuntive.

Misure a favore delle foreste Reg. 1698/2005		Contenuto delle misure
Asse I Competitività	122 - <i>Miglioramento del valore economico delle foreste</i>	Per proprietà forestali private e pubbliche o di loro associazioni è un sostegno agli investimenti aziendali, che si basano su Piani di gestione
	221 - <i>Imboschimento delle superfici agricole</i>	Viene previsto, ai proprietari o affittuari privati, un sostegno per l'impianto, a copertura dei costi di manutenzione (premio annuo/ettaro per 5 anni) e per la perdita di reddito (premio annuo/ettaro per 15 anni). Per proprietari pubblici vengono coperti unicamente i costi di impianto.
Asse II: Gestione del territorio	222 - <i>Primo impianto di sistemi agroforestali su terreni agricoli</i>	Viene concesso un sostegno agli agricoltori per la copertura dei costi di impianto nella creazione di sistemi agroforestali con silvicoltura e agricoltura estensiva.
	223 - <i>Imboschimento di superfici non agricole</i>	Viene previsto un sostegno a copertura dei soli costi di impianto. Per i terreni agricoli incolti (da almeno 2 anni), il premio copre anche i costi di manutenzione (premio annuo/ettaro per 5 anni).
	224 - <i>Indennità natura 2000</i>	È previsto un aiuto ai proprietari privati e loro associazioni per compensare i costi e il mancato guadagno derivanti dai vincoli imposti all'uso del bosco dalle direttive 79/409/CEE e 92/73/CEE nelle zone interessate. La concessione si basa sui Piani di gestione.
	225 - <i>Pagamenti silvo-ambientali</i>	Riguarda il pagamento per ettaro, ai beneficiari che assumono volontariamente impegni silvo-ambientali che vadano oltre i "pertinenti" requisiti obbligatori di gestione forestale, per compensazione i costi aggiuntivi connessi.

<sup>182</sup> [http://europa.eu/legislation\\_summaries/agriculture/general\\_framework/l60032\\_it.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/general_framework/l60032_it.htm).

<sup>183</sup> [http://ec.europa.eu/agriculture/healthcheck/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/healthcheck/index_en.htm).

226 - Ricostruzione del potenziale silvicolo e introduzione di azioni di prevenzione	Si prevede un sostegno alla ricostruzione da disastri naturali e incendi e all'introduzione di azioni di prevenzione per le sole zone ad alto e medio rischio d'incendio definite dai Piani di protezione forestale.
227 - Investimenti non produttivi	Interventi volti ad aumentare l'utilità pubblica e alla valorizzazione ambientale delle zone interessate.

Tabella 6.11: Misure Forestali nello Sviluppo Rurale 2007-2013 (Fonte: Osservatorio Foreste INEA).<sup>184</sup>

Alle misure dello sviluppo rurale si aggiungono oggi anche interventi volti a incentivare la gestione forestale e più precisamente volti a ridurre il depauperamento dello stock di carbonio nei suoli forestali e nelle foreste, e realizzabili grazie al Fondo per Kyoto (ora Decreto Legge 18 ottobre 2012, n. 179) attivato dal MATTM a favore di privati, associazioni, aziende ed enti pubblici.

### Biodiversità

Le azioni di adattamento ai cambiamenti climatici in corso nel nostro paese, in termini di conservazione della biodiversità delle biocenosi forestali, sono rappresentate essenzialmente da strategie/azioni *in situ*, consistenti soprattutto:

- nell'adozione, in numerose aree geografiche, di una "gestione forestale sostenibile" e di una selvicoltura "prossima alla natura" nell'ambito della quale viene dedicata cura al mantenimento della funzionalità e alla biodiversità degli ecosistemi forestali, anche in relazione alle pressioni climatiche che si prevede possano subire. Da rilevare, comunque, una variabilità non trascurabile fra le modalità gestionali in atto nelle diverse Regioni, anche in rapporto al regime di proprietà (pubblica *vs.* privata) e delle forme di governo della foresta (alto fusto *vs.* ceduo).
- nel rafforzamento della rete di aree sottoposte a regime di tutela, molte delle quali comprendono ecosistemi forestali a rischio, in termini di erosione della biodiversità. All'interno di queste aree, in diversi casi sono in corso azioni specifiche per la conservazione della biodiversità e della variabilità genetica, con una crescente (comunque da rafforzare) consapevolezza circa il problema delle dimensioni spaziali minime necessarie a tali fini.

Da segnalare azioni, intraprese ad altri fini, che potrebbero avere significato in termini di conservazione *ex-situ*; ci si riferisce, per alcune importanti specie forestali come *Fagus sylvatica*, a

---

<sup>184</sup> <http://www.inea.it/osservatorio-foreste>.

collezioni di germoplasma<sup>185</sup> gestite da istituti di ricerca, nell'ambito di common-garden experiments.

## *Produzione forestale*

Con riferimento alle problematiche relative alla produzione di legname, tra le azioni di adattamento ai cambiamenti climatici più significative promosse nel sistema forestale italiano possono essere ricordate le seguenti linee di intervento.

Le piantagioni realizzate su terreni agricoli, in particolare grazie alle Misure dei Piani di Sviluppo Rurale (adeguatamente supportate da indicazioni tecnico-operative e finanziarie predisposte dalle Regioni e Province autonome) hanno privilegiato impianti polispecifici, con specie autoctone, realizzate con specie trattate a turni diversi, come ad esempio le piantagioni di noce con turni medio-lunghi, con, nelle interfila, pioppo a turni di 10-15 anni, filari di latifoglie a ceduo e/o specie arbustive. Tali piantagioni hanno una capacità di adattamento ai cambiamenti delle condizioni stagionali molto superiori rispetto a quelle di norma realizzate nel passato.

Inoltre si sta consolidando un orientamento, nell'ambito delle colture legnose a rapido accrescimento per la produzione di biomassa, verso i turni di ceduzione medio-lunghi (Medium Rotation Forestry – MRF, con tagli ogni 4-6 anni) rispetto ai turni attuati con maggior frequenza (Short Rotation Forestry – SRF, con taglio ogni 2 anni). Rispetto alle SRF, le MRF si basano su una tecnica colturale meno intensiva che, tuttavia, permette di ottenere biomassa di miglior qualità grazie alla maggiore dimensione dei polloni e alla minore percentuale di corteccia. Le MRF, come coltivazioni meno dense delle SRF, sono inoltre meno esposte a fattori di degrado conseguenti ad attacchi parassitari.

Per ragioni di mercato (vd. la crescita della domanda di legna da ardere) si sta assistendo al recupero dei cedui invecchiati. Se tale tendenza è opposta alla linea precedentemente ricordata della naturalizzazione degli impianti, va anche ricordato che una corretta gestione del ceduo crea meno problemi, soprattutto in aree a scarsa fertilità e forte pendenza, nella rinnovazione naturale e nella rapida copertura del terreno, aspetto certamente non irrilevante in una politica di riduzione della vulnerabilità delle risorse forestali ai cambiamenti climatici.

Infine sono portate avanti, soprattutto nell'ambito della ricerca pubblica promossa dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA)<sup>186</sup> e dalle Università, attività di miglioramento genetico, in particolare per l'individuazione di nuovi cloni di pioppo destinati alla produzione di legname di buona qualità per sfogliati e per tranciati e per la produzione di biomassa e alla selezione di varietà di specie diverse che abbiano caratteristiche di maggior resistenza alle fitopatie e agli stress idrici.

---

<sup>185</sup> Il germoplasma è il materiale ereditario trasmesso alla prole mediante le cellule germinali in grado di permettere di preservare in modo diretto la biodiversità a livello genetico e di specie. Esso inoltre rappresenta una risorsa genetica e contribuisce in maniera indiretta all'incremento della biodiversità.

<sup>186</sup> CRA: <http://sito.entecra.it/portale/index2.php>.

## ***Incendi boschivi***

Le azioni di adattamento e mitigazione nei confronti del disturbo determinato dagli incendi boschivi richiedono una serie di attività che possono essere attuate a diversa scala. Se da una parte quanto riportato in precedenza evidenzia un gap conoscitivo nell'ambito degli impatti dei cambiamenti climatici sugli incendi boschivi nel MB, e in particolare in Italia, è sicuramente fondamentale riuscire a tradurre le esperienze scientifiche in programmi e politiche di prevenzione, pianificazione della lotta e gestione degli incendi boschivi.

Un'attività indispensabile è rappresentata dalla conoscenza approfondita del regime degli incendi in ambito locale, regionale e nazionale (Masala et al., 2012), e di come i fattori ambientali (condizioni meteo-climatiche, vegetazione, topografia) e umani abbiano influenzato numero, propagazione e comportamento degli incendi in passato. La messa a punto di sistemi integrati di indici di pericolosità, rischio e effetti degli incendi con i possibili scenari climatici, di uso del suolo e socio-economici, rappresenta un ulteriore step che può garantire un migliore monitoraggio del territorio e l'identificazione delle aree maggiormente suscettibili al rischio incendi (Ager et al., 2011; Salis et al., 2012a).

Diversi studi hanno suggerito che le politiche di esclusione completa del fuoco dagli ecosistemi e le strategie di soppressione immediata degli incendi hanno condotto alla creazione di ecosistemi maggiormente proni agli incendi e con carichi di combustibile secco molto elevato, con un impatto diretto sull'insorgenza di mega-incendi (Piñol et al., 2005; Keeling et al., 2006). Interventi di selvicoltura preventiva (ad esempio, diradamenti, decespugliamento, fuoco prescritto, ecc.) costituiscono quindi un elemento chiave nelle strategie di adattamento agli incendi boschivi. La rimozione della vegetazione secca, il controllo delle infestanti e degli arbusti più infiammabili, e la creazione di discontinuità in aree strategiche, sono operazioni in grado di ridurre la suscettibilità di un territorio agli incendi, in quanto ne limitano l'intensità e la velocità di propagazione (Fernandes e Botelho, 2004; Vélez, 2005; Molina et al., 2006). In affiancamento alle tradizionali tecniche di gestione del combustibile basate su lavori manuali o mezzi meccanici, in questi ultimi anni si sta sperimentando l'uso del fuoco prescritto per la riduzione del carico di combustibile come tecnica di mitigazione del rischio in varie realtà, specialmente su ecosistemi forestali o vegetazione erbacea (Xanthopoulos et al., 2006; Làzaro, 2010; Salis et al., 2012b). La valutazione degli impatti di questo strumento sulle varie componenti ecosistemiche (ad es. emissione di carbonio dal suolo) è però ancora incompleta (Kobziar e Stephens, 2006). Inoltre, le metodologie di applicazione del fuoco prescritto non sono univoche ma dipendono dall'obiettivo gestionale in un determinato ambiente (Ascoli e Bovio, 2008), dall'area geografica e dal tipo di vegetazione.

L'adattamento agli incendi boschivi presuppone un aumento della resilienza degli ecosistemi su larga scala, garantendo l'incremento delle capacità di recupero a seguito del fenomeno di disturbo rappresentato dal fuoco (Millar et al., 2007; Blate et al., 2009). Tale obiettivo può essere perseguito assicurando il mantenimento e/o l'incremento della biodiversità dell'ecosistema (Moreira et al., 2011). L'implementazione di trattamenti che minimizzino la perdita di gruppi strutturali e funzionali e il ricorso a interventi volti a preservare le comunità e le specie più sensibili all'azione

degli incendi boschivi possono contribuire al mantenimento della biodiversità; per quanto riguarda invece l'incremento della stessa, ci si deve riferire a programmi mirati alla colonizzazione o allo stabilimento di specie native del territorio (Lindenmayer & Burgman, 2005; Shlisky et al., 2007; Spies et al., 2012). Risulta pertanto importante la pianificazione di interventi di gestione post-incendio o post-disturbo, in particolare per gli eventi di maggiore severità. Va d'altro canto tenuto in considerazione il fatto che taluni ecosistemi possono paradossalmente beneficiare di disturbi di lieve entità e non ricorrenti (Lindenmayer & Burgman, 2005; Spies et al., 2012).

L'identificazione di aree maggiormente suscettibili a incendi severi o ricorrenti permette di migliorare la cognizione degli operatori nell'individuazione delle priorità per le strategie di prevenzione e lotta attiva agli incendi, e deve essere una linea guida indispensabile per la pianificazione degli usi del suolo e soprattutto della pianificazione delle linee di sviluppo urbano-industriale e territoriale (Salis et al., 2012b). Per questo motivo, una adeguata pianificazione deve includere con dovuta attenzione quanto previsto dagli scenari climatici futuri, che prevedono l'incremento delle temperature e dei periodi di siccità, l'aumento degli eventi estremi, la crescita potenziale dei grandi incendi con comportamento estremo (IPCC, 2007). Risulta inoltre di interesse la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria e degli effetti dei fumi prodotti dalle colonne convettive degli incendi, al fine di informare la popolazione sulle misure più adeguate per minimizzare le conseguenze della presenza di particolati e altri inquinanti sulla salute umana (Bacciu et al., 2012)

L'adattamento agli incendi boschivi presuppone infine una adeguata opera di sensibilizzazione, educazione e consapevolezza dei rischi connessi al fuoco da indirizzare verso la popolazione civile (vedasi i risultati ottenuti dal Progetto Transfrontaliero Italia-Francia Marittimo Proterina-C<sup>187</sup>, *“Un sistema di previsione e prevenzione dell'impatto variabilità delle condizioni climatiche sulla variabilità del rischio per l'ambiente vegetato ed urbano”*). Alcuni studi hanno evidenziato come il ricorso a campagne di formazione e informazione della popolazione possa avere un notevole effetto sulla riduzione del numero degli incendi (Robichaud et al., 2009). Inoltre, appare fondamentale formare la popolazione sulla conoscenza dei concetti base di propagazione e rischio potenziale degli incendi e su quali misure e precauzioni adottare in caso di evento, al fine di ridurre la possibilità di comportamenti o azioni potenzialmente pericolosi e codificare norme di sicurezza.

### ***Bioenergia da biomasse forestale***

Il problema energetico è uno dei fattori che pesa maggiormente sulla sostenibilità della società italiana e sulla competitività della sua industria. La necessità di superare l'eccessiva dipendenza dalle fonti fossili nonché gli impegni europei e internazionali sul clima e sull'ambiente assegnano alle energie rinnovabili, e alle biomasse ligno-cellulosiche in particolare, un ruolo strategico per il futuro energetico e per la diversificazione delle fonti energetiche del nostro Paese. Inoltre gli scarti della lavorazione del legno e del riciclo della carta, grazie al loro contenuto di biomassa,

---

<sup>187</sup> <http://www.proterina-c.eu/>.

rappresentano una rilevante fonte di energia rinnovabile che l'Italia deve tenere in grande considerazione.

Nel mondo l'energia da biomasse rappresenta il 14% dell'energia primaria ovvero 1230 Mtep (Mtep=milioni di tonnellate equivalenti petrolio), anche se vi sono grandi differenze a livello mondiale tra le diverse regioni del pianeta. In Italia, la produzione di energia rinnovabile è al 9% della produzione primaria totale e quella da biomasse è solo al 3%, inferiore alla media europea del 5%. Secondo gli impegni della strategia europea EU 20-20-20, l'energia rinnovabile prodotta in Italia dovrà raddoppiare nei prossimi 10 anni mentre le biomasse ligno-cellulosiche dovranno fornire almeno 5 Mtep, cioè 15 Mton di s.s.; questi quantitativi sono estremamente rilevanti poiché corrispondono a circa 30 Mm<sup>3</sup> di legno solido equivalente, un fabbisogno che è poco meno della produzione annuale di tutti i boschi italiani.

In realtà, in Italia le utilizzazioni forestali destinate a legna da ardere (bioenergia) si sono mantenute elevate e sostanzialmente stabili per gli ultimi 50 anni, rappresentando oltre il 65% dei tagli forestali effettuati in Italia (5 Mm<sup>3</sup>). Inoltre, l'Italia è il primo importatore al mondo per legna da ardere, con quantitativi di circa 1 Mm<sup>3</sup>, equivalenti a più di 500 mila tonnellate di legno; a questi dati andrebbe aggiunta almeno la parte dell'import di cippato e residui del legno che viene usata per energia, soprattutto nelle 150 centrali a biomassa, termiche e elettriche, e non per la trasformazione in pannelli di fibra legnosa.

Nonostante questa elevata proporzione dell'attività forestale italiana destinata a bio-energia si ritiene che l'utilizzo energetico del legno in Italia sia ancora ampiamente sottostimata; anche se manca un'analisi completa e verificata del consumo di legno per energia, sia per utenze industriali che soprattutto per quelle domestiche, varie indagini settoriali condotte in alcune regioni e comprensori del nostro Paese tendono a indicare che i consumi di legno per energia ammonterebbero a quantitativi molto elevati, intorno a 20 Mt di biomasse legnose. Circa 2-3 Mt di legno vengono utilizzate per gli impianti energetici a biomassa mentre il consumo per utenze domestiche, e quindi accertabile con notevole difficoltà, si aggirerebbe intorno a 16-18 Mt; ciò corrisponde in volume a quantitativi enormi pari a 30-40 Mm<sup>3</sup> ovvero quasi tutta la produzione, in gran parte attualmente non raccolta, delle foreste italiane.

Questi dati portano a svolgere almeno due considerazioni: è evidente la necessità di accertare con precisione la reale dimensione dell'utilizzazione energetica del legno in Italia; altresì è importante definire la posizione italiana nei confronti degli obblighi comunitari per il raggiungimento degli obiettivi sul consumo di energia rinnovabile, poiché se le indicazioni sopra riportate risultassero confermate, l'Italia potrebbe aver già soddisfatto gli obblighi EU 20-20-20 (ca. 5 Mtep da biomasse solide).

In prospettiva però la capacità di approvvigionamento di biomasse legnose per energia e biocombustibili sarà necessariamente sottoposta a tensioni crescenti, sia per l'aumento dei fabbisogni legati agli obblighi internazionali contratti in ambito climatico e ambientale, sia per le difficoltà crescenti che il nostro Paese incontrerà affidandosi alle importazioni di biomasse, anche in ambito europeo. Infatti, se l'Europa è attualmente autosufficiente per il fabbisogno legnoso per

l'industria e la trasformazione energetica, questa situazione favorevole potrebbe rapidamente deteriorarsi se si tiene conto della crescente richiesta di materiale legnoso che si va consolidando a livello europeo e mondiale, soprattutto per il rifornimento di bioenergia. Purtroppo le proiezioni future (Mantau et al., 2010) fanno ritenere che a partire dagli anni 2020-2030, in corrispondenza del superamento della richiesta di legno per energia rispetto a quello per l'industria, si potrebbe verificare un deficit crescente della risorsa legno nell'Unione Europea, che si rifletteranno necessariamente sulle disponibilità di biomasse legnose, sia energetiche che industriali, per il nostro Paese. E' quindi indispensabile cominciare a prevedere, e adottare, tutte le iniziative tecniche, ambientali, economiche e sociali per rendere più intensiva e sostenibile la gestione e la mobilitazione delle risorse legnose delle foreste europee e delle piantagioni specializzate da legno.

Le opzioni tecnico-economiche su cui lavorare per soddisfare la crescente richiesta di legno e energia, includono:

- aumentare il tasso di utilizzazione forestale che, se in EU è al 60%-70%, in Italia è solo al 25%, prestando però molta attenzione alle problematiche ambientali e della logistica forestale;
- migliorare l'efficienza di uso delle risorse legnose, attraverso un'integrazione sempre più stretta fra i comparti industriali e il recupero degli scarti;
- espandere le piantagioni legnose dedicate puntando su materiale vivaistico selezionato, su sistemi colturali multifunzionali inclusi i benefici ambientali e indirizzando queste colture soprattutto verso le regioni europee più "vocate" per la produzione di biomasse, da un punto di vista della disponibilità di terreni (superando gli yield gaps) e della economicità delle coltivazioni. Le stime (de Wit & Faaij, 2010) sulle colture dedicate per biomasse ligno-cellulosiche indicano inoltre che le loro produzioni potrebbero fornire, se coltivate sul 10%-20% della superficie agricola europea e soprattutto nei Paesi dell'Europa centro-orientale, fino a 20 EJ (ovvero 440 Mtep) all'anno che corrisponde a un terzo del fabbisogno energetico europeo.

### ***Dissesto idrogeologico***

E' generalmente riconosciuto e scientificamente provato (Alila et al., 2009; Preti et al., 2011; Hümann et al., 2011) che la vegetazione forestale ha una funzione regimante dei deflussi superficiali ed antiersiva. L'intercettazione da parte dell'apparato vegetale, l'evapotraspirazione e la maggiore infiltrazione comportano una significativa riduzione del contributo precipitativo alla concentrazione dei deflussi e una generale riduzione delle velocità di scorrimento superficiale con conseguenza riduzione di fenomeni di trasporto solido.

Nonostante la prevalenza e l'efficienza funzionale dei tipi di vegetazione presenti possano variare la capacità protettiva, la copertura forestale è il candidato ideale per la riduzione dei fenomeni di dissesto idrogeologico soprattutto nel contesto attuale di cambiamenti climatici.

Tale attitudine ed importanza è riconosciuta sia a livello scientifico sia a livello istituzionale. Sono infatti numerosi i contributi presenti nella letteratura internazionale che si soffermano sulla gestione ottimale del bosco al fine di esaltare le funzioni conservative dei suoli (Berger & Rey, 2004; Rey & Berger, 2006; Leyer et al., 2012). Come altrettanto sono numerose le indicazioni presenti nei Piani di Assetto Idrogeologico approvati dalle Autorità di Bacino Nazionali (ad esempio Art. 19, 20 e 21 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Bacino del Fiume Tevere) che suggeriscono ed incentivano tale approccio distribuito e naturale per la prevenzione e gestione dei rischi.

Un esempio di accresciuta sensibilità su tali tematiche è offerta dalle intense attività dell'Associazione Italiana di Ingegneria Naturalistica che da circa venti anni promuove tecniche ed interventi di rivegetazione opportunamente progettati per svolgere una funzione stabilizzante e di consolidamento.

A parte iniziative nei bacini montani alpini con diffusi interventi di ingegneria naturalistica, non sono in atto significative azioni di adattamento che vedono strategie di gestione del bosco specificatamente indirizzate alla riduzione del dissesto idrogeologico.

## Bibliografia

- Adams H.D., Guardiola-Claramonte M., Barron-Gafford G.A., Villegas J.C., Breshears D.D., Zou C.B., Troch P.A., Huxman T.E. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality: implications for regional die-off under global-change-type drought. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106, 7063-7066.
- Ager A.A., Vaillant N.M., Finney M.A. (2011). Integrating Fire Behavior Models and Geospatial Analysis for Wildland Fire Risk Assessment and Fuel Management Planning. *Journal of Combustion*, vol. 2011, Article ID 572452, 19 pages, 2011. doi:10.1155/2011/572452.
- Alcamo J., Florke M., Marker M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes, *Hydrological Sciences Journal* 52 (2), 247-275.
- Alila Y., Kuraś P.K., Schnorbus M., Hudson R. (2009). Forests and floods: A new paradigm sheds light on age-old controversies, *Water Resources Research*, 45 (8), art. no. W08416.
- Alizoti P.G., Kilimis K., Gallios P. (2010). Temporal and spatial variation of flowering among *Pinus nigra* Arn. clones under changing climatic conditions, *Forest Ecology and Management*, 259: 786-797.
- Alkemade R., Bakkenes M., Eickhout B. (2011). Towards a general relationship between climate change and biodiversity: an example for plant species in Europe, *Regional Environmental Change* 11 (suppl. 1): 5143-5150.
- Allen C.D. (2007). Interactions across spatial scales among forest dieback, fire, and erosion in northern New Mexico landscapes, *Ecosystems* 10, 797-808.
- Alvarado E., Sandberg D.V., Pickford S.G. (1998). Modeling large forest fires as extreme events, *Northwest Sci.* 72(Spec. Issue), 66-75.
- Amiro B.D., Todd J.B., Wotton B.M., Logan K.A., Flannigan M.D., Stocks B.J., Mason J.A., Martell D.L., Hirsh K.G. (2001). Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959 – 1999, *Can. J. For. Res.*, 31, 512-525.
- Arca B., Bacciu V., Duce P., Pellizzaro G., Salis M., Spano D. (2009). Maps of the likelihood of spread and severity of fire in a report different scenarios of fuel moisture and weather [Mappe di probabilità di propagazione e severità di incendio in relazione a differenti scenari meteorologici e di umidità del combustibile], *Italian Journal of Agrometeorology*, 14: 16-17, ISSN: 1824-8705.
- Arca B., Duce P., Laconi M., Pellizzaro G., Salis M., Spano D. (2007). Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean Maquis, *International Journal of Wildland Fire*, 16:563-572.
- Arca B., Pellizzaro G., Duce P., Salis M., Bacciu V., Spano D., Ager A., Scoccimarro E. (2012). Potential changes in fire probability and severity under climate change scenarios in Mediterranean areas. In: D. Spano, V. Bacciu, M. Salis, C. Sirca (ed) *Modelling Fire Behaviour and Risk*. Nuova Stampa Color: 92-98. ISBN: 978-88-904409-7-7.
- Arnan X., Rodrigo A., Retana J. (2007). Vegetation type and dryness drive the post-fire regeneration of Mediterranean plant communities at a regional scale, *Journal of Vegetation Science*, 18, 111-122.
- Ascoli D., Bovio G. (2008). Il fuoco prescritto in Italia e l'esperienza in Piemonte. In: *Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura, Taormina (ME)*, 16-19 ott. 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, 378-384.
- Bacciu V., Pellizzaro G., Salis M., Arca B., Duce P., Spano D. (2012). Estimating vegetation fire emissions from Sardinian wildland fires (2005-2009). In: D. Spano, V. Bacciu, M. Salis, C. Sirca (ed), *Modelling Fire Behaviour and Risk*. Nuova Stampa Color, 34-40. ISBN: 978-88-904409-7-7.

- Bachmann A., Allgower B. (2001). A consistent wildland fire risk terminology is needed!, *Fire Management Today* 61 (4), 28-33.
- Bacles, C.F.E., Jump A.S. (2011). Taking a tree's perspective on forest fragmentation genetics, *Trends in Plant Science* 16: 13-18.
- Badalamenti E., Barone E., Pasta S., Sala G., La Mantia T. (2012). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (fam. Simaroubaceae) in Sicilia e cenni storici sulla sua introduzione in Italia, *Naturalista siciliano* XXXVI (1): 117-164. <http://www.sssn.it/PDF/PDF%20NS%2036/117-164.pdf>.
- Badia Perpinyà A., Pallares-Barbera M. (2006), Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: The case of Catalonia, *International Journal of Wildland Fire*, 15:187-196.
- Bakkenes M., Alkemade J.R.M., Ihle F., Leemans R., Latour J.B.(2002). Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050, *Global Change Biology*, 8, 390-407. doi: 10.1046/j.1354-1013.2001.00467.x.
- Battisti A. (2008). Forests and climate change – lessons from insects, *iForests* 1: 1-5.
- Battisti A., Paoletti E., Ragazzi A. (2009). Silviculture and forest protection: results and prospects from third Italian National Congress of Silviculture, Technical Reports, *Foresyt@*, vol. 6, 66-74.
- Berger F., Rey F. (2004). Mountain protection forests against natural hazards and risks: New french developments by integrating forests in risk zoning, *Natural Hazards*, 33 (3), 395-404.
- Bernetti I., Romano S. (2007). *Economia delle risorse forestali*. ISBN: 978-88-207-3788-7 pp.: 888
- Bertini G., Amoriello T., Fabbio G., Piovosi M. (2011). Forest growth and climate change: Evidences from the ICP-forests intensive monitoring in Italy, *IForest*, 4, 262-267.
- Blate G. M., Joyce L. A., Littell J. S., McNulty S. G., Millar C. I., Moser S. C., Neilson R. P., O'Halloran K., Peterson D. L. (2009). Adapting to climate change in United States national forests, *Unasylva*. 231/232. 60(1-2), 57-62.
- Boisvenue C., Running S.W. (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity –evidence since the middle of the 20th century, *Global Change Biology*, 12, 862–882.
- Bond W.J., Woodward F.I., Midgley G.F. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire, *New Phytologist*, 165, 525-537.
- Borghetti M., Leonardi S., Raschi A., Snyderman D., Tognetti R. (1993). Ecotypic variation of xylem embolism, phenological traits, growth parameters and allozyme characteristics in *Fagus sylvatica* L.. *Functional Ecology*, 7, 713-720.
- Burgan R.E., Andrews P.L., Bradshaw L.S., Chase C.H., Hartford R.A., Latham D.J. (1997). WFAS:wildland fire assessment system, *Fire Management Notes*, 57(2). 14-17.
- Cane D., Barbarino S., Renier L., Ronchi C. (2012). Detailed downscaling through Ensemble techniques of the regional climate models for a fire weather indices projection in the Alpine region. In: Spano D., Bacciu V., Salis M., Sirca C. (eds.), 2012. *Modelling Fire Behaviour and Risk*, 85-91. ISBN: 978-88-904409-7-7.
- Carmo M., Moreira F., Casimiro P., Vaz P. (2011). Land use and topography influences on wildfire occurrence in northern Portugal, *Landscape and Urban Planning* 100, 169-176.
- Carvalho A., Monteiro A., Flannigan M., Solman S., Miranda A.I., Borrego C. (2011). Forest fires in a changing climate and their impacts on air quality, *Atmosphere Environment*, 45, 5545-5553.

- Casalegno S., Amatulli G., Camia A., Nelson A., Pekkarinen A. (2010). Vulnerability of *Pinus cembra* L. in the Alps and the Carpathian mountains under present and future climates, *Forests Ecology and Management* 259, 750-761.
- Castellnou M., Kraus D., Miralles M. (2010). Prescribed Burning and Suppression Fire Techniques: from Fuel to Landscape Management. In: Montiel C and Kraus D (ed.), *Best Practices of Fire Use-Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case-Study Regions in Europe*. EFI Research Report 24. European Forest Institute.
- Cheab A., Badeau V., Boe J., Chuine I., Delire C., Dufrêne E., François C., Gritti E.S., Legay M., Pagé C., Thuiller W., Viovy N., Leadley P. (2012). Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty, *Ecology Letters* 15, 533-544. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01764.x.
- Chiriaco M.V., Perugini L., Cimini D., D'Amato E., Valentini R., Bovio G., Corona P., Barbati A. (2013). Comparison of approaches for reporting forest fire-related biomass loss and greenhouse gas emissions in Southern Europe, *International Journal of Wildland Fire*, 22(6) 730-738.
- Clavero M., Villero D., Brotons L. (2011). Climate Change or Land Use Dynamics: Do We Know What Climate Change Indicators Indicate?, *PLoS ONE* 6(4): e18581. doi:10.1371/journal.pone.0018581.
- Commissione Europea, (2011). *Forest fire in Europe, Middle East and North Africa 2011*, available at <http://effis.jrc.ec.europa.eu/docs/fire-reports/forest-fires-in-europe-2011.pdf>
- Dale Virginia H., Joyce Linda A., McNulty S.; Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M. D., Hanson P.J., Irland L.C. Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton M. (2001). Climate change and forest disturbances, *BioScience*. 51(9), 723-734.
- De Bono A., Peduzzi P., Giuliani G., Kluser S. (2004). Impacts of Summer 2003 Heat Wave in Europe, *Early Warning on Emerging Environmental Threats 2*, UNEP, United Nations Environment Programme, Nairobi, 4 pp.
- de Luís M., Raventós J., Gonzalez-Hidalgo J.C. (2006). Post-fire vegetation succession in Mediterranean gorse shrublands, *Acta Oecologica* 30, 54-61. doi:10.1016/J.ACTAO.2006.01.005.
- de Wit M., Faaij A. (2010). European biomass resource potential and costs, *Biomass and Bioenergy*, 34, 188-202.
- Di Filippo A., Alessandrini A., Biondi F., Blasi S., Portoghesi L. Piovesan G. (2010). Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy, *Annals of Forest Sciences*, 67, 706.
- Di Paola A., Valentini R., Paparella F. (2012). Climate Change Threatens Coexistence within Communities of Mediterranean Forested Wetlands, *PLoS ONE* 7(10): e44727. doi:10.1371/journal.pone.0044727.
- Dirnböck, T., Dullinger, S. and Grabherr, G. (2003). A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30: 401-417. doi: 10.1046/j.1365-2699.2003.00839.x
- Farris C.A., Pezeshki C., Neuenschwander L.F. (2000). A comparison of fire probability maps derived from GIS modeling and direct simulation technique. In: Neuenschwander L.F., Ryan K.C., Gollberg G.E., Greer J.D. (Eds.), *Proc The Joint Fire Science Conference and Workshop: Crossing the Millennium Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management*, Boise Idaho, June 15-17, 1999, University of Idaho, 130-137.
- Fernandes P., Botelho H. (2004). Analysis of the prescribed burning practice in the pine forest of northwestern Portugal, *Journal of Environmental Management*, 70,15-26.
- Finney M.A. (2002). Fire growth using minimum travel time methods, *Can. J. For. Res.* 32(8):1420-1424.
- Finney M.A. (2005). The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire, *Forest Ecology and Management*, 211: 97-108.

- Flannigan M.D., Wotton B.M. (2001). Climate, weather and area burned. In: Forest Fires: Behavior & Ecological Effects (eds Johnson EA, Miyanishi K) 335-357. Academic Press, New York.
- Foley J. A., Levis S., Prentice I. C., Pollard D., Thompson S. T. (1998). Coupling dynamic models of climate and vegetation, *Global Change Biology* 4, 561-579.
- Founda D., Giannakopoulos C. (2009). The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece: A typical summer in the future climate?, *Global and Planetary Change*, vol 67, Issues 3-4, 227-236.
- Garfi G. (1997). Première contribution à l'étude de *Zelkova sicula* (Ulmaceae), une relique de la flora tertiaire, endémique de la Sicile Sud-Orientale (Systématique – Caryologie – Dynamique de la croissance - Dendroécologie). In : Thèse Doctorat en Sciences, Faculté des Sciences et Techniques, Université Aix-Marseille III (France), 235 p. + annexes.
- Garfi G., Barbero M., Tessier L. (2002). Architecture and growth patterns of *Zelkova sicula* (Ulmaceae) in south-east Sicily as a response to environmental conditions, *Journal of Mediterranean Ecology*, 3, 65-76.
- Girvetz Evan H., Zganjar C., Raber G.T., Maurer E.P., Kareiva P., Lawler J.J. (2009). Applied climate-change analysis: the climate wizard tool, *PLoS One* 4.12 e8320. doi: 10.1371/journal.pone.0008320.
- Giuggiola A., Kuster T.M., Saha S. (2010). [Drought-induced mortality of Scots pines at the southern limits of its distribution in Europe: Causes and consequences](#), *IForest*, 3, 95-97.
- Heywood V.H. (2010). The impacts of global change on plant life in the Mediterranean and the spread of invasive species. In: Proceedings 2nd International Workshop on Invasive Plants in the Mediterranean Type Regions of the World 2010-08-02/06, Trabzon, Turkey, pp. 48.
- Hodnebrog Ø., Solberg S., Stordal F., Svendby T.M., Simpson D., Gauss M., Hilboll A., Pfister G.G., Turquet S., Richter A., Burrows J.P., Denier van der Gon H.A. C. (2012). Impact of forest fires, biogenic emissions and high temperatures on the elevated Eastern Mediterranean ozone levels during the hot summer of 2007, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 8727-8750.
- Hodzic A., Madronich S., Bohn B., Massie S., Menut L., Wiedinmyer C. (2007). Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: meso-scale modeling of smoke emissions, transport and radiative effects. *Atmos Chem Phys Discuss*, 7, 4705-4760.
- Hümann M., Schüller G., Müller C., Schneider R., Johst M., Caspari T. (2011). Identification of runoff processes - The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods, *Journal of Hydrology*, 409 (3-4), 637-649.
- INFC (2005). Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF - Ispettorato Generale del Corpo Forestale dello Stato, CRA-ISAF, Trento.  
[http://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/dati\\_carquant\\_Tabellajsp?menu=3](http://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/dati_carquant_Tabellajsp?menu=3)
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, XXX pp (in press).
- ISPRA (2009). Deforestazione e processi di degrado delle foreste globali. La risposta del sistema foresta-legno italiano. Rapporti 97/2009, pp. 296.

- IT NIR (2011). Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2009. National Inventory Report, April 2011. Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Rome.
- IT NIR (2013). Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2011. National Inventory Report, April 2013. Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Rome.
- Jump A.S., Matyas C., Penuelas, J. (2009). The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species, *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 694-701.
- Keeling AD ES., Sala A., DeLuca T.H. (2006). Effects of fire exclusion on forest structure and composition in unlogged ponderosa pine/Douglas-fir forests, *Forest Ecology and Management* 237: 418-428.
- Kobziar L., Stephens S. (2006). The effects of fuels treatments on soil carbon respiration in a Sierra Nevada pine plantation, *Agricultural and Forest Meteorology* 141 (2006) 161-178.
- Koutsias N., Allgöwer B., Conedera M. (2002). What is common in wildland fire occurrence in Greece and Switzerland - Statistics to study fire occurrence pattern. In: Viegas, D. X. (ed.), IV International Conference on Fire Research. 2002 Wildland Fire Safety Summit. ADAI, University of Coimbra, pp. 14.
- Koutsias N., Arianoutsou M., Kallimanis A.S., Mallinis G., Halley J.M., Dimopoulos P. (2012). Where did the fires burn in Peloponnisos, Greece the summer of 2007? Evidence for a synergy of fuel and weather, *Agricultural and Forest Meteorology*, 156: 41-53.
- Kramer A.T., Ison J.L., Ashley M.V., Howe H.F. (2008). The paradox of forest fragmentation genetics, *Conservation biology* 22, 878-85.
- Kramer K., Degen B., Buschbom J., Hickler T., Thuiller W., Sykes M.T., Winter W. de. (2010). Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change - Range, abundance, genetic diversity and adaptive response, *Forest Ecology and Management* 259, 2213-2222.
- Làzaro A. (2010). Development of Prescribed Burning and Suppression Fire in Europe. In: Montiel, C. (ed.): Best Practices of fire use. Prescribed burning and suppression fire programmes in selected case studies regions. EFI Research Report 24. European Forest Institute.
- Leonardi S., Piovani P., Scalfi M., Piotti A., Giannini R., Menozzi P. (2012). Effect of Habitat Fragmentation on the Genetic Diversity and Structure of Peripheral Populations of Beech in Central Italy, *Journal of Heredity* 103: 408-417.
- Leyer I., Mosner E., Lehmann B. (2012). Managing floodplain-forest restoration in European river landscapes combining ecological and flood-protection issues, *Ecological Applications*, 22 (1), 240-249.
- Libro Bianco (2012). Sfide ed Opportunità dello sviluppo rurale per la Mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Ammassari P., Valentini R., Zaccarini Bonelli C., Bonati G. (a cura di). Roma -Rete Rurale Nazionale, IBSN: 978-88-96095-11-9, p. 302.
- Lindenmayer D.B., Burgman, M.A. (2005). *Practical Conservation Biology*. CSIRO Publishing, Melbourne.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M.J., Marchetti M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of european forest ecosystems, *Forest Ecology and Management*, 259(4), 698-709.
- Liu Y., Kahn R.A., Chaloulakou A., Koutrakis P. (2009). Analysis of the impact of the forest fires in August 2007 on air quality of Athens using multi-sensor aerosol remote sensing data, meteorology and surface observations, *Atmos. Environ.*, 43, 3310-3318.

- Magri D., Vendramin G.G., Comps B., Dupanloup I., Geburek T., Gömöry D., Latalowa M., Litt T., Paule L., Roure J.M., Tantau I., Del Knaap W.O. van, Petit R.J., Beaulieu J.-L. de. (2006). A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences, *New Phytologist* 171: 199-221.
- Mantau. U. ...Verkerk H. (2010). EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg/Germany, June 2010. 160 pp.
- Marlon J.R., Bartlein P.J., Carcaillet C., Gavin D.G., Harrison S.P., Higuera P.E., Joos F., Power M.J., Prentice I.C.. (2008). Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia, *Nature Geoscience*, 1: 697-702.
- Marques S., Borges J.G., Garcia-Gonzalo J., Moreira F., Carreiras J.M.B., Oliveira M.M., Cantarinha A., Botequim B., Pereira J.M.C. (2011). Characterization of wildfires in Portugal, *European Journal of Forest Research*, 130: 775-784.
- Martinez J., Vega-Garcia C., Chuvieco E. (2009). Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain, *Journal of Environmental Management*, 90, 1241-1252.
- Martinez-Vilalta J., Lloret F., Breshears D.D. (2011). Drought-induced forest decline: causes, scope and implications, *Biology Letters*. doi: 10.1098/rsbl.2011.1059.
- Martins V., Miranda A.I., Carvalho A., Schaap M., Borrego C., Sa E. (2012). Impact of forest fires on particulate matter and ozone levels during the 2003, 2004 and 2005 fire seasons in Portugal., *Science of the Total Environment*, 414: 53-62.
- Masala F., Bacciu V., Sirca C., Spano D. (2012). Fire-weather relationship in the Italian peninsula. In: D. Spano, V. Bacciu, M. Salis, C. Sirca (ed) *Modelling Fire Behaviour and Risk*. Nuova Stampa Color, 56-62. ISBN: 978-88-904409-7-7.
- Maselli F. (2004). Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data, *Remote Sensing of Environment* 89, 423-433.
- Maselli F., Moriondo M., Chiesi M., Chirici G., Puletti N., Barbati A., Corona P. (2009). Evaluating the Effects of Environmental Changes on the Gross Productivity of Italian Forests, *Remote Sensing*, 1: 1108-1124.
- Matteucci G., Cammarano M., Dezi S., Mancini M., Scarascia Mugnozza G., Magnani F. (2011). Climate change impacts on forests and forest products in the Mediterranean area. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean (RACCM)*, vol. II, A. Navarra, L. Tubiana (eds.), Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- MCPFE (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe). (2011). *State of Europe's Forests 2011- Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe*, pp. 337.
- Millar C.I., Stephenson N.L., Stephens S.L. (2007). Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty, *Ecological Applications*, 17(8), 2145-2151.
- MiPAAF (Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali), *Piano della filiera legno 2012-14 -Documento di sintesi*, pp. 34.
- Miranda A.I., Borrego C., Martins H., Martins V., Amorim J.H., Valente J., Carvalho A. (2009). Forest fire emissions and air pollution in southern Europe.. In: *Earth observation of wildland fires in Mediterranean ecosystems*, edited by Chuvieco, E., 171-187. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Miranda A.I., Coutinho M., Borrego C. (1994). Forest fires emissions in Portugal: a contribution to global warming? *Environmental Pollution* 83, 121-123.
- Molina D.M., Grillo-Delgado F., Garcia-Marco D. (2006). Uso del fuego prescrito para la creacion de rodales cortafuegos: estudio del caso "Las Mesas de Ana Lopez", Vega de San Mateo, Gran Canaria, Espana. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 15(3):271-276.

- Moreira F., Viedma O., Arianoutsou M., Curt T., Koutsias N., Rigolot E., Barbati A., Corona P., Vaz P., Xanthopoulos G., Mouillot F., Bilgili E. (2011). Landscape – wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management, *Journal of Environmental Management*, 92: 2389-2402.
- Moreno J.M., Vázquez A., Vélez R. (1998). Recent History of Forest Fires in Spain. In: J. M. Moreno (Ed.), *Large Forest Fires*. Backhuys Publishers, Leiden, 159-185.
- Moreno M. V., Chuvieco E. (2013). Characterising fire regimes in Spain from fire statistics. *International Journal of Wildland Fire* 22, 296–305.
- Motta R., Nola P. (2001). Growth trends and dynamics in sub-alpine forest stands in the Varaita Valley (Piedmont, Italy) and their relationships with human activities and global change, *Journal of Vegetation Science*, 12: 219-230.
- Mouillot F., Rambal S., Joffre R. (2002). Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem, *Global Change Biology* 5:423-437.
- Parducci L., Jørgensen T., Tollefsrud M.M., Elverland E., Alm T., Fontana S.L., Bennett K.D., Haile J., Matetovici I., Suyama Y., Edwards M.E., Andersen K., Rasmussen M., Boessenkool S., Coissac E., Brochmann C., Taberlet P., Houmark-Nielsen M., Larsen N.K., Orlando L., Gilbert M.T.P., Kjær K.H., Alsos I.G., Willerslev E. (2012). Glacial survival of boreal trees in northern Scandinavia, *Science (New York, N.Y.)* 335: 1083-1086.
- Parolo G., Rossi G. (2008). Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. In: *Basic and Applied Ecology* 9, 100-107. doi: 10.1016/j.baae.2007.01.005.
- Pasta S., Badalamenti E., La Mantia T. (in press). *Acacia cyclops* A. Cunn. ex G. Don (Fam. Fabaceae) in Italy: preliminary notes on first naturalization cases, *Anales del Jardín Botánico de Madrid*.
- Pausas J.G., Fernández-Muñoz S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: From fuel-limited to drought-driven fire regime, *Climatic Change*, 110(1-2): 215-226.
- Pausas J.G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin), *Climatic Change* 63: 337-350.
- Pausas J.G., Bradstock R.A., Keith D.A., Keeley J.E., GCTE Fire Network. (2004a). Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems, *Ecology* 85, 1085-1100. doi:10.1890/02-4094.
- Pausas J.G., Verdú M. (2005). Plant persistence traits in fire-prone ecosystems of the Mediterranean Basin: a phylogenetic approach, *Oikos* 109, 196-202. doi:10.1111/J.0030-1299.2005.13596.X.
- Pellizzaro G., Ventura A., Arca B., Arca A., Duce P., Bacciu V., Spano D. (2010). Estimating effects of future climate on duration of fire danger season in Sardinia, VI International Conf. on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal, November 15-18, 2010.
- Pereira M.G., Trigo R.M., DaCamara C.C., Pereira J.M.C., Leite S.M. (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal, *Agricultural and Forest Meteorology* 129: 11-25.
- Petit R.J., Hampe A., Cheddadi R. (2005). Climate changes and tree phylogeography in the Mediterranean, *Taxon* 54: 877-885.
- Pettenella D. (2009). [Le nuove sfide per il settore forestale: mercato, energia, ambiente e politiche](#). Quaderni Gruppo 2013, Ed. Tellus, Roma, p.146.
- Pettenella D., Vidale E., Gatto P., Secco L. (2012). [Paying for water-related forest services: a survey on Italian payment mechanisms](#), *iForest*, vol. 5, 210-215.

- Pezzatti G.B., Zumbrunnen T., Bürgi T., Ambrosetti P., Conedera M. (2011). Fire regime shifts as a consequence of fire policy and socio-economic development: An analysis based on the change point approach, *Forest Policy and Economics*, 10.1016/j.forpol.2011.07.002.
- Piermattei A., Renzaglia F., Urbinati C. (2012). Recent expansion of *Pinus nigra* Arn. above the timberline in the central Apennines, Italy, *Annals of Forest Science* 69: 509-517.
- Piñol J., Beven K., Viegas D.X. (2005). Modelling the effect of fire-exclusion and prescribed fire on wildfire size in Mediterranean ecosystems, *Ecological Modelling* 183: 398-409.
- Piotti A., Leonardi S., Piovani P., Scalfi M., Menozzi P. (2009). Spruce colonization at treeline: where do those seeds come from?, *Heredity* 103: 136-145.
- Piovesan G., Biondi F., Di Filippo A., Alessandrini A., Maugeri M. (2008). Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy, *Global Change Biology*, 14, 1265-1281.
- Pluess A.R. (2011). Pursuing glacier retreat: genetic structure of a rapidly expanding *Larix decidua* population, *Molecular Ecology* 20: 473-485. doi: 10.1111/j.1365-294X.2010.04972.x.
- Power M.J., Mayle F.E., Bartlein P.J., Marlon J.R., Anderson R.S., Behling H., Brown K.J., Carcaillet C., Colombaroli D., Gavin D.G., Hallett D.J., Horn S.P., Kennedy L.M., Lane C.S., Long C.J., Moreno P.I., Paitre C., Robinson G., Taylor Z., Walsh M.K. (2012). Climatic control of the biomass-burning decline in the Americas after AD 1500. *The Holocene* 23, 3-13.
- Preti F., Forzieri G., Chirico G.B. (2011). Forest cover influence on regional flood frequency assessment in Mediterranean catchments, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (10), 3077-3090.
- Pyne S.J., Andrews P.L., Laven R.D. (1996). *Introduction to Wildland Fire* (second edition), John Wiley and Sons. Inc. New York. pp. 769.
- Resco de Dios V., Fischer C., Colinas C. (2007). Climate change effects on Mediterranean forests and preventive measures, *New Forests* 33: 29-40.
- Rey F., Berger F. (2006). Management of Austrian black pine on marly lands for sustainable protection against erosion (Southern Alps, France). *New Forests*, 31 (3), 535-543.
- Robichaud P.R., Elliot W.J., Pierson F.B., Hall D.E., Moffet C.A. (2009). A probabilistic approach to modeling postfire erosion after the 2009 Australian bushfires. In: *Proceedings of the 18th World IMACS / MODSIM09 Congress. International Congress on modelling and simulation*, (Eds RS Anderssen, RD Braddock, LTH Newham), 1893-1899.
- Rodolfi A., Chiesi M., Tagliaferri G., Cherubini P., Maselli F. (2007). Assessment of forest GPP variations in central Italy, *Canadian Journal of Forest Research*, 37(10), 1944-1953.
- Romano R. ( a cura di). (2011). *Piano della filiera legno 2011 del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali* Direzione SAQ VI - Agroenergie e filiere minori, Roma.
- Romero-Calcerrada R., Barrio-Parra F., Millington J.D.A. Novillo C.J. (2010). Spatial modelling of socioeconomic data to understand patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain), *Ecological Modelling* 221, 34-45.
- Ruiz-Labourdette D., Nogués-Bravo D., Sainz Ollero H., Schmitz M.F., Pineda F.D. (2012). Forest composition in Mediterranean mountains is projected to shift along the entire elevational gradient under climate change, *Journal of Biogeography* 39, 162-176.

- Sabatè S., Gràcia C.A., Sánchez A. (2002). Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management* 162, 23-37.
- Sala G., Giardina G., La Mantia T. (2011). I fattori di rischio per la biodiversità forestale in Sicilia: il caso studio del cerro di Gussone. *L'Italia Forestale e Montana* 66 (1): 71-80
- Salis M., Arca B., Bacciu V., Duce P., Spano D. (2009). Assessment of Fire Severity in a Mediterranean Area using FlamMap Simulator. In: Proceedings of the "Eighth Symposium on Fire and Forest Meteorology, Kalispell, Montana, USA. 13-15 October 2009 ([https://ams.confex.com/ams/8Fire/techprogram/paper\\_156339.htm](https://ams.confex.com/ams/8Fire/techprogram/paper_156339.htm)).
- Salis M., Arca B., Bacciu V., Spano D., Duce P., Santoni P., Ager A., Finney M. (2010). Application of wildfire spread and behavior models to assess fire probability and severity in the Mediterranean region, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-12991, 2010, EGU General Assembly 2010.
- Salis M., Ager A., Arca B., Finney M., Bacciu V., Duce P., Spano D. (2012a). Assessing exposure of human and ecological values to wildfire in Sardinia, Italy, *International Journal of Wildland Fire*, ([http://www.publish.csiro.au/view/journals/dsp\\_journals\\_pip\\_abstract.cfm?nid=114&ver=4&pip=WF11060](http://www.publish.csiro.au/view/journals/dsp_journals_pip_abstract.cfm?nid=114&ver=4&pip=WF11060)).
- Salis M., Diana G., Casula F., Farris G., Farris O., Licheri F., Musina G., Orotelli S., Peluffo L., Pirisi A.M., Bacciu V., Fois C., Sirca C., Spano D. (2012b) Potential effects of prescribed burning and tactical fires on fire risk mitigation. In: D. Spano, V. Bacciu, M. Salis, C. Sirca (ed) *Modelling Fire Behaviour and Risk*. Nuova Stampa Color, 174-180. ISBN: 978-88-904409-7-7.
- Salis M., Ager A.A., Arca B., Finney M.A., Bacciu V., Duce P., Spano D. (2013a). Assessing exposure of human and ecological values to wildfire in Sardinia, Italy. *International Journal of Wildland Fire* 22, 549-565.
- Salis M., Ager A.A., Finney M.A., Arca B., Spano D. (2013b). Analyzing spatiotemporal changes in wildfire regime and exposure across a Mediterranean fire-prone area. [Natural Hazards](#) 71 (3) 1389-1418.
- Sandberg D.V., Ottmar R.D., Peterson J.L., Core J. (2002). Wildland fire on ecosystems: Effects of fire on air. General Technical Report RMRS-GTR-42-vol. 5.
- San-Miguel-Ayanz J., Schulte E., Schmuck G., Camia A. (2012). The European Forest Fire information System in the context of environmental policies of the European Union, *Forest Policy and Economics*. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2011.08.012>>.
- Santini M., Collalti A., Valentini R. (2014). Climate change impacts on vegetation and water cycle in the Euro-Mediterranean region, studied by a likelihood approach, [Regional Environmental Change](#) (1-14).
- Scalfi M., Piotti A., Rossi M., Piovani P. (2009). Genetic variability of Italian southern Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations: the rear edge of the range, *European Journal of Forest Research* 128: 377-386.
- Scarascia Mugnozza G., Matteucci G. (2010). Foreste e mitigazione atmosferica. In: Sanesi G., Mairota P. [a cura di]. *Foreste e ciclo del carbonio in Italia: come mitigare il cambiamento climatico*, cap 3, pp. 240.
- Scarascia Mugnozza G., Timarco A., Matteucci G. (2003). Ecosistemi forestali e cambiamenti ambientali: lo studio del bilancio idrologico e della produttività con tecniche innovative ed integrate. In: *Atti Convegno Nazionale "Conservazione dell'ambiente e rischio idrogeologico"*, Assisi (PG), 11-12 Dicembre 2002, CNR-IRPI-GNDCI, pubbl. 2830, Perugia, Italia, 596-604.
- Scoccimarro E., Gualdi S., Sanna A., Buchignani E., Montesarchio M. (2011). Extreme events in high resolution CMCC regional and global climate models, CMCC Research Paper RP0110.

- Schelhaas M.-J. (2008). Impacts of natural disturbances on the development of European forest resources: application of model approaches from tree and stand levels to large-scale scenarios. *Dissertationes Forestales* 56, Alterra Scientific Contributions 23.
- Shlisky A., Waugh J., Gonzales P., Gonzalez M., Manta M., Santoso H., Alvarado E., Ainuddin Nuruddin A., Rodriguez-Trejo D.A., Swaty R., Schmidt D., Kaufmann M., Myers R., Alencar A., Kearns F., Johnson D., Smith J., Zollner D., Fulks W. (2007). Fire, ecosystems and people: threats and strategies for global biodiversity conservation. Global Fire Initiative Technical Report 2007–2. The Nature Conservancy. (Arlington, VA) Available at [http://www.nature.org/initiatives/fire/files/fire\\_ecosystems\\_and\\_people.pdf](http://www.nature.org/initiatives/fire/files/fire_ecosystems_and_people.pdf).
- Sirca C., Salis M., Arca B., Duce P., Spano D. (in preparazione). Evaluation of the performance of fire danger indices in a Mediterranean region.
- Sirca C., Spano D., Duce P., Delogu G., Cicalò G.O. (2007). Performance of a newly developed integrated fire rating index in Sardinia, Italy. 4<sup>th</sup> International Wildland fire Conference. Seville, Spain, 13-17 May 2007.
- Smulders M.J.M., Cobben M.M.P., Arens P., Verboom J. (2009). Landscape genetics of fragmented forests: anticipating climate change by facilitating migration, *iForest* 2: 128-132.
- Spano D., Salis M., Arca B., Duce P., Bacciu V., Sirca C. (2012). Evaluation of the Integrated Fire Index (IFI) in Sardinia. In: D. Spano, V. Bacciu, M. Salis, C. Sirca (ed) *Modelling Fire Behaviour and Risk*. Nuova Stampa Color: 187-192. ISBN: 978-88-904409-7-7.
- Spies T.A., Lindenmayer D.B., Gill A.M., Stephens S.L., Agee J.K. (2012). Challenges and a checklist for biodiversity conservation in fire-prone forests: Perspectives from the Pacific Northwest of USA and Southeastern Australia, *Biological Conservation*, 145, 1, 5-14.
- Stephens S.L., Ruth L.W. (2005). Federal forest fire policy in the United States, *Ecological Applications* 15: 532-542.
- Sturrock R.N., Frankel S. J., Brown A. V., Hennon P. E., Kliejunas J. T., Lewis K. J., Worrall J. J., Woods A. J. (2011). Climate change and forest diseases, *Plant Pathology* 60, 133-149.
- Svenning, J.-C., Normand, S. and Kageyama, M. (2008). Glacial refugia of temperate trees in Europe: insights from species distribution modelling. *Journal of Ecology*, 96: 1117–1127. doi: 10.1111/j.1365-2745.2008.01422.x
- Todaro L., Andrei L., D'Alessandro C.M., Gutierrez E., Cherubini P., Saracino A. (2007). Response of *Pinus Leucodermis* to climate and anthropogenic activity in the national park of Pollino (Basilicata, Southern Italy), *Biological Conservation* 137: 507-519.
- Trigo R. M., Pereira J. M. C., Pereira M. G., Mota B., Calado T. J., Dacamara C. C., Santo F.E. (2006). Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal, *International Journal of Climatology* 26: 1741-1757.
- Unioncamere. (2012). *Atti del convegno La ricchezza dei Parchi - Beni comuni e green economy, organizzato a Pescasseroli da fondazione Symbola, Regione Abruzzo, Unioncamere, Federparchi e Camera di Commercio de L'Aquila, 5 ottobre 2012.*
- Valentini R., De Angelis P., Matteucci G., Monaco R., Dore S., Scarascia Mugnozza G.E. (1996). Seasonal net carbon dioxide exchange of a Beech forest with the atmosphere, *Global Change Biology* 2:199-207.
- Vannini A., Lucero G., Anselmi N., Vettraino A.M. (2009). Response of endophytic *Biscogniauxia mediterranea* to variation in leaf water potential of *Quercus cerris*, *Forest Pathology* 39, 8-14.
- Vázquez A., Moreno J.M. (1993). Sensitivity of fire occurrence to meteorological variables in Mediterranean and Atlantic areas of Spain, *Landscape and Urban Planning* 24:129-142.

- Vélez R. (2005). La población rural en la prevención de incendios forestales, In: Documento de Trabajo sobre Protección forestal. FAO, Rome.
- Vernesi C., Rocchini D., Pecchioli E., Neteler M., Vendramin G.G., Paffetti D. (2012). A landscape genetics approach reveals ecological-based differentiation in populations of holm oak (*Quercus ilex* L.) at the northern limit of its range, *Biological Journal of the Linnean Society*, 107: 458-467.
- Vetter M., Wirth C., Bottcher H., Churkina G., Schulze E.-D., Wutzler T., Weber G. (2005). Partitioning direct and indirect human-induced effects on carbon sequestration of managed coniferous forests using model simulations and forest inventories, *Global Change Biology*, 11:810-827.
- Vidale E., Gatto P., Pettenella D., Secco L. (2012). What can we sell behind timber production? The role of forest externalities in the eastern Alps and the implementation of payment for environmental service schemes. In: A. Toppinen, H. Karppinen and K. Kleemola (eds.). [Scandinavian Forest Economics \(44\)](#), 2012, 168-179.
- Viedma O., Moreno J.M., Rieiro I. (2006). Interactions between land use/land cover change, forest fires and landscape structure in Sierra de Gredos (Central Spain), *Environmental Conservation*, 33: 212-222.
- Viegas D.X., Viegas M.T. (1994). A relationship between rainfall and burned area for Portugal, *International Journal of Wildland Fire*, 4, 11-16. doi 10.1071/WF9940011.
- Viegas D.X., Simeoni A., Xanthopoulos G., Rossa C., Ribeiro L.M., Pita L.P., Stipanicev D., Zinoviev A., Weber R., Dold J., Caballero D., San Miguel J. (2009). *Recent Forest Fire Related Accidents in Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISSN 1018-5593. ISBN 978-92-79-14604-6. doi 10.2788/50781.
- Vitale M., Mancini M., Matteucci G., Francesconi F., Valenti R., Attorre F. (2012). Model-based assessment of ecological adaptations of three forest tree species growing in Italy and impact on carbon and water balance at national scale under current and future climate scenarios, *iForest* 5: 235-246.
- Xanthopoulos G., Caballero D., Galante M., Alexandrian D., Rigolot E., Marzano R. (2006). Forest fuels management in Europe. In: Andrews, P.L., Butler, B.W. (Eds.) *Proceedings of the Conference on "Fuels Management: How to Measure Success"*, March 28-30, 2006, Portland, Oregon, USA. USDA Forest Services, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. RMRS-P-41, 29-46.
- Zavala G., Urbieto I., Rieiro I., Bedia J., Gutiérrez J.M., Moreno J.M. (2012). Trends in number of fires and burned area and their relationships with climatic variables across regions in Spain during 1974-2008. ICFBR - International Conference on Fire Behaviour and Risk. Alghero, Italy, 4-6 October 2011.

# Agricoltura, pesca e acquacoltura

## Agricoltura e produzione alimentare

### Sintesi

Per rispondere alle variazioni climatiche in atto e previste per i prossimi decenni, il settore agricolo, fortemente radicato nelle tradizioni locali, si dovrà confrontare con scelte politiche ed economiche fatte a livello nazionale o regionale (ad es. Politica Agricola Comunitaria - PAC, Piani di Sviluppo Rurale - PSR) che incideranno fortemente sui piani di investimento degli agricoltori. Ad oggi infatti, gli aspetti di natura ambientale, principalmente derivanti dal cambiamento delle condizioni climatiche (in particolar modo nell'area mediterranea), incidono significativamente sul settore agricolo e, in particolare sulle sue dinamiche produttive. Le analisi esposte in questo capitolo mirano a sintetizzare i principali impatti e vulnerabilità del settore agricolo ai cambiamenti climatici, nonché ad evidenziare le misure di adattamento attualmente presenti e capaci di rispondere a tali variazioni.

Considerando l'eterogeneità e la grandezza del sistema agricoltura, lo studio della vulnerabilità al cambiamento climatico ha riguardato le produzioni agricole più importanti accorpate per settore (colture da granella, orticole, foraggere, da energia, arboree, ecc.), nonché gli aspetti legati anche al comparto zootecnico. A queste produzioni sono state associate le dinamiche dei principali fattori che incidono sui processi biofisici che interessano l'agro-ecosistema (ad es. fotosintesi, evapotraspirazione, assorbimento elementi nutritivi, ecc.).

La risposta in termini di capacità produttive è infatti fortemente influenzata dalla sensibilità delle specie vegetali e animali di interesse agricolo alle variazioni di questi fattori (ad es. concentrazione atmosferica CO<sub>2</sub>, regime termo-pluviometrico, fertilità terreno, fitopatie, ecc.). L'interazione di questi fattori, seppur non esplicandosi sempre in modo contemporaneo, potrà causare problemi sia dal punto di vista puramente ambientale, con il verificarsi sempre più frequente di fenomeni estremi quali siccità od alluvioni, sia da quello esclusivamente agricolo. In particolare, l'agrosistema sarà soggetto alla diminuzione della produttività delle principali colture, allo spostamento di determinati areali di coltivazione verso nord e quote più alte, e alla diminuzione delle risorse idriche e della qualità del suolo. Ovviamente la risposta colturale potrà essere molto variegata in funzione del sistema colturale e animale considerato e dell'area presa in esame, in quanto talvolta si potranno avere anche ripercussioni positive su alcune componenti dell'agro-ecosistema. Tuttavia il settore agricolo e conseguentemente quello agro-alimentare andranno incontro ad un generale calo delle capacità produttive al quale sarà strettamente legato anche una possibile diminuzione delle caratteristiche qualitative del prodotto, con conseguenze particolarmente negative nelle produzioni di qualità.

Dunque, complessivamente i cambiamenti climatici porteranno scarsi benefici per l'agricoltura italiana con differenze comunque variabili a seconda dell'ambiente considerato. In particolare, risulteranno vulnerabili quelle regioni caratterizzate da un ampio ricorso a sistemi di coltivazione tradizionali per la produzione di alimenti di qualità.

La riduzione di questi impatti negativi o, similmente lo sfruttamento di quelli positivi, potrà essere ottenuta solo mediante l'applicazione di adeguate strategie di adattamento, variabili dal punto di vista tecnico a seconda del contesto in cui saranno applicate. Attualmente la situazione relativa allo sviluppo e all'applicazione di tali misure di adattamento è ancora piuttosto frammentata e nell'ambito del settore agricolo le uniche misure che sono legalmente disciplinate ricadono all'interno della Condizionalità e dei PSR della PAC.

Oltre alla definizione di una strategia di adattamento coordinata a livello nazionale, è quindi auspicabile che tali strategie siano integrate con quelle di mitigazione, in quanto un aumento della resilienza dei sistemi produttivi potrebbe allo stesso tempo concorrere all'aumento del sequestro del carbonio nei suoli ed alla diminuzione delle emissioni collegate ai suoli agricoli.

## **Introduzione**

Con l'avvento della globalizzazione anche un settore come quello agricolo, fortemente radicato nelle tradizioni locali, è stato soggetto a scelte politiche ed economiche fatte a livello mondiale o regionale (WTO, Unione Europea e Piani di Sviluppo Rurale - PSR). Per quanto riguarda l'Italia, le Politiche Agricole Comunitarie (PAC) hanno svolto un ruolo fondamentale nel determinare l'evoluzione del settore. In particolare, le misure adottate a partire dal 1992 hanno introdotto delle modifiche per quanto concerne le modalità di intervento a favore degli agricoltori (ricucendo gli interventi sui prezzi e contribuendo con stanziamenti basati sulle superfici coltivate, comprese quelle destinate al set aside). Con l'adozione della nuova PAC nel 2000, si è dato particolare risalto all'integrazione delle problematiche di protezione dell'ambiente rurale nella politica agricola, determinando forti rimodulazioni nei piani di investimento degli agricoltori con notevoli penalizzazioni per alcune colture. A questi aspetti di natura politico-economica si sono aggiunti, poi, altri fattori come quelli ambientali, che hanno contribuito ad accentuare le problematiche del settore agricolo. Tra i fattori ambientali, un ruolo fondamentale è giocato dalle condizioni climatiche, che, in particolar modo nell'area mediterranea, incidono significativamente sulle capacità produttive, e, sulla base delle previsioni per le prossime decadi, potranno arrivare, in alcuni casi, ad invertire l'attuale aumento della produzione alimentare.

In questo capitolo, a fronte della situazione attuale in cui si trova l'agricoltura italiana e degli effetti che le variazioni climatiche potranno avere su di essa, verranno sintetizzati gli impatti e la vulnerabilità del settore agricolo ai cambiamenti climatici e soprattutto le misure di adattamento introdotte per rispondere a tali variazioni.

## **Gli aspetti chiave dell'impatto dei cambiamenti climatici**

### *Risposta biofisica*

I processi biofisici degli agrosistemi sono influenzati fortemente dalle condizioni ambientali. E' quindi ormai scientificamente accettato che gli ipotizzati incrementi della concentrazione dei principali gas serra potranno influenzare l'agroecosistema sia direttamente (ad es. risposta all'incremento della concentrazione di CO<sub>2</sub>) che indirettamente attraverso gli effetti sul clima (ad es. variazioni regimi termici e pluviometrici). La risposta in termini di capacità produttive sarà fortemente influenzata dalla sensibilità dei diversi processi biofisici e dei fattori che li controllano.

### *Aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> e incremento della temperatura*

E' ben noto e dimostrato che le piante, una volta esposte a concentrazioni di CO<sub>2</sub> superiori a quelle attuali, rispondono aumentando il tasso fotosintetico (Kimball et al., 2002; Ainsworth e Long, 2005). Tali aumenti nella fotosintesi conducono normalmente allo sviluppo di piante più vigorose e all'ottenimento di rese più alte. Questo comportamento è evidente, in particolare, nelle piante C3 che comprendono la maggior parte dei cereali, dei legumi, delle colture foraggere e delle piante da frutto. Al contrario, le piante C4 (mais, sorgo, miglio, canna da zucchero, ecc.), che hanno un processo fotosintetico più efficiente di quello delle piante C3 in presenza di concentrazioni di CO<sub>2</sub> pari a quelle attuali, rispondono in modo meno marcato agli aumenti della concentrazione atmosferica della CO<sub>2</sub>. (Kimball et al., 2002; Ainsworth e Long, 2005; Southworth et al., 2000; Yano et al., 2007). Molti esperimenti sono stati effettuati per misurare gli effetti dell'aumento di CO<sub>2</sub> sulla crescita e sulla resa delle colture usando sistemi di arricchimento differenti (camere di sviluppo, camere a cielo aperto, sistemi Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment, FACE). Questi studi confermano che l'effetto dell'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> sulla crescita e la resa dipendono dal sistema fotosintetico, dalla specie, dallo stadio di crescita e dalle pratiche colturali (es. irrigazione, fertilizzazione) (Kimball et al., 2002; Ainsworth e Long, 2005). In media si possono avere, in condizioni di assenza di stress, aumenti delle rese del 10-20% per le C3 e del 0-10% per le C4 a concentrazioni di 550 ppm CO<sub>2</sub> (Ainsworth et al., 2004; Gifford, 2004; Long et al., 2004). Manderscheid e Weigel (2007) hanno inoltre dimostrato come, sul frumento, l'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> sia in grado di attenuare gli effetti negativi dovuti alla carenza di acqua.

Tuttavia, entrambe le tipologie di piante riducono il consumo di acqua per traspirazione grazie alla parziale chiusura degli stomi (Conley et al., 2001; Bernacchi et al., 2007), come risposta all'aumento della concentrazione di biossido di carbonio, senza comunque pregiudicare l'attività fotosintetica. Come conseguenza di queste risposte all'aumento del CO<sub>2</sub>, le piante hanno una migliore efficienza nell'uso dell'acqua (produzione per l'unità di acqua consumata), ad es. + 40% sia nelle C3 che nelle C4 con un raddoppio della concentrazione di CO<sub>2</sub> (Kimball et al., 2002; Ainsworth e Long, 2005), mentre è meno marcato l'effetto sull'acqua totale utilizzata (evapotraspirazione totale) (Rozema, 1993). Rimane comunque da chiarire il ruolo effettivo dell'aumento di concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> sul consumo di acqua da parte delle colture a scala territoriale. A tale scala infatti, operano retroazioni importanti fra l'entità dei flussi superficiali e la richiesta evapotraspirativa

dell'atmosfera. In estrema sintesi, si può ipotizzare che una riduzione della conduttanza stomatica indotta dall'aumento di CO<sub>2</sub> a livello di foglia o di coltura, può determinare una riduzione della quantità di vapore acqueo che viene immesso nell'atmosfera e che questa riduzione può determinare un aumento del deficit di saturazione dell'atmosfera, ovvero della complessiva richiesta evapotraspirativa. Tale feedback può quindi arrivare a compensare il bilancio fra fattori di riduzione (minor conduttanza) e di aumento (maggiore richiesta evaporativa) dell'uso dell'acqua da parte delle colture (de Arellano et al., 2012).

In un clima relativamente caldo come quello italiano, l'aumento delle temperature previsto per le prossime decadi (+ 2 e 5° C, Giorgi et al., 2004; Kjellström, 2004; Räisänen et al., 2004; Good et al., 2006; Christensen e Christensen, 2007) potrà determinare una diminuzione produttiva per le principali colture agricole a causa di un aumento della respirazione e di una riduzione del periodo vegetativo (nelle specie a ciclo determinato) causata dall'aumento della velocità dello sviluppo fenologico (Olesen e Bindi, 2002; Maracchi et al., 2005; Giannokopoulos et al., 2005; Audsley et al., 2006; Olesen et al., 2007). Insieme a questa diminuzione dei livelli produttivi, l'aumento delle temperature potrà favorire lo svilupparsi di condizioni termiche ottimali per la coltivazione, anche a latitudini e quote più alte, di specie tipicamente mediterranee (es. olivo, vite, frumento duro), con conseguenze dirette sugli agricoltori (necessità di introdurre nuove cultivar o specie) e sulle industrie agro-alimentari di trasformazione (es. diversa collocazione o aumento dei costi di trasporto) (Audsley et al., 2006).

### *Disponibilità di acqua*

La capacità produttiva delle colture agricole nella regione mediterranea è fortemente condizionata, ancor più che dalle temperature, dalla quantità di acqua disponibile nel suolo. I cambiamenti ipotizzati per un prossimo futuro a livello di precipitazioni, evaporazione, perdite per scorrimento ed umidità del suolo indicano una sostanziale diminuzione delle risorse idriche (ad es. riduzioni delle precipitazioni del 30-45% sia nel periodo invernale che estivo) (Räisänen et al., 2004; Giorgi et al., 2004; Kjellström, 2004). Considerando quindi le proiezioni di variazione nella stagionalità delle precipitazioni e la variabilità interannuale delle stesse, ci si deve aspettare un effetto sulla quantità e la qualità delle produzioni delle colture e sulla scelta delle specie e delle varietà che sarà possibile coltivare. È quindi indispensabile una corretta stima della richiesta idrica per l'utilizzo agricolo, sia nel breve che nel medio-lungo periodo, al fine di rendere più efficiente la gestione, la distribuzione della risorsa idrica e lo sviluppo delle infrastrutture necessarie. La carenza di acqua durante le fasi di sviluppo come la fioritura, l'impollinazione e il riempimento del frutto potranno determinare una riduzione dei livelli di produttività soprattutto per le colture estive (ad es. mais in coltura asciutta, girasole) (Audsley et al., 2006; Moriondo et al., 2011). L'aumento di traspirazione dalle piante e di evaporazione dal terreno potranno causare un aumento della carenza idrica, con la conseguente esigenza di aumentare la quantità di acqua da somministrare con l'irrigazione o, molto più probabilmente, di introdurre varietà con maggiore tolleranza allo stress idrico (Giannokopoulos et al., 2005). Simulazioni per la richiesta idrica di olivo, vite e carciofo in condizione di cambiamento climatico evidenziano un incremento della richiesta idrica delle colture durante la stagione di crescita, con variazioni che possono raggiungere in alcune aree

rispettivamente il 19%, 24% e 12% per il periodo 2071-2100, rispetto alla situazione attuale (Spano et al., 2012).

A questi problemi di tipo produttivo si aggiungono poi problemi di ordine sociale ed economico per quanto riguarda l'impiego delle risorse idriche per uso agricolo. Nelle regioni mediterranee, infatti, l'aumento della domanda di acqua per irrigazione potrà determinare l'acuirsi della competizione con altri settori (es. uso urbano e industriale); mentre l'abbassamento delle falde, e il conseguente aumento dell'energia necessaria per pomparle, renderanno la pratica dell'irrigazione più costosa e inquinante da un punto di vista energetico.

### *Variabilità climatica*

Oltre all'impatto causato dalle variazioni medie del clima, le colture agricole risentiranno in modo forse ancora più accentuato dei previsti aumenti di frequenza di eventi climatici estremi come le ondate termiche, le piogge di forte intensità, i periodi siccitosi (Meehl e Tebaldi, 2004; Schär et al., 2004; Beniston et al., 2007). Studi condotti recentemente hanno evidenziato come l'aumento della frequenza di questi eventi durante particolari fasi dello sviluppo delle colture (ritorni di freddo durante la fase di ripresa vegetativa, ondate di calore durante la fase di impollinazione, periodi siccitosi durante la fase di riempimento dei frutti, ecc.) potrà ulteriormente accentuare gli impatti determinati dalle variazioni medie del clima (Jones et al., 2003; Trnka et al., 2004; Moriondo et al., 2008). In particolar modo Moriondo et al. (2008) hanno evidenziato che l'incremento degli stress termici in fase di fioritura inciderà in modo particolare sulle colture primaverili-estive (es. girasole) le quali potranno subire delle riduzioni di resa ben più accentuate (di circa 20 punti percentuali con variazioni da -14% a -34%) di quelle ipotizzate in funzione delle sole variazioni climatiche medie.

### *Fertilità del terreno ed erosione*

L'aumento della temperatura interesserà anche il suolo. La presenza di condizioni termiche più calde potrà accelerare la decomposizione naturale della sostanza organica (Rounsevell et al., 1999). L'applicazione supplementare di fertilizzanti potrà allora rendersi necessaria per ripristinare la fertilità ed anche per supportare l'effetto stimolante sulla crescita delle colture causato dall'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub>. Un maggiore impiego nell'uso dei fertilizzanti azotati potrà accentuare il rischio di perdite per lisciviazione con ovvie conseguenze sulla qualità delle acque (Galloway, 2004; Olesen et al., 2007). I cicli biologici del carbonio, dell'azoto, del fosforo, del potassio e dello zolfo nel sistema terreno-pianta-atmosfera saranno ugualmente accelerati in presenza di un riscaldamento, causando possibili aumenti delle emissioni di gas serra come N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>. (Smith et al., 2005). Anche l'azoto messo a disposizione delle piante attraverso la fissazione simbiotica dell'azoto-batteri potrà aumentare in presenza di temperature più alte e di livelli di concentrazioni di CO<sub>2</sub> più alti, sempre che l'umidità del suolo non costituisca un fattore limitante.

La riduzione delle precipitazioni, infatti, potrà portare ad una riduzione dell'umidità del suolo con possibili effetti sullo sviluppo delle radici e sulla decomposizione della materia organica (Smith et al., 2005), e ad aumenti dei rischi di erosione eolica (soprattutto se i venti dovessero intensificarsi).

L'incremento invece di enti piovosi più intensi potrà accentuare i problemi di erosione idrica dei suoli e di lisciviazione degli elementi nutritivi (Olesen et al., 2007).

### *Fitopatie e infestanti*

La diffusione e l'azione della maggior parte delle fitopatie (es. funghi, batteri, virus, insetti) è strettamente collegata alle piante che li ospitano. Di conseguenza la variazione degli areali di coltivazione di alcune specie agricole potranno determinare una diversa diffusione delle fitopatie. In particolar modo, l'azione di funghi, batteri e virus sarà principalmente influenzata dall'adattamento dei sistemi agricoli alla variazione del clima, mentre gli insetti parassiti saranno maggiormente influenzati dalle variazioni termiche. In funzione dell'interazione specifica fra fitopatia, specie ospitante e clima, ci potranno quindi essere aumenti, diminuzione o nessun cambiamento nello sviluppo delle fitopatie (Coakley, 1995).

Le condizioni saranno particolarmente favorevoli per la proliferazione degli insetti parassiti nei climi più caldi (Bale et al., 2002). I periodi di crescita più lunghi permetteranno a molte specie di insetti di completare un numero maggiore di cicli riproduttivi durante la primavera, l'estate e l'autunno. Le temperature invernali più calde potranno anche permettere alle larve di superare l'inverno nelle zone dove ora sono limitate dal freddo, causando così infestazioni più estese durante la successiva stagione di crescita delle colture. Gli insetti parassiti saranno egualmente influenzati direttamente dall'effetto del CO<sub>2</sub> attraverso la sua azione sulla quantità e la qualità della biomassa della pianta ospitante. Ciò provocherà generalmente un aumento del tasso di consumo delle piante da parte degli insetti entomofagi, che non potrà essere in grado di compensare completamente la riduzione d'azoto fogliare causata dall'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> (Cannon, 1998). Non sono tuttavia disponibili ancora conclusioni definitive su questi effetti a livello di comunità vegetale.

L'alterazione dei venti potrà inoltre cambiare la diffusione sia dei parassiti che dei batteri e dei funghi agenti delle malattie delle colture. Alcuni parassiti poi, agendo come vettori dei virus delle piante, potranno essere influenzati dai cambiamenti climatici (Neilson e Boag, 1996). A questo si deve aggiungere che le interazioni tra pianta e parassita saranno influenzate in funzione di come le fasi dello sviluppo di entrambi verranno ad essere modificate.

Le malattie del bestiame potranno essere influenzate in modo molto simile. In particolare, l'incremento delle temperature potrà favorire la diffusione di malattie del bestiame attraverso: (i) la riproduzione e diffusione di insetti (es. *Culicoides imicola*, la quale risulta essere tra i principali vettori di virus come la lingua blu); (ii) la sopravvivenza invernale dei virus; (iii) il miglioramento delle condizioni per la diffusione di nuovi insetti che attualmente risulta limitata dalle temperature troppo basse (Wittmann e Baylis, 2000; Mellor e Wittmann, 2002; Colebrook e Wall, 2004; Gould et al., 2006).

Diversamente dalle fitopatie, le infestanti saranno influenzate anche direttamente dall'aumento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>. In particolare, l'incremento della concentrazione di CO<sub>2</sub> stimolerà la fotosintesi nelle specie C<sub>3</sub>, sia coltivate che infestanti, ed aumenterà il risparmio di uso

dell'acqua sia nelle specie C3 che in quelle C4 (Patterson, 1995; Ziska e Bunce, 1997). Questa azione contemporanea sulle specie coltivate e su quelle infestanti potrà causare un'alterazione delle interazioni competitive infestante-coltura, con vantaggi a favore delle une o delle altre.

Anche il controllo delle fitopatie e delle infestanti potrà essere egualmente influenzato da questi cambiamenti. In particolare la maggiore diffusione di malattie causata dall'aumento delle temperature potrà portare ad un incremento nell'uso dei prodotti fito-sanitari (Salinari et al., 2006); mentre le variazioni osservate nelle caratteristiche della superficie della foglia, dovute agli effetti dell'incremento di CO<sub>2</sub>, potranno interferire con l'azione di controllo degli erbicidi. Inoltre, l'efficacia stessa dei diserbanti potrà essere influenzata dalle condizioni ambientali, quali l'umidità, la temperatura, le precipitazioni, e il vento (es. gli aumenti di temperatura potranno, in alcuni casi, aumentare l'efficacia del diserbante), mentre le specie infestanti perenni potranno diventare più difficili da gestire nel caso in cui l'aumento della fotosintesi dovesse stimolare lo sviluppo dei rizomi e degli organi di riserva.

## *Risposta delle produzioni agrarie*

### *Produzioni vegetali*

#### *Cereali e colture da granella*

I cereali, le colture oleaginose e quelle leguminose sono generalmente delle specie a ciclo determinato cosicché la lunghezza del periodo di crescita dipende dalle temperature e dalla lunghezza del giorno. Un aumento di temperatura quindi ridurrà la durata del periodo di crescita, con conseguente diminuzione delle rese, se la gestione delle colture non sarà adeguata (Porter e Gawith, 1999; Tubiello et al., 2000; Howden, 2002; Giannakopoulos et al., 2005). Inoltre, anche le aree di coltivazione potranno essere influenzate se non verranno introdotti degli adattamenti in termini di varietà e di epoche di semina (Olesen et al., 2007). La variazione delle rese sarà inoltre fortemente influenzata dall'effetto combinato dell'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> e delle modifiche delle precipitazioni e delle temperature che potranno indurre risposte non lineari. Ad esempio nell'area mediterranea l'effetto fertilizzante della CO<sub>2</sub> potrà determinare degli aumenti delle rese, ma solo con limitati incrementi della temperatura (fino a 1.5-2°C) (Tubiello et al., 2007).

Gli impatti sono comunque fortemente dipendenti dalle colture prese in considerazione. Studi condotti su cereali autunno-vernini, come il frumento duro, hanno messo in evidenza come l'effetto combinato di un aumento della concentrazione delle CO<sub>2</sub> e di un moderato incremento delle temperature (entro i 2°C) potranno determinare produttività più alte (fino a +14%) (Mereu et al., 2011; Ventrella et al., 2012; Ferrise et al., 2013); mentre per incrementi di temperatura più alti si potranno avere delle riduzioni (es. circa -8% per incrementi di 5°C) (Ventrella et al., 2012). Potrebbe risultare inoltre incrementata la variabilità inter annuale delle rese e potrebbero verificarsi particolari effetti negativi in aree collinari (Ferrara et al., 2010)

Per le colture primaverili-estive invece, già con scenari che prevedano un incremento di 2°C rispetto al periodo pre-industriale e in assenza di adattamento, le riduzioni delle rese a livello

nazionale si potranno aggirare intorno al 20% per il girasole e al 30% per la soia (Moriondo et al., 2011).

### ***Colture da tubero e radice***

Le colture tubero e radice saranno fortemente influenzate dall'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> a causa della presenza di grandi organi di riserva come i tuberi e le radici (Miglietta et al., 1998; Bindi et al., 2005). Allo stesso tempo l'aumento delle temperature potrà ridurre il periodo di crescita in qualche specie ed aumentare le richieste di acqua con evidenti conseguenze sul rendimento (Magliulo et al., 2003).

Per colture a ciclo indeterminato quali la barbabietola da zucchero, possono essere previsti dei vantaggi causati sia dal riscaldamento sia dall'aumento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub>, in quanto se non si verificassero stress idrici il periodo di crescita potrà allungarsi favorendo un maggiore accumulo di sostanza secca (Jones et al., 2003; Richter et al., 2006).

### ***Colture orticole***

Le colture orticole comprendono ortaggi e piante ornamentali coltivati sia in pieno campo sia in ambienti controllati. L'effetto principale dell'aumento delle temperature nelle colture protette è legato alla variazione delle richieste di condizionamento degli ambienti di coltivazione (riscaldamento e condizionamento). Gran parte degli ortaggi rappresentano colture di alto pregio che si sviluppano grazie ad un elevato apporto di acqua ed elementi nutritivi. Di conseguenza queste specie risultano essere fortemente influenzate dalle variazioni di temperatura e di CO<sub>2</sub>. Le risposte a questi fattori variano da specie a specie in funzione del tipo di componente commestibile e della risposta fenologica alla variazione delle temperature. In particolare, in colture a ciclo determinato come la cipolla, gli aumenti termici agiranno sul raccolto attraverso una riduzione della durata del ciclo colturale; mentre per colture a ciclo indeterminato come la carota questi innalzamenti termici potranno stimolare la produzione (Wheeler et al., 1996; Wurr et al., 1988). Per l'insalata gli studi condotti hanno dimostrato che gli aumenti di temperatura hanno una bassa influenza sul rendimento, mentre l'aumento del CO<sub>2</sub> ha un effetto altamente stimolante (Pearson et al., 1997). Significative riduzioni del ciclo colturale possono causare pesanti riduzioni produttive (da -10% a -25%) per il pomodoro (anch'esso a ciclo determinato) come dimostrato da uno studio condotto in Sud Italia con scenari che prevedevano un incremento medio di temperatura globale compreso tra 2 e 5 °C (Ventrella et al., 2012).

### *Colture da energia*

La politica agricola ed energetica incentiva la coltivazione di colture dedicate alla produzione di energia, che stanno determinando effetti non trascurabili sul sistema agricolo a scala regionale (Solinas et al., 2011). La gamma di colture disponibili è in continuo aumento e dipende dalla tipologia di filiera agroindustriale considerata (es. biogas, combustione per la produzione di energia termica ed elettrica, produzione di olio combustibile o bioetanolo). Le specie che vengono coltivate in ambienti dove l'acqua non è il principale fattore limitante, come salice e *Miscanthus*, hanno un ciclo colturale pluriennale che prevede tagli a cadenza regolare (stagionale, annuale, biennale, ecc.). Queste specie hanno generalmente un ciclo di crescita indeterminato e quindi potranno risultare avvantaggiate dalle condizioni che favoriscono un'estensione del periodo della crescita, aumentando l'efficienza di uso dell'acqua o della luce. Lo studio dell'effetto dei cambiamenti climatici sulla produzione del salice (Evans et al., 1995) ha mostrato come un riscaldamento termico potrà incrementare la produzione, con aumenti nel rendimento fino al 40% per un aumento di temperatura di 3 °C.

Tra le colture oleaginose dedicate, le specie di maggiore interesse in ambiente in cui l'acqua è un fattore limitante (es. centro-sud e isole) sono quelle a ciclo autunno-vernino come colza, *Brassica carinata* e cartamo. La produzione di semi oleaginosi in questo caso offre anche l'opportunità di impiegare i sottoprodotti per l'alimentazione animale (es. colza) o per usi industriali. La resa di queste colture dipende in particolare dal regime termo-pluviometrico primaverile, con particolare riferimento al periodo aprile-maggio. Una significativa variazione del clima primaverile potrà avere ripercussioni importanti sul bilancio energetico di queste specie, che allo stato attuale è al limite della convenienza.

Nel centro Italia invece si è diffusa in particolare la coltivazione di girasole per la produzione di biodiesel o di biomateriali (alto oleico). Il girasole presenta un ciclo primaverile estivo che potrebbe risentire in modo significativo dell'aumento delle temperature e di un'eventuale variazione negativa delle precipitazioni tardo-primaverili e di inizio estate.

### *Colture foraggere*

Le colture foraggere includono prevalentemente prati avvicendati ed erbai, tra i quali cereali come il mais da insilato o il sorgo da foraggio (entrambe C4) o colture come la barbabietola da zucchero e alcune brassicacee. Gli effetti dei cambiamenti climatici sulle colture foraggere da erbaio sono simili a quelli già descritti sopra, ma quando queste specie sono coltivate per la produzione di alimenti animali, variano le componenti produttive e i criteri di qualità. Uno studio degli effetti sulla qualità del frumento coltivato per insilamento ha indicato che la risposta della coltura è dipendente dalla variazione della concentrazione del CO<sub>2</sub> e delle temperature (Seligman e Sinclair, 1995). Se l'effetto del CO<sub>2</sub> sarà dominante allora è ipotizzabile un aumento del rendimento con una diminuzione in digeribilità, viceversa se sarà dominante l'aumento di temperatura. Queste risposte possono, tuttavia, essere modificate in presenza di carenze idriche (Seligman e Sinclair, 1995). L'interesse è tuttavia prevalentemente rivolto al rendimento totale della biomassa e alla digeribilità della stessa, la quale sarà influenzata in modo diverso a seconda delle specie considerate. Ad

esempio, per le colture a ciclo indeterminato, come l'erba medica o le graminacee perenni, è ipotizzabile un aumento dei rendimenti superiore a quello previsto per i cereali, ma questo dipenderà molto dalle varietà e dalle condizioni sito specifiche con particolare riferimento alle eventuali limitazioni idriche nei periodi autunnale e primaverile-estivo. Una variazione sostanziale delle dinamiche produttive delle specie perenni potrebbe portare a cambiamenti nelle scelte del sistema foraggero che potrebbero anche contribuire alla riduzione dei costi e dell'impatto ambientale. E' noto infatti che le foraggere perenni erbacee sono particolarmente protettive nei confronti delle perdite del suolo per erosione e di nutrienti per lisciviazione.

### ***Pascoli***

In ambiente mediterraneo, il ciclo annuale dei pascoli, siano essi coltivati o spontanei, è limitato dalle basse temperature e dalla ridotta lunghezza del giorno durante l'inverno, nonché dal regime di precipitazione a fine estate e nella prima parte dell'autunno o in primavera. I cambiamenti climatici potranno interessare il rendimento e la composizione dei pascoli in due modi: direttamente, con gli effetti della CO<sub>2</sub>, o indirettamente, attraverso le variazioni indotte sulla temperatura e sulla pioggia.

C'è un generale consenso sul fatto che i pascoli gestiti intensivamente risponderanno positivamente all'aumento della concentrazione del CO<sub>2</sub> e ad un aumento di temperatura, ammesso che le risorse idriche siano sufficienti (Thornley e Cannell, 1997). L'effetto diretto di un raddoppio della concentrazione di CO<sub>2</sub> potrà da solo determinare un aumento del 20-30% nel rendimento dei pascoli se l'azoto non sarà limitante (Jones et al., 1996; Cannell e Thornley, 1998). Questo effetto positivo dell'incremento del CO<sub>2</sub> sulla produzione della biomassa e sull'efficienza nell'uso dell'acqua potrà essere completamente annullato dalle variazioni climatiche, in funzione del clima locale e della tipologia di suoli (Topp e Doyle, 1996a; Riedo et al., 1998).

I pascoli delle zone più marginali sono prevalentemente costituiti da un mix di numerose specie, di cui solo poche hanno valore dal punto di vista strettamente agronomico (Roggero et al., 2002). In queste aree, le singole specie risponderanno in modo differente alle variazioni di CO<sub>2</sub> e di clima, con conseguenze sulla struttura della vegetazione che dovrebbe favorire le leguminose (che sono più sensibili alle basse temperature rispetto alle graminacee) e sulla qualità del foraggio associata alla variazione della composizione chimica delle singole specie delle comunità pascolive (Allard et al., 2003). Nonostante la variazione della composizione floristica in condizione di elevata CO<sub>2</sub>, Allard et al. (2003) non hanno trovato differenze nella concentrazione di N nella dieta. Questo risultato mette in evidenza la complessità delle interazioni tra clima, suolo, pianta e animale, che tipicamente interessano i pascoli. Le risposte sono ancora meno prevedibili nel caso di sistemi agro-silvo-pastorali, nei quali la diversità di risorse foraggere utilizzate al pascolo (erbacee, arbustive e arboree) potrebbe tuttavia rappresentare un elemento di resilienza ai cambiamenti ambientali (Bagella et al., 2014, Lagomarsino et al., 2011) che merita attenzione e su cui la letteratura scientifica non ha prodotto sufficienti evidenze.

Un altro aspetto che merita particolare attenzione, ma che non è stato sufficientemente studiato, riguarda l'avvio della produzione autunno-vernina nei pascoli mediterranei. Queste comunità

vegetali sono composte prevalentemente da specie annuali auto-riseminanti e quindi l'avvio della stagione è influenzato dalle prime piogge utili dopo la siccità estiva. In queste zone, ubicate in particolare nel meridione d'Italia e nelle isole, una variazione del regime pluviometrico (inteso come epoca, quantità e distribuzione di probabilità delle piogge utili nei mesi di settembre-ottobre) potrebbe determinare una maggiore incertezza delle produzioni autunnali che sono molto rilevanti nei sistemi pastorali estensivi (es. per gli ovini da latte) in quanto coincidono con esigenze alimentari crescenti da parte degli animali e ridotte disponibilità di erba nei pascoli. Un ritardo delle precipitazioni autunnali potrebbe determinare un significativo aumento dei costi di approvvigionamento di foraggi conservati con la semina di erbai o l'acquisto di fieno o concentrati sul mercato.

I cambiamenti climatici potranno influenzare in modo selettivo le diverse specie presenti in miscuglio nei pascoli spontanei e quindi determinare una variazione della distribuzione spaziale delle varie facies pastorali. Tuttavia c'è ancora insufficiente chiarezza sulla risposta attesa da parte delle comunità vegetali erbacee complesse, in particolare in condizioni di scarsa disponibilità di N. Studi sperimentali hanno indicato una scarsa risposta o persino una riduzione della produzione dei pascoli a seguito di arricchimento con CO<sub>2</sub> (Korner, 1996). Le simulazioni con modelli matematici d'altra parte hanno indicato che questa risposta potrebbe essere transitoria e che a lungo termine questi ecosistemi, soprattutto con bassa disponibilità di N, potrebbero rispondere anche meglio rispetto a quelli intensivi in condizioni di N non limitante (Cannell e Thornley, 1998). Infatti nel medio e lungo periodo potrebbe prevalere l'effetto positivo della minore lisciviazione di nutrienti e l'aumento della capacità di fissazione dell'azoto in presenza di un aumento di CO<sub>2</sub>

### *Colture arboree*

Le colture arboree saranno molto sensibili ai cambiamenti climatici poiché necessitano di diversi anni per raggiungere la maturità riproduttiva e solo dopo rimangono economicamente produttive per molti anni. Negli ultimi decenni, è stato osservato nelle specie da frutto un anticipo della data di fioritura di circa due-tre settimane e questo può esporre molte specie all'impatto delle gelate primaverili e portare la maturazione a periodi più caldi (Rossi et al, 2007). Per le drupacee è stato evidenziato come un aumento della temperatura provochi un'accelerazione dello sviluppo dei frutti e una raccolta anticipata, con riduzione nelle dimensioni dei frutti (Dejong, 2005). Inoltre lo stress causato da elevate temperature danneggia la qualità delle gemme e ne altera la crescita e la produzione (Southwick e Uyemoto, 1999).

In generale, una precoce ripresa vegetativa, un anticipo della data di fioritura, un successivo accorciamento del periodo di crescita e conseguente maturazione anticipata dei frutti, sono manifestazioni attribuite all'aumento della temperatura spesso accompagnata, soprattutto negli ambienti meridionali, da una concomitante riduzione della disponibilità idrica (Rossi et al, 2007). Gli scenari climatici futuri potrebbero quindi determinare una notevole riduzione della frazione di superficie che ricade in aree vocate per tutte le più importanti colture arboree e conseguenti perdite di produzione in termini quantitativi e qualitativi. Uno studio di vocazionalità territoriale effettuato in Sardegna evidenzia come con diversi scenari climatici ci si potrà aspettare una perdita

della superficie attualmente vocata per la frutticoltura di circa il 70- 86% rispetto al periodo attuale, del 9-26% per l'olivicoltura e del 43-55% per l'olivicoltura (Duce et al., 2005a, b).

Diversi studi sono stati condotti su colture di alto valore economico e ambientale come vite e olivo.

La vite è una specie poliennale che alle alte latitudini è limitata dalla disponibilità di radiazione solare, dalle basse temperature (soprattutto quelle primaverili), e dalle alte precipitazioni estive che limitano l'accumulo dello zucchero nell'uva ed aumentano il rischio di danni da parassiti. Gli studi sugli effetti dei cambiamenti climatici sull'areale di coltivazione della vite nelle principali regioni vitivinicole (Europa, California and Australia), hanno indicato che un riscaldamento potrà condurre a modifiche significative delle zone adatte alla coltivazione, con un'espansione dei margini settentrionali (Kenny e Harrison, 1992; Harrison et al., 2000; Jones et al., 2005) e una riduzione della lunghezza del ciclo vegetativo (anticipo maturazione) (Webb et al., 2007; Moriondo et al., 2011). Tutte queste variazioni potranno avere forti ripercussioni sulle rese le quali, in assenza di fertilizzazione carbonica della CO<sub>2</sub> e di adeguate strategie di adattamento, potranno prevedibilmente risultare ridotte (Lobell et al., 2006). Tali riduzioni di resa potranno essere solo parzialmente compensate dall'effetto positivo delle crescenti concentrazioni di CO<sub>2</sub> (Bindi et al., 2001; Moriondo et al., 2011). Secondo un recente studio (Ferrise et al., 2013) condotto a livello nazionale, la produttività potenziale della coltura potrà ridursi del 4.1% nel prossimo ventennio e del 6.5% entro la metà del secolo. In entrambi i casi, la variabilità delle rese aumenterà determinando maggiori rischi economici per i coltivatori (Bindi et al., 1996; Bindi e Fibbi, 2000).

Oltre all'effetto sulle rese, i cambiamenti climatici potranno avere delle forti ripercussioni sulla qualità delle uve. Attualmente, molte regioni sembrano essere vicine al proprio optimum termico. In presenza di ulteriori incrementi delle temperature in queste zone vi potranno essere dei problemi per il mantenimento di standard qualitativi elevati per gli attuali vitigni; mentre in altre regioni le condizioni climatiche per la produzione di uve da vino potranno diventare ottimali (Webb et al., 2008; White et al., 2006). Secondo uno studio vocazionale condotto da Moriondo et al. (2011) per la Toscana, nel futuro si assisterà ad una progressiva espansione delle aree viti-vinicole verso altitudini più elevate. Nel presente le aree di maggiore qualità sono comprese tra 0 e 600 m s.l.m. Entro il 2040 il limite altitudinale per la coltivazione della vite si sposterà fino a 800 m, ma le aree di maggior pregio saranno comprese tra 400 e 600 m e saranno limitate alla fascia tra 600 e 800 m alla fine del secolo.

L'olivo è una specie tipicamente mediterranea, particolarmente sensibile alle carenze idriche e termiche, tale che i limiti settentrionali e meridionali dell'area di coltivazione potranno essere fortemente influenzati dai cambiamenti climatici. Di conseguenza, gli studi condotti per l'area intorno al bacino del mediterraneo hanno mostrato che l'areale di coltivazione potrebbe permettere la coltivazione in alcune zone del nord Italia dove attualmente non sussistono condizioni idonee (Bindi et al., 1992; Moriondo et al., 2011). Comunque, viste le richieste di basse temperature per la ripresa vegetativa, questa espansione dell'areale di coltivazione potrebbe essere limitata dal mancato soddisfacimento delle "chilling temperature" (Gutierrez et al., 2008).

Oltre all'incremento di areali vocati per la coltivazione dell'olivo in Italia è stato evidenziato un incremento della resa potenziale della coltura in tutto il territorio nazionale e soprattutto nelle regioni del Nord Italia. Tali incrementi di resa sono particolarmente evidenti nel lungo periodo (anche oltre il 50% per il 2080 rispetto alle produzioni attuali in alcuni areali), anche se già nel breve periodo raggiungono, persino negli areali del sud Italia, incrementi del 12% e 30%, rispettivamente per il 2020 e 2050 (Mereu et al., 2008).

Oltre ai limiti di coltivazione, anche il momento e la lunghezza delle principali fasi fenologiche dell'olivo saranno influenzate dall'incremento delle temperature. In particolare, il momento della fioritura sarà fortemente modificato (es. da 1 a 3 settimane di anticipo della data di fioritura entro la fine del secolo) (Galan, et al., 2005).

### **Produzioni animali**

La capacità degli animali allevati di riprodursi, di crescere e di produrre latte esprimendo al massimo il loro potenziale genetico e la capacità di mantenersi in buone condizioni di salute sono fortemente influenzati da fattori di natura climatica.

Tali fattori possono influenzare le produzioni animali sia indirettamente sia direttamente.

Gli **effetti indiretti** sono in primo luogo quelli che i fattori meteorologici esercitano sulla crescita e la qualità dei pascoli e delle colture foraggere, cerealicole e di proteaginose (vedi sopra) nonché sulla disponibilità di acqua (Ringler et al., 2010). In secondo luogo, tra gli effetti indiretti vanno sicuramente annoverati quelli che il clima esercita sulla sopravvivenza di agenti patogeni e/o dei loro vettori (Purse et al. 2005; Patz and Olson 2006). Drammatica testimonianza ne è stata la comparsa in Europa nel 1998 del virus della lingua blu, che fino ad allora era ritenuto confinato nel continente Africano e che nel giro di breve tempo ha provocato la morte di più di 1.500.000 ovini (FAO, 2006). Da sottolineare il fatto che ai danni economici diretti riconducibili ai decessi debbano essere aggiunte le perdite economiche/costi ingenti riconducibili ai cali produttivi, alla perdita di efficienza riproduttiva nonché alle campagne di profilassi diretta (lotta a *Culicoides*) e indiretta (vaccinazione) messe in atto per contrastare la diffusione della malattia. Diversi studi hanno documentato come la comparsa della malattia nel bacino del Mediterraneo sia la conseguenza dello spostamento a nord per ragioni climatiche dell'areale di distribuzione di *Culicoides imicola*, che rappresenta il principale vettore del virus (Mellor and Boorman 1995; Purse et al. 2005).

In tale contesto, il cambiamento climatico in corso potrà certamente aggravare i problemi già esistenti di desertificazione (sia nelle zone secche che in quelle umide), di scarsità di acqua, di produzioni foraggere e cerealicole non ottimali da un punto di vista quanti-qualitativo, e potrà pure introdurre nuove minacce per la salute animale e umana.

Gli **effetti diretti** del clima sulle produzioni animali dipendono sostanzialmente dalla capacità degli animali di mantenere invariata la propria temperatura corporea in condizioni meteorologiche avverse. Per ogni specie vi è un intervallo di temperatura ambientale, definita come zona di termoneutralità, all'interno della quale gli animali allevati mantengono una temperatura corporea

costante e un livello ottimale di capacità riproduttiva, crescita e produzione di latte (Bligh e Johnson 1973). I cambiamenti climatici in corso stanno rendendo sempre più frequenti le situazioni in cui si registrano temperature ambientali superiori al limite critico superiore di temperatura che delimita la zona di termoneutralità nelle diverse specie allevate. In altre parole, nel corso dell'ultimo decennio in particolare è aumentata la frequenza di condizioni meteorologiche in grado di causare stress termico da caldo negli animali allevati (Segnalini et al., 2011). Con riferimento specifico alle condizioni di caldo ambientale giova inoltre ricordare come in queste condizioni i valori elevati dell'umidità relativa aggravino gli effetti della temperatura. Per questo motivo un indice considerato utile per lo studio degli effetti del caldo sugli animali allevati è il "temperature humidity index" (THI) che esprime con un unico valore l'effetto combinato dei valori di temperatura e di umidità relativa.

Gli effetti negativi dello stress da caldo nelle specie animali di interesse zootecnico risultano ampiamente documentati in letteratura (Johnson, 1987). Riguardo all'efficienza riproduttiva, nelle specie bovina e suina lo stress da caldo aumenta l'incidenza di calori silenti, altera lo sviluppo follicolare e la spermatogenesi, si associa ad aumento dei casi di aborto e impatta negativamente lo sviluppo embrionale. In tutte le specie si osservano calo dell'ingestione di alimento e del tasso di crescita. Nei mammiferi si osserva declino della produzione di colostro e di latte con un significativo peggioramento anche degli aspetti qualitativi: calo del contenuto di immunoglobuline, riduzione delle percentuali di proteine e di grasso, alterazione dei rapporti tra le frazioni proteiche e alterazione della composizione acidica (Lacetera et al., 2003). Pure note sono le associazioni tra stress da caldo e occorrenza di malattie (infettive, metaboliche, ecc.) nonché tra stress da valori elevati della temperatura o del THI e aspettative di vita (Gaughan et al., 2009). A tale ultimo riguardo, in un recente studio italiano relativo alla mortalità delle bovine allevate in pianura padana per la produzione di latte, è emerso come ci sia un valore del THI al di sopra del quale il rischio di morte aumenta in maniera considerevole e come il numero di bovine morte nel corso dell'estate 2003, riconosciuta come una delle estati più calde degli ultimi 500 anni (Xoplaki et al., 2005), sia stato drammaticamente superiore a quello registrato nelle altre stagioni o mediamente durante l'estate (Vitali et al., 2009). Peraltro, sempre con riferimento all'estate 2003, è noto come le ondate di calore abbiano causato la morte di migliaia di suini, avicoli e conigli di allevamento nelle regioni Francesi della Bretagna e dei Paesi della Loira<sup>188</sup>.

## **Azioni di adattamento intraprese**

Le misure di adattamento possono essere comprese all'interno di strategie nazionali o regionali, ma possono tuttavia presentarsi anche come interventi pratici a livello di collettività o di singoli individui (ad es. polizze assicurative). Affinché le misure di adattamento siano adottate nel giusto momento e siano efficaci e coerenti tra i vari settori interessati, sarebbe necessario un approccio più strategico basato sulla cooperazione tra i vari livelli politici, su scala da europea a locale. Tuttavia

---

<sup>188</sup> <http://lists.envirolink.org/pipermail/ar-news/weekof-Mon-20030804/004707.html>.

ad oggi la situazione relativa allo sviluppo e all'applicazione di tali misure di adattamento è ancora piuttosto frammentata. In Italia, benché non facenti parte di uno specifico documento di pianificazione nazionale, esistono nell'ambito agricolo diverse opzioni gestionali assimilabili a strategie di adattamento che sono attivate sul territorio nazionale. In particolare esse rientrano all'interno delle attuali politiche nazionali di tutela dell'ambiente, di prevenzione dei disastri naturali, di gestione sostenibile delle risorse naturali e di tutela della salute (Castellari, 2012).

Un primo esempio fa riferimento al documento relativo alla Strategia Nazionale per la Biodiversità (MATTM, 2010), all'interno del quale, per raggiungere l'obiettivo finale richiesto dal documento, viene incentivato l'utilizzo di pratiche quali l'applicazione di colture di copertura e delle colture intercalari (inerbimento e sovescio); le consociazioni e l'introduzione dell'intercropping, nonché la conservazione o la creazione di fasce tampone vegetate o di barriere vegetate quali siepi o alberature. In linea generale infatti tutte queste pratiche, oltre a mantenere la biodiversità modificando il sistema agricolo convenzionale (intensivo) attraverso l'introduzione di nuove specie ed il mantenimento di vigoria di quelle preesistenti, ottemperano anche alla funzione di strategie di adattamento. Anche il Programma di Azione Nazionale di Lotta alla Desertificazione – PAN (Delibera CIPE 229/99) prevede l'applicazione di alcune strategie di gestione del suolo che mirano, oltre a limitare i danni dovuti alla desertificazione, anche al mantenimento della produttività agricola mediante pratiche per la conservazione dell'umidità del suolo (no tillage, pacciamatura, ecc.), e la razionale gestione dell'irrigazione (consumi ed efficienza nell'uso dell'acqua).

Attualmente le uniche opzioni che non ricadono sotto forma di suggerimenti e/o raccomandazioni all'interno di questi documenti sono quelle legalmente disciplinate e integrate all'interno della Condizionalità e dei PSR, i quali rappresentano rispettivamente il primo ed il secondo pilastro della PAC.

Per quanto concerne la Condizionalità, la sua attuazione si è esplicata principalmente attraverso il rispetto di specifici impegni per gli agricoltori nell'ambito di Criteri di Gestione Obbligatorie (CGO) e delle Buone Condizioni Agronomiche ed ambientali (BCAA). I CGO ed i BCAA, definiti rispettivamente come atti e norme per la condizionalità, sono misure prevalentemente incentrate sulla tutela del suolo. Essa viene assicurata mediante una serie di accorgimenti mirati alla riduzione dei fenomeni erosivi, la conservazione della sostanza organica del suolo, la protezione della struttura ed il mantenimento del complesso suolo in condizioni idonee alla coltivazione ed all'ambiente in genere, oltre alla gestione ed alla protezione delle risorse idriche e della loro qualità. Complessivamente dunque, queste misure agiscono col fine ultimo di preservare il suolo e tutte le sue funzioni attraverso una serie di azioni, alcune delle quali possono essere identificate come strategie di adattamento. Ne sono un esempio gli interventi di regimazione temporanea delle acque superficiali di terreni in pendio, o la realizzazione di solchi acquai temporanei capaci di migliorare la disponibilità e l'utilizzo delle risorse idriche, ma anche la realizzazione di fasce inerbite o altri interventi conservativi e migliorativi della riserva idrica, capaci di ridurre la vulnerabilità del settore. Un altro esempio risiede nell'obbligo dell'avvicendamento colturale, definito dallo standard 2.2, il quale, vietando per determinati cereali una monosuccessione

superiore ai cinque anni, risulta una misura di adattamento indiretta capace di indirizzare gli agricoltori verso scelte colturali adatte al clima in evoluzione. In particolare ottimizzando o stabilizzando la produzione (ad es. sostituzione di colture con alta variabilità inter-annuale con colture a più bassa variabilità, monocoltura con rotazioni) o impiegando nuove cultivar per adattarsi agli stress indotti dai cambiamenti climatici (ad es. idrico, termico, fitopatie, ecc.). Mantenere il suolo agricolo in buone condizioni agronomiche ed ambientali attraverso pratiche capaci di mantenere e diversificare la produzione, nonché utilizzare metodi di gestione diversi capaci di indirizzare gli agricoltori verso l'utilizzo di coltivazioni differenti da quelle preesistenti, possono al contempo sia ridurre alcuni fattori di vulnerabilità del settore che contribuire a ridurre le emissioni di GHG.

Per quel che riguarda il secondo pilastro, risulta che all'interno di 15 PSR sono presenti misure atte a fronteggiare il cambiamento climatico. Benché tale azione sia attuabile utilizzando un ampio ventaglio di misure (10), la gran parte delle Regioni si concentrano sulle misure degli assi 1 (misura 121, es. ammodernamento delle aziende agricole per miglioramento degli impianti di ventilazione/raffreddamento nei ricoveri animali; misura 111, es. azioni nel campo della formazione professionale e dell'informazione e misura 114, es. ricorso ai servizi di consulenza aziendale agricola e forestale) e 2 (soprattutto mediante la misura 214, es. pagamenti agroambientali), nonché con interventi da realizzarsi anche attraverso l'asse terzo e quarto, i quali sono però incentrati rispettivamente al contesto della sfida sulle energie rinnovabili e l'applicazione di misure economico-finanziarie (MiPAAF, 2010).

Tra le 5 regioni italiane in cui la misura 121 è adottata, solo il Lazio e la Campania si sono orientati verso l'effetto del potenziale di adattamento dell'agricoltura allo scopo di ridurre gli effetti degli eventi meteorologici estremi (RRN, 2010). Nell'ambito dell'asse 2 invece, l'applicazione della misura 214 è utilizzata da ben 8 Regioni attraverso azioni rivolte a perseguire tre obiettivi di cui, oltre alla riduzione delle emissioni di protossido di azoto ed all'incremento di C nel suolo attraverso pratiche agricole virtuose, anche l'adattamento dell'agricoltura alle mutate condizioni climatiche. A titolo di esempio, una delle azioni maggiormente innovative è stata applicata dalla regione Lombardia (214i), con la quale vengono incentivati metodi quali minimum e zero tillage, colture intercalari e il sostegno per avvicendamenti più sostenibili e stringenti rispetto ai requisiti di condizionalità al fine di ottenere una gestione conservativa delle superfici agricole (RRN, 2010).

Attualmente dunque all'interno dei PSR italiani sono presenti circa 36 azioni finalizzate alla sfida Cambiamenti Climatici e collocate prevalentemente all'interno degli assi primo e secondo, di cui ben 19 azioni sono state inserite ex novo. Il futuro periodo di programmazione (2014-2020), attualmente in fase di sviluppo, sarà mirato a rafforzare e incrementare questo quadro di azioni già intraprese.

## **Interazioni tra strategie di adattamento e mitigazione**

La distinzione tra le strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici nel contesto agricolo risulta spesso fuorviante (FAO, 2010). Una netta scissione di entrambe le componenti

all'interno di un'agenda politica potrebbe infatti compromettere la stabilità del sistema stesso, in quanto azioni necessarie al fine mitigativo potrebbero influenzare negativamente quelle per l'adattamento (OECD, 2010 p.93). Dunque, in accordo con Smith et al., 2007b; World Bank, 2010; OECD, 2010; FAO, 2010, il problema dei cambiamenti climatici dovrebbe essere affrontato integrando le due strategie. Le azioni di mitigazione e di adattamento possono infatti considerarsi tra loro complementari e non alternative, oppure, in alcuni casi, possono sovrapporsi ed avere un'azione sinergica. L'imprescindibilità della valutazione di entrambe le strategie in un'ottica integrata deriva dal fatto che esiste un'interazione a tre vie che causa, oltre all'aumento della resilienza dei sistemi produttivi di fronte ai cambiamenti climatici, anche allo stesso tempo un aumento del sequestro del carbonio nei suoli ed una diminuzione delle emissioni collegate ai suoli agricoli.

In linea generale, dato che l'obiettivo primario delle opzioni di mitigazione è quello di ridurre le emissioni (soprattutto CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) o di aumentare l'immagazzinamento di C nel suolo, tutte le opzioni di mitigazione sono capaci di influenzare i cicli di C e N di un determinato ecosistema (Smith e Olesen, 2010). A tale riguardo Pan et al. (2009) hanno evidenziato come soprattutto l'aumento di sostanza organica nel suolo possa condurre a migliorare sia la resa colturale sia la stabilità delle produzioni. Tuttavia l'influenza che le pratiche mitigative esercitano sui due fondamentali cicli biogeochimici degli ecosistemi (C e N) talvolta influenza negativamente la capacità di adattamento di specifici sistemi. Ad esempio l'impiego di colture di copertura, benché solitamente comportino una riduzione delle sostanze nutritive ed un aumento del C nel suolo, in paesi caratterizzati da scarsità della risorsa idrica potrebbe influenzare negativamente la disponibilità di acqua per la coltura primaria e, conseguentemente ridurre il rendimento (Smith e Olesen, 2010). Allo stesso modo politiche mitigative orientate verso lo sviluppo e la produzione di colture energetiche o forestali, potrebbero limitare l'adattabilità del settore stesso al cambiamento climatico nel momento in cui dovessero essere applicate in contesti quali aree siccitose o vulnerabili ad eventi estremi.

Diversamente le strategie di adattamento, principalmente finalizzate ad aumentare la resilienza dei sistemi produttivi alla maggiore variabilità di temperatura e precipitazioni, hanno un impatto solitamente positivo sulla mitigazione in quanto agiscono migliorando sia l'efficienza di utilizzo dell'N sia incrementando le riserve di C nel suolo. Ad oggi i numerosi studi condotti sia a livello nazionale che globale (Olesen e Bindi, 2002; PICCMAT, 2007; Bindi e Olesen, 2010), hanno indicato tra le migliori e più efficienti opzioni di adattamento misure relative alla riduzione dell'erosione del suolo, della lisciviazione di azoto e fosforo, le misure per conservare l'umidità del suolo e la diversificazione delle rotazioni colturali. Per quanto riguarda interventi mirati alla riduzione dell'erosione del suolo, in Italia disciplinati ad esempio dallo standard 1.1 presente all'interno delle norme della condizionalità relative alla protezione del rischio di erosione del suolo, sono stati ipotizzati interventi mirati a condizioni locali specifiche attraverso la regimazione temporanea di acque superficiali di terreni in pendio o la realizzazione di strutture apposite (solchi acquai). Tali interventi potrebbero garantire, oltre alla messa in sicurezza di aree dedite alla coltivazione, anche la riduzione di emissioni di gas serra per mezzo di un aumento della fertilità del suolo capace di

favorire lo sviluppo di coltivazioni in grado di sequestrare elevate quantità di carbonio. Una diversificata gamma di tipologia di fertilizzazione (Bertora et al., 2009), di lavorazioni del suolo (minimum o no-tillage) e di gestione delle rotazioni (Vakali et al., 2011) può inoltre condurre alla riduzione del processo di mineralizzazione della sostanza organica, con effetti positivi in termini di mitigazione dei flussi di N.

Semplici accorgimenti tecnici quali l'iniezione dei fertilizzanti organici direttamente nel suolo o l'interramento immediato (e non entro 24 ore come prescritto da alcune regioni) possono comunque ridurre grandemente le emissioni di N in atmosfera (Carozzi et al, 2013). Pratiche atte a conservare l'umidità del suolo, consistenti prevalentemente nel lasciare sul terreno tutti o alcuni residui colturali, permettono di aumentare il contenuto di sostanza organica e proteggere il terreno dall'erosione (idrica ed eolica), oltre a far diminuire la temperatura del terreno, riducendo quindi l'evaporazione dell'acqua (Castellini e Ventrella, 2012). Analogamente gli stessi effetti benefici in termini mitigativi possono essere raggiunti mediante un'attenta gestione dell'irrigazione, la quale, oltre alla riduzione dell'uso dell'acqua, consente un abbassamento del costo di produzione (Dinar e Mendelsohn, 2011; Molden et al., 2010); la cattiva gestione dell'irrigazione in alcune situazioni padane causa perdite per lisciviazione e incrementi della fertilizzazione azotata per compensarle (Perego et al, 2012).

L'integrazione tra adattamento e mitigazione potrebbe dunque potenzialmente essere la migliore strategia per ottenere una sostanziale riduzione delle emissioni e contemporaneamente una migliore efficienza di sequestro e riutilizzo di C e N nel suolo. Tuttavia, benché teoricamente tale integrazione possa essere il viatico per la massimizzazione dell'efficienza di sequestro di gas serra e della valorizzazione delle risorse, questa sinergia risulta non ancora ampiamente esaminata. Inoltre, sebbene i benefici economici derivanti dagli interventi di mitigazione e di adattamento siano da ritenersi senza ombra di dubbio superiori sia ai costi per la loro applicazione che quelli compensativi dei danni provocati dai cambiamenti climatici, pianificazioni strategiche in tal senso supportate da studi economici sono ancora insufficienti. Infine, esaminando la possibilità dell'azione integrata tra esse, è necessario considerare due aspetti fondamentali. Il primo consiste nel fatto che la maggior parte di queste misure, essendo strettamente legate ad uno specifico contesto territoriale, devono essere valutate caso per caso; il secondo deve tenere conto della discrepanza temporale tra i vantaggi derivanti dalle misure di adattamento ed i benefici della mitigazione, in quanto questi ultimi potranno essere realizzati soltanto dopo un lasso di tempo notevole (decine di anni) dalla loro applicazione (World Bank, 2008).

## **Stima dei costi e benefici**

### *Costi socio-economici degli impatti*

La letteratura propone approcci metodologici diversi per procedere alla valutazione economica degli impatti connessi ai cambiamenti climatici in agricoltura. Tutti comunque traducono in termini monetari la variazione di produzione e/o resa delle principali colture interessate. Nel caso più semplice, questa valutazione avviene in maniera diretta, moltiplicando il valore unitario della

produzione (cioè il prezzo) per la variazione osservata o attesa della quantità. Metodologie più complesse cercano di quantificare/includere anche alcuni effetti indotti. Vi sono per esempio modelli economici bottom-up che analizzano il funzionamento dei mercati agricoli e quindi le interazioni tra domanda e offerta, pur mantenendo esogeno il resto del contesto macroeconomico. Il metodo ricardiano invece quantifica gli impatti attraverso le variazioni nel valore della terra in base all'andamento atteso delle rendite future. Consente anche di integrare nell'analisi un certo grado di adattamento autonomo da parte degli agricoltori. La modellistica Computable General Equilibrium (CGE) infine cerca di determinare gli impatti sul PIL o sul benessere<sup>189</sup> derivanti dalle mutate performances produttive del settore agricolo. Caratteristica principale di questo tipo di analisi è quella di evidenziare le relazioni tra settori produttivi e le retroazioni sul/del contesto macroeconomico attraverso l'esplicita rappresentazione dei flussi di domanda e offerta intra e internazionali per ciascun fattore produttivo, bene e servizio. Così facendo, questi modelli riescono a catturare la reazione degli agenti economici (famiglie, imprese, governo) ai segnali economici (variazioni nei prezzi relativi) innescati dagli impatti dei cambiamenti climatici. In questo senso catturano parte dell'adattamento autonomo.

Per l'Italia analisi di questo tipo sono purtroppo limitate. Si cita innanzitutto la valutazione COPACOGECA (2003) dell'impatto sul settore agricolo e forestale dell'eccezionale ondata di calore nell'estate del 2003. In futuro eventi come quello del 2003 saranno sempre più frequenti e quindi l'analisi di quanto avvenuto nel passato fornisce utili indicazioni quantomeno sugli ordini di grandezza coinvolti. Nel 2003 la riduzione osservata nella produzione nazionale di foraggio, grano, mais, patate è stata rispettivamente del 40%, 8%, 24%, 18% (Figura 1.12). Come spesso accade il dato aggregato occulta importanti differenze regionali: ad esempio la produzione di mais nella sola valle del Po nello stesso anno ha fatto registrare una caduta del 36% (Ciais *et al.* 2005). La perdita economica diretta è stata stimata attorno ai 4,5 miliardi di Euro.

---

<sup>189</sup> Il benessere nell'approccio CGE viene solitamente misurato come quella compensazione monetaria da trasferire alle famiglie che consentirebbe di mantenere il paniere di consumo loro accessibile successivamente ad una perturbazione economica, nella situazione pre-perturbazione. Un trasferimento positivo implicherebbe quindi un aumento di benessere intercorso tra i due stati economici. Questa misura (variazione di reddito equivalente) va oltre il semplice computo della variazione di reddito, in quanto considera anche i potenziali cambiamenti nel sistema dei prezzi relativi.

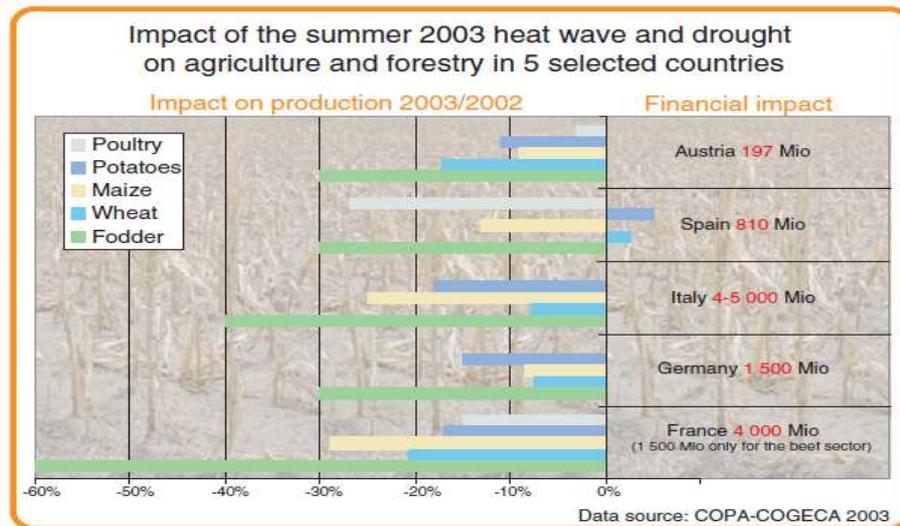
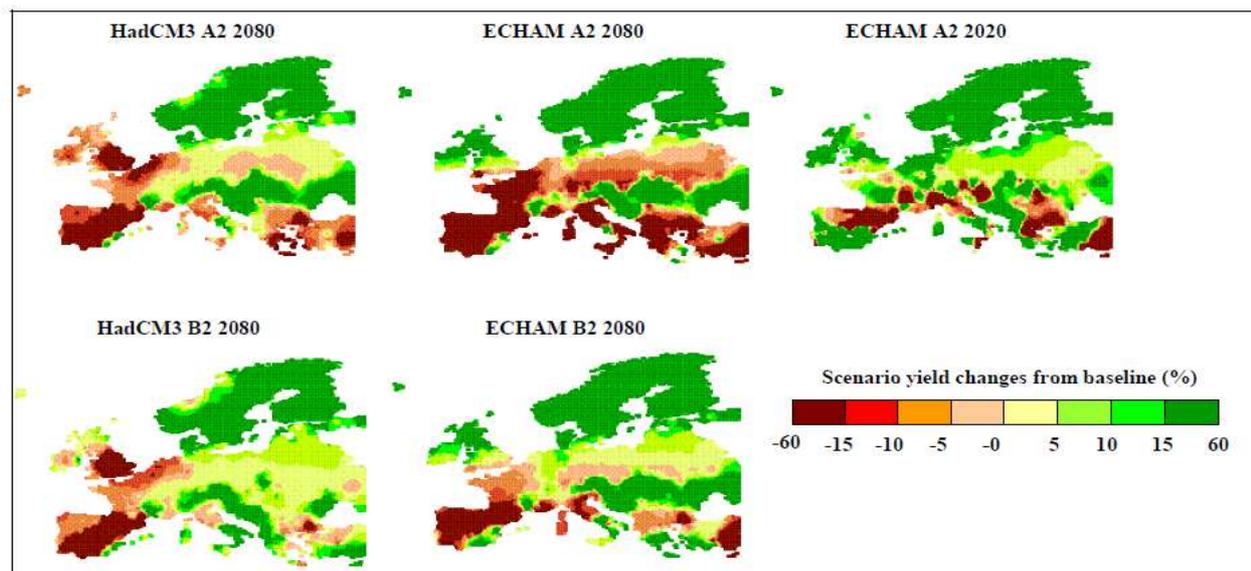


Figura 1.12: Impatto sulla produzione agricola causato dalla ondata eccezionale di calore del 2003 per alcune nazioni europee (Fonte: COPA-COGECA, 2003).

Come ampiamente riportato nelle sezioni precedenti del presente capitolo, oltre agli eventi estremi, tra i quali ricadono i picchi di temperatura, anche aumenti di temperatura e concentrazioni di CO<sub>2</sub> più gradualmente influenzeranno le rese delle diverse colture. Pur con tutta la variabilità del caso, e volendo riassumere, è ragionevole attendersi un sostanziale prevalere di effetti negativi sulle rese per aumenti di temperatura superiori ai 2 – 2.5°C. Con quali ripercussioni economiche?

Il progetto PESETA (Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis<sup>190</sup>), concluso nel 2007, propone la stima di una serie di impatti fisici ed economici del cambiamento climatico in Europa, inclusi quelli sul settore agricolo. Diversi incrementi di temperatura dai 2 ai 5.4°C vengono considerati. In quest'ultimo scenario, la riduzione media della resa agricola nel sud Europa viene quantificata del 27% al 2080. La perdita di benessere per la regione è dell'1%. Per l'Italia l'impatto è particolarmente significativo, con una contrazione media delle rese del 60%. Lo scenario a 2°C evidenzia invece impatti netti negativi moderati e addirittura un impatto positivo per il Sud Italia (Figura 2.12). Il progetto PESETA non fornisce però stime economiche con dettaglio nazionale.

<sup>190</sup> <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/>.



**Figura 2.12:** Variazione produzione agricola al 2020 e al 2080 in corrispondenza di differenti scenari e modelli climatici  
(Fonte: Iglesias et al., 2009).

Queste vengono invece fornite dal recente tender DG CLIMA EUADAPTSTRAT. Gli impatti fisici sulle rese vengono stimati applicando una versione aggiornata del modello ClimateCrop, lo stesso di PESETA. L'Italia conferma la sua alta vulnerabilità con una riduzione media delle rese dal 9,27% nel caso di un innalzamento della temperatura di 2° C rispetto all'epoca pre-industriale fino a quasi il 23% per un incremento di 4° C. Il valore della produzione persa è quantificabile tra i 13 e i 30 Miliardi di Euro, a seconda degli scenari, corrispondenti rispettivamente allo 0,76% e all'1,86% del PIL nel 2050.

Un'analisi ricardiana delle implicazioni economiche dei cambiamenti climatici sul settore agricolo dell'Europa a 15 è fornita da Van Passel et al. (2012). Nello scenario A2 dell'IPCC il decremento di valore dei terreni agricoli nel Sud Europa, va dall'8 al 13% per ogni grado di aumento di temperatura. Per l'Italia questo è del 10% per grado e valutabile tra gli 87 e 162 miliardi di Euro al 2100. Gli alti valori monetari evidenziati dallo studio sono in parte dovuti all'alto valore economico dei terreni agricoli in Italia che è tra i più alti d'Europa.

Una prima analisi CGE per l'Italia è proposta in Carraro (2008). Gli incrementi di temperatura considerati sono però modesti (0,93° C e 1,2° C), pertanto l'impatto sulle rese e produzione agricola è in generale positivo. Diventa negativo solo introducendo i fenomeni di desertificazione modellizzati come perdita di terreni agricoli. Un'analisi CGE più recente è proposta dal già citato tender DG CLIMA EUADAPTSTRAT. Le perdite di resa del 9.27% e del 23% per aumenti di 2°C e 4°C rispettivamente, una volta inserite come input in un modello di equilibrio economico generale, si traducono in contrazioni della produzione comprese tra -2,66% e -7,28%. E' però interessante notare che in questo caso l'impatto finale sul PIL è leggermente positivo (per 2° C) o nullo (4° C). La performance sul PIL in controtendenza rispetto alle perdite evidenziate dalle metodologie di

quantificazione dei costi diretti, deriva dalla prospettiva economica globale adottata dal modello economico e soprattutto dalla considerazione dei meccanismi di commercio internazionale. L'impatto sulle rese in Italia, pur negativo, è infatti inferiore a quello di altre regioni del Mediterraneo (in particolare Spagna, Grecia, Nord Africa) per cui in termini relativi l'Italia si troverebbe leggermente avvantaggiata rispetto ad alcuni suoi competitori diretti.

E' opportuno comunque sottolineare come quest'ultima analisi prescinda dai potenziali fenomeni di desertificazione di cui si discuteva precedentemente e non includa più in generale valutazioni di costo associate alle variazioni nella copertura del suolo indotte dal cambiamento climatico e soprattutto ipotizzi che qualsiasi tipo di aggiustamento intervenuto nei mercati in seguito a variazioni di prezzo avvenga istantaneamente e a costo nullo.

Ricapitolando: L'Italia, come tutti i paesi dell'area mediterranea e a differenza dei paesi del Nord Europa, è particolarmente esposta ad impatti negativi sulle rese derivanti dal cambiamento climatico. Gli impatti sono tuttavia altamente diversificati per coltura ed area geografica. Quelli negativi sembrano prevalere per aumenti di temperatura superiori ai 2°C. Le valutazioni dei costi associati presentano una grande variabilità non solo a seconda degli scenari climatici analizzati, ma anche delle metodologie adottate. Le stime dei costi diretti associati alla sola riduzione delle rese quantificano la perdita potenziale nello 0.7% del PIL per un aumento della temperatura di 2°C e nell'1.9% del PIL per i 4°C (13 e 30 miliardi di Euro rispettivamente). Valori molto più elevati vengono invece riportati dalle analisi ricardiane che quantificano la riduzione attesa del valore delle rendite fondiari. Al 2100 queste potrebbero depauperarsi per un valore complessivo tra gli 87 e i 162 miliardi di Euro. Le analisi CGE, che quantificano gli impatti sul PIL, tendono invece a riportare effetti sostanzialmente nulli. Questo soprattutto in virtù di effetti sul mercato internazionale. Il dato più evidente che comunque emerge è l'esiguo numero di studi economici disponibili per l'Italia e l'assenza di un'analisi sistematica integrata per la quantificazione degli impatti in agricoltura che incorpori la diversità degli impatti fisici (eventi estremi, alluvioni, siccità, aumenti di temperatura) sulle rese, sugli usi e copertura del suolo, a diverse metodologie di valutazione economica. I pochi dati attualmente disponibili sono quindi da prendersi con assoluta cautela e necessitano di essere integrati/validati con ulteriore e più approfondita ricerca.

## **Incertezze e incognite**

L'analisi dell'incertezza o meglio del livello di precisione con la quale vengono forniti i risultati in termini di impatti è di fondamentale importanza soprattutto per determinare la fattibilità tecnica ed economica delle misure di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici. Le cause che incidono sulla precisione delle previsioni fornite sono di varia natura e riguardano tutti gli strumenti che normalmente vengono impiegati per questo tipo di studio (modelli climatici e colturali, prove sperimentali, tecniche di interpolazione dei dati).

Per quanto riguarda l'agricoltura a livello di scenari futuri, una fonte di incertezza è costituita dalle variazioni che potranno avvenire in termini di uso del suolo e di sviluppo socio-economico a seguito dell'attuazione di specifiche politiche di incentivazione (es. PAC) e delle direttive

comunitarie in materia ambientale (Direttive Europea sulle Acque, sui nitrati, Natura 2000 ecc.) (Rounsevell et al., 2005; Rounsevell et al., 2006).

Per quanto concerne gli aspetti legati all'impiego dei modelli di simulazione nella stima degli impatti, le principali incertezze riguardano: (i) l'incapacità di considerare tutti i fattori che influiscono, ed esempio a livello di determinazione della produttività (es. eventi climatici estremi, insetti, funghi, virus, infestanti) (Kuhn et al., 2004; Reiter et al., 2004; Sutherst, 2004), anche se recenti analisi modellistiche a scala europea includono patogeni e avversità abiotiche dovute a eventi estremi (Bregaglio et al, 2013) (ii) la mancanza di serie sufficientemente lunghe e dettagliate di dati osservati per testare i modelli utilizzati per determinare gli impatti (Kovats et al., 2001), (iii) la quantificazione del reale impatto che variazioni di alcuni fattori ambientali (es. CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) potranno avere sui livelli produttivi (sia quantitative che qualitative) delle principali colture agricole (es. le nuove prove sperimentali effettuate con la tecnologia FACE ( indicano un effetto di fertilizzazione da parte della CO<sub>2</sub> inferiore a quello atteso rispetto agli esperimenti su piccola scala) (Easterling et al., 2007), (iv) le informazioni sulla risposta di colture particolarmente importanti per l'alimentazione delle popolazioni più povere (colture da tubero, miglio, ortaggi) (Easterling et al., 2007), (v) l'incerta risposta degli agroecosistemi mediterranei in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto all'adozione di pratiche conservative (Lai et al., 2012).

Sempre al fine di aumentare la precisione con la quale potranno essere fornite le stime di impatto e di capacità di adattamento, un elemento fondamentale sarà giocato dalla capacità di armonizzare, sia in termini di informazioni sia di metodologie, le iniziative di ricerca. E' stato messo bene in evidenza, nel recente passato, che la ricerca sugli impatti del cambiamento climatico è un requisito fondamentale per poter progettare soluzioni di adattamento efficaci (Long et al., 2006).

Da questo punto di vista, in particolare a livello nazionale, appare particolarmente importante garantire un elevato livello di organizzazione delle reti di monitoraggio (clima, suolo, acqua) in modo che i relativi dataset siano disponibili online per ricerche a scala di distretto produttivo, che appare nello specifico contesto italiano, quella più rilevante dal punto di vista socio-economico. Allo stato attuale, la raccolta di lunghe serie di dati meteo e la cartografia pedologica appaiono decisamente carenti e fortemente limitanti per garantire un buon livello di affidabilità dei modelli di simulazione, che rappresentano uno strumento fondamentale per le analisi di impatto. A questo si aggiunga il fatto che le reti di rilevazione a scala aziendale (es. RICA) sono fortemente carenti relativamente ai dati produttivi e di pratiche colturali, cosa che limita anche in questo caso la possibilità di valorizzare questi dataset nazionali con potenti strumenti di simulazione. Si deve osservare che proprio recentemente è stata effettuata una sperimentazione per la stima dell'impronta carbonica delle aziende agricole presente nella RICA, ed è in corso una revisione delle informazioni raccolte a livello aziendale, proprio nell'ottica di una utilizzazione ai fini della individuazione di strategie di adattamento.

Emerge infine una notevole frammentazione di approcci disciplinari a scala internazionale, che è stata recentemente messa all'ordine del giorno di importanti piattaforme scientifiche internazionali

(es. AgMIP, GRA, JPI FACCE) al fine di limitare al minimo l'incertezza nel prevedere le implicazioni socio-economiche dell'impatto del cambiamento climatico su colture e animali.

## **Aree più vulnerabili**

Particolarmente vulnerabili risulteranno poi quelle aree dove vi è un gran ricorso ai sistemi di coltivazione tradizionali per la produzione d'alimenti di qualità. Questo tipo di realtà agricole si basano su condizioni climatiche favorevoli, quindi i cambiamenti di climatici potranno provocare gravi ripercussioni sulla società rurale. Le aziende con grandi investimenti in infrastrutture, costruzioni, macchinari, terra, ecc. potranno risultare più vulnerabili a rapidi cambiamenti di contesto e richiedere più tempo per affrontare in modo efficace le difficoltà, in particolar modo per la loro riconversione (Herrero et al., 2010).

Sulla vulnerabilità dell'agricoltura italiana ai cambiamenti climatici svolgeranno un ruolo rilevante la variazione della frequenza e intensità degli eventi estremi (gelate, piogge intense, ondate di calore, ecc.) che, insieme alla variazione dei valori medi (aumento delle temperature), incideranno fortemente sulla qualità e quantità delle produzioni (Porter e Semenov, 2005). Questi eventi calamitosi rendono particolarmente complesso l'adattamento da parte degli agricoltori, con aumento della frequenza di danni estremamente rilevanti e di difficile prevenzione. In questo caso la vulnerabilità può essere ridotta sia mediante tecniche colturali idonee, sia per mezzo di sistemi colturali articolati, sfruttando i vantaggi di idonee rotazioni colturali nei riguardi della valorizzazione del suolo e delle risorse idriche (Reidsma et al., 2010).

A titolo di esempio, nell'estate 2012 in Toscana la serie di giorni consecutivi senza pioggia è arrivata alla cifra record di 74 giorni (periodo dal 12 giugno al 25 agosto). Nello stesso intervallo si sono misurate temperature al di sopra di 35 °C per 31 giorni. L'invaso di Bilancino, situato nel Mugello e utilizzato per garantire la portata al fiume Arno, al 3 settembre conteneva 38 milioni di metri cubi invasati, contro una capacità massima di 69 e un'altezza del lago sul livello del mare di 245 metri contro una media di oltre 252 (dati Regione Toscana). Nello stesso periodo, secondo il bilancio tracciato dalla Coldiretti a livello nazionale, è andato perso oltre il 10 % del Pil agricolo. La siccità del periodo estivo ha ridotto drasticamente i raccolti di mais, pomodoro, barbabietola e girasole mentre su coltivazioni molto sensibili come tabacco, frutta e uva è stata la grandine a provocare danni irreversibili. Secondo il quadro tracciato da Coldiretti sono state il Veneto e l'Emilia-Romagna le regioni più colpite, con perdite stimate in un miliardo ciascuna. Pesanti danni sono stati registrati anche in Toscana, (260 milioni), Lombardia (200 milioni), Puglia (180 milioni), Umbria (70 milioni) e Marche (60 milioni). Ma gravi danni sono stati registrati anche a 'macchia di leopardo' in tutte le altre regioni. Basti pensare che è andata persa la metà del raccolto di pomodori in Puglia; con una perdita del 30 % dei raccolti nazionali di mais e del 40 % di quelli di soia, senza dimenticare le riduzioni previste per la barbabietola da zucchero e per il girasole (-20 %), e il calo del 10 % nella produzione di latte dovuto all'aumentato stress delle vacche in produzione.

## Implicazioni per altri settori collegati

Il settore agricolo e della produzione di alimenti è fortemente collegato con gli altri settori considerati per la definizione di una strategia nazionale per l'adattamento al cambiamento climatico. In questa sezione sono brevemente descritti i principali legami con gli altri settori.

### *Risorse idriche*

In Italia, lo sviluppo agricolo delle diverse aree del Paese è stato fortemente legato all'accesso all'acqua e gli ordinamenti colturali irrigui hanno sempre rappresentato un punto di forza in termini di reddito e di occupazione.

- Disponibilità idrica. Le variazioni a carico dei regimi pluviometrici (quantità, frequenza, intensità, ecc.) influiranno notevolmente sulle disponibilità idriche per uso agricolo. A questo si aggiungerà un'accentuata competizione con gli altri settori economici che porterà alla necessità da parte del settore agricolo di introdurre delle strategie di adattamento per fronteggiare una minore disponibilità di acqua.
- Consumi. Ad una diminuzione della disponibilità di risorse idriche corrisponderà da parte delle colture agricole un aumento dei consumi per un aumento dei processi evapo-traspirativi causati dall'incremento termico in corso. Anche in questo caso sarà necessario ricorrere a delle misure di adattamento in grado di ridurre i consumi (es. cambio specie coltivata, variazioni pratiche colturali, ecc.)

### *Desertificazione, degrado del territorio e siccità*

- Erosione e salinizzazione del suolo. In presenza di eventi climatici sempre più estremi si accentueranno i problemi di degrado degli orizzonti superiori del suolo, ricchi di materia organica e sostanze nutritive. L'assottigliamento dei profili pedogenetici (ovvero dei diversi strati che compongono il suolo) ridurrà la capacità produttiva dei terreni agricoli e, quindi, la qualità dei raccolti. L'aumento del livello dei mari e l'eccessivo sfruttamento idrico delle falde in prossimità delle coste implicherà una loro salinizzazione che potrà portare ad un aumento dei problemi legati alla salinizzazione dei terreni agricoli.
- Eventi estremi (incendi, siccità, alluvioni). Il verificarsi sempre più frequente di eventi estremi (siccità ed incendi, alluvioni) influirà sul comparto agricolo e sulla fragilità del territorio. Tali eventi spesso potranno condurre a danni diretti, attraverso la distruzione di raccolti e la riduzione del potenziale produttivo, nonché indiretti, andando ad inficiare nelle aree di produzione i suoli agricoli, causando danni di tipo biofisico. Tali eventi possono anche condurre alla perdita di suolo mediante l'infiltrazione nello stesso di sostanze inquinanti, o l'asportazione di sostanza organica, per cui la riattivazione degli stessi suoli diventerebbe onerosa e spesso inconveniente.

## Dissesto idrogeologico

- Copertura ed uso del suolo. L'imboschimento di terreni non agricoli può risultare un'opportunità per recuperare terreni ormai usciti dal circuito produttivo e abbandonati, capaci tuttavia di provocare rischi idrogeologici dovuti ad erosione e dissesti in genere, e di suscettività agli incendi. Tale pratica potrebbe coinvolgere specie idonee alla ricostituzione di habitat naturali tipici dell'area d'interesse e conseguentemente incrementare lo sviluppo economico (flussi turistici, riduzione costi dovuta a diminuzione della manutenzione, ecc). Anche l'uso di aree fuori circuito per produzioni energetiche da biomasse legnose o la riconversione a pascolo possono far parte di una serie di misure ottimali per la valorizzazione di aree marginali.
- Pratiche agricole. Valorizzazione delle aree agricole è una forma necessaria alla riduzione del dissesto idrogeologico. L'aumento di suoli destinati all'attività agricola associata ad una sua attuazione mediante pratiche finalizzate alla sostenibilità ambientale si tradurrebbe in azioni di prevenzione contro i gravi fenomeni di dissesto idrogeologico. La presenza dell'uomo in agricoltura e le sue attività sui campi possono infatti incidere positivamente anche in termini di presidio del territorio e sulla salvaguardia del paesaggio.
- Regimazione delle acque. Il suolo agricolo è un'immensa risorsa non soltanto in termini produttivi, ma anche in termini di drenaggio e di regolamentazione delle acque. L'agricoltura può essere conseguentemente un fattore fondamentale anche in termini di prevenzione del rischio di eventi catastrofici dovuti ad eventi come alluvioni o smottamenti. Pratiche agricole e sistemazioni di pendii potrebbero incrementare le superfici destinate alla coltivazione e dunque regolamentare le acque presenti sul territorio.

## Biodiversità ed ecosistemi

L'agricoltura si colloca nella panoramica della biodiversità in modo bivalente. Essa può contribuire ed essere causa della riduzione della diversità biologica (sia a livello animale che vegetale), che favorire la sua protezione creando o mantenendo alcuni ecosistemi ed habitat.

- Ecosistemi naturali. In risposta ai cambiamenti climatici l'agricoltura può rappresentare un elemento fondamentale per la tutela dell'ambiente. Tale azione può essere prevalentemente esplicita attraverso la produzione colturale con pratiche a basso impatto ambientale, capaci di rispettare le risorse naturali attraverso la creazione di ambienti (es. siepi, filari alberati, boschetti, capezzagne, alberi isolati, piccoli specchi) in grado di fungere da risorsa a livello produttivo (es. con la creazione di specchi d'acqua utilizzati per l'irrigazione), ambientale (creazione di luoghi atti all'incremento e/o sviluppo di biodiversità) e sociale (creazione di elementi capaci di ridurre eventuali danni provocati da eventi estremi, come alluvioni, frane, smottamenti ecc.).
- Biodiversità vegetale e animale. L'agricoltura può condurre all'aumento della biodiversità vegetale, sia di specie naturali che di specie ampiamente coltivate. La diversità genetica

delle colture, la quale può essere protetta dall'agricoltura mediante la protezione di varietà locali, è fondamentale per ottenere colture adattabili a situazioni estreme (sempre più presenti con l'evidente cambiamento climatico in atto). Un ruolo particolare può essere svolto dall'agricoltura conservativa, che consente lo sviluppo di maggiore biodiversità rispetto a quella convenzionale, e si integra perfettamente con il rispetto delle risorse naturali di cui al punto precedente. L'agricoltura, oltre a soddisfare la funzione primaria di fabbisogno alimentare, può influenzare fortemente anche l'ambiente in cui si sviluppa. In particolare, può influenzare le specie animali, siano esse presenti all'interno del suolo che sopra di esso. L'agricoltura, specialmente quella finalizzata alla minimizzazione dell'impatto ambientale, rappresenta l'habitat ideale di molte specie e dunque può assumere il ruolo di fonte primaria di biodiversità animale.

## **Salute**

- Quantità e qualità degli alimenti. Gli effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura potranno avere delle ripercussioni sulla salute degli animali e degli essere umani attraverso una riduzione delle disponibilità quantitative e qualitative. Per quanto concerne l'aspetto quantitativo, la riduzione delle rese colturali dovute al riscaldamento e alla riduzione delle precipitazioni potrà avere delle ripercussioni dirette sulla salute umana attraverso carenza di cibo nelle aree a più alta demografia che potranno innescare problematiche di tipo sociale ed economico (es. fenomeni di migrazione). A livello qualitativo invece l'azione dei cambiamenti climatici potrà determinare delle variazioni a livello di dieta sia per quanto riguarda gli animali (es. diverso apporto proteico) che gli essere umani (es. variazioni negli apporti di fibre, vitamine ed elementi antiossidanti).
- Patologie. Le carenze di alimenti dovuti alla riduzione delle capacità produttive delle colture agricole causate dai cambiamenti climatici potranno avere anche delle ripercussioni su alcune delle patologie animali e umane legate all'alimentazione. Tali problemi saranno evidenti soprattutto nei paesi in via di sviluppo, ma potranno avere anche degli effetti indiretti alle nostre latitudini.

## **Foreste**

Il comparto forestale e quello agricolo sono da sempre strettamente connessi soprattutto a causa di un legame quasi "propedeutico", in cui alla rimozione dell'uno spesso corrisponde l'avvento dell'altro (es. Disboscamento – Imboschimento).

- Imboschimento. In presenza della necessità di aumentare le capacità di sequestro del carbonio, le superfici agricole, soprattutto quelle presenti in aree marginali, potranno rappresentare potenziali serbatoi di carbonio se convertite in superfici boscate. Ciò soprattutto attraverso la realizzazione di piantagioni con specie forestali autoctone al fine di conservare la biodiversità, tutelare qualitativamente e quantitativamente le risorse idriche superficiali e profonde, ridurre l'inquinamento del suolo e dell'aria, tutelare il suolo dall'erosione.

- Produzione di bioenergia. Il settore agricolo e quello forestale risultano essere tra le principali fonti di energia alternativa grazie alla produzione della materia prima per l'ottenimento di bioenergia. A causa dei cambiamenti climatici la gestione dei due eco-sistemi dovrà essere sempre più improntata oltre che alle mansioni tradizionali (tutele del territorio, della biodiversità, produzione di legno e alimenti) all'ottimizzazione delle capacità di sequestro e riduzione delle emissioni di gas serra (carbonio e azoto) attraverso l'adozione di specifiche strategie di mitigazione.

## *Energia*

L'agricoltura e l'energia sono caratterizzati da uno stretto legame. L'agricoltura è infatti da sempre una fonte di energia, che a sua volta risulta essere un input chiave per la moderna produzione agricola.

- Produzione di bioenergie e fonti rinnovabili. Il comparto agricolo, attraverso i residui colturali o coltivazioni, le deiezioni zootecniche ed impianti veri e propri, può contribuire alla produzione di biomasse per riscaldamento e biocombustibili. Allo stesso tempo l'utilizzo di fonti rinnovabili quali acqua, aria, e luce (rispettivamente impianti idroelettrici, eolici e fotovoltaici) possono risultare fondamentali per il comparto agricolo in quanto permettono contemporaneamente risparmio energetico e anche la riduzione di emissioni inquinanti, quindi un'azione di mitigazione.
- Richiesta energetica. L'agricoltura tutta, in particolar modo quella intensiva, richiede l'utilizzo di input energetici (es. irrigazione, lavorazioni, fertilizzanti, ecc.). I cambiamenti climatici potranno accentuare tali esigenze sia direttamente (es. maggiore necessità di irrigare) che indirettamente (es. input per la produzione di bioenergia).
- Cambio destinazione produttiva. La produzione di bioenergie e quindi l'occupazione del suolo con colture atte alla produzione energetica potrà comportare una riduzione di suolo coltivabile e dunque, conseguentemente, una riduzione di spazi destinati a colture per l'alimentazione.

## *Zone costiere*

- Suolo. La perdita di suolo a causa di fenomeni di erosione e salinizzazione dovuti ai cambiamenti climatici potrà avere delle forti ripercussioni sulle produzioni agricole che frequentemente trovano in questi territori le condizioni ambientali ideali per l'ottenimento di coltivazioni di pregio (es. ortaggi, olivo, vite).
- Acqua. L'aumento della vulnerabilità del settore idrico andrà ad inficiare fortemente il settore agricolo, con problematiche che influenzeranno i due principali aspetti dell'elemento acqua: quantità e qualità. Con riferimento alla quantità, la riduzione della presenza di acqua potrebbe causare un aumento della competizione tra bisogni di acqua rurali e urbani, accentuando la crisi nelle aree rurali. Per quanto riguarda il secondo aspetto, si andrà incontro ad un impoverimento progressivo della qualità delle risorse

idriche, con fenomeni evidenti di salinizzazione ed inquinamento dovuto all'eccessivo sfruttamento.

## **Turismo**

- Agriturismo. L'attività degli agriturismi potrà essere influenzata dagli impatti dei cambiamenti climatici attraverso una possibile variazione dei prodotti agricoli forniti e del paesaggio rurale. Allo stesso tempo tale attività potrà avere un ruolo molto importante grazie ad un ridotto abbandono delle superfici agricole, sia per motivi estetici (la manutenzione del paesaggio e l'assunzione di caratteristiche riconoscitive peculiari permette allo stesso di acquisire un'attrattività maggiore) che economici (un paesaggio funzionale dal punto di vista produttivo permette l'incremento di reddito dovuto alla vendita ed al commercio di prodotti agricoli).
- Turismo enogastronomico. Anche lo sviluppo di questa tipologia di turismo potrà essere influenzata dagli impatti che i cambiamenti climatici potranno avere sull'agricoltura attraverso una variazione dell'offerta enologica (es. coltivazione e produzione di vini a partire da vitigni diversi meglio adatti alle nuove condizioni climatiche).

## **Insedimenti urbani**

- Orti cittadini. Nelle aree urbane soggette a temperature e a concentrazioni di gas serra sempre più alte la presenza di orti potrà avere, da un lato un ruolo di volano termico e di disinquinante, dall'altro di strumento di riduzione di emissione di gas serra attraverso la fornitura di prodotti freschi a chilometro zero. Occorre però prestare particolare attenzione al loro posizionamento lontano da fonti di inquinamento e alla loro gestione in termini di fertilizzazione e controllo fitosanitario.
- Difesa idrogeologica. Nell'ambito di buon mantenimento dello stato degli alvei fluviali la coltivazione lungo gli argini dei fiumi potrà rappresentare un ottimo strumento di prevenzione nei confronti del rischio di alluvione.
- Impronta ecologica. Sempre nell'ottica della riduzione delle emissioni di gas serra l'agricoltura urbana potrebbe condurre ad una forte riduzione dell'impronta ecologica delle aree urbane (trasporto, imballaggio, deposito, preparazione e smaltimento alimenti).

## **Patrimonio culturale**

- Strutture. Le variazioni di uso del suolo agricolo dovute ai cambiamenti climatici potranno avere delle ripercussioni sul mantenimento dei nuclei abitati rurali (edifici ad uso agricolo, frantoi, mulini, stalle, ecc. o ad uso abitativo e/o turistico).
- Paesaggi. L'esigenza di introdurre nuove colture o di sostituire quelle caratteristiche per rispondere ai cambiamenti climatici potrebbe avere dei forti impatti sul paesaggio alterando quelle peculiarità tipiche di molte aree rurali italiane (es. paesaggio toscano caratterizzato da viti e olivi).

- Dieta mediterranea. Le variazioni indotte dai cambiamenti climatici sulla disponibilità di produzioni agricole locali, basate su tradizioni alimentari e su valori culturali secolari, potrebbero avere delle ripercussioni sulla cosiddetta “dieta mediterranea” che incorpora saperi, sapori, elaborazioni, prodotti alimentari, coltivazioni e spazi sociali legati al territorio.

## Bibliografia

- Ainsworth, E.A., Rogers, A., Nelson, R., Long, S.P. (2004). Testing the source–sink hypothesis of down-regulation of photosynthesis in elevated CO<sub>2</sub> in the field with single gene substitutions in *Glycine max*, *Agr. Forest Meteorol.*, 122, 85–94.
- Ainsworth, E.A., Long, S.P. (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>, *New Phytol.* 165(2):351-71.
- Allard, V., Newton, P.C.D., Lieffering, M., Clark, H., Matthew, C., Soussana, J-F., Gray, Y.S. (2003). Nitrogen cycling in grazed pastures at elevated CO<sub>2</sub>: N returns by ruminants, *Global Change Biology* 9, 1731–1742.
- Audsley, E, Pearn, K.R, Simota, C., Cojocaru, G., Koutsidou, E., Rousevell, M.D.A., Trnka, M., Alexandrov, V. (2006). What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not?, *Environ Sci Policy* 9(2):148–162
- Bagella, S., Satta, A., Floris, I., Caria, M.C., Rossetti, I., Podani, J. (2014). Plant community composition and flowering phenology influence honeybee foraging in a Mediterranean sylvo-pastoral ecosystem, *Applied Vegetation Sciences* (in press).
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores, *Glob. Change Biol.*, 8, 1-16.
- Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, C.A.T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T., Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections, *Climatic Change*, 81, S71-S95.
- Bernacchi, C.J., Kimball, B.A., Quarles, D.R., Long, S.P., Ort, D.R. (2007). Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of [CO<sub>2</sub>] are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration, *Plant Physiology*, 143(1), 134-144.
- Bertora, C., Zavattaro, L., Sacco, D., Monaco S., Grignani C. (2009). Soil organic matter dynamics and losses in manured maize-based forage systems, *European Journal of Agronomy* 30: 177–186.
- Bindi, M., Olesen, J.E. (2010). The responses of agriculture in Europe to climate change, *Reg. Environ Change* 11 (Suppl 1): 151–158.
- Bindi, M., Ferrini, F., Miglietta, F. (1992). Climatic change and the shift in the cultivated area of olive trees, *Journal of Agricultura Mediterranea*, 22: 41-44.
- Bindi, M., Fibbi, L., Gozzini, B., Orlandini, S., Miglietta, F. (1996). Modeling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine, *Climate Research* 7.
- Bindi, M., Fibbi, L. (2000). Modelling climate change impacts at the site scale on grapevine, In: *Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe*, Downing TE, Harrison PA, Butterfield RE and Lonsdale KG (Eds.). Research Report no. 21, Environmental Change Unit, University of Oxford, UK, pp. 117–134.
- Bindi, M., Fibbi L., Miglietta, F. (2001). Free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO<sub>2</sub> concentrations, *Eur. J. Agron.* 14, 145-155.
- Bindi, M., Miglietta, F., Vaccai, F., Magliulo, E., Giuntoli, A. (2005). Chapter 6. Growth and quality responses of potato to elevated CO<sub>2</sub>. In: *Managed ecosystems and CO<sub>2</sub>: Case studies, processes and perspectives*, (Ed. Josef Nösberger), Ecological Studies of Springer, 105-120

- Bligh, J., Johnson, K.G. (1973). Glossary of terms for thermal physiology, *J Appl Physiol* 35: 941–61.
- Bregaglio, S., Donatelli, M., Confalonieri, R. (2013). Fungal infections of rice, wheat and grape in Europe in 2030-2050, *Agronomy For Sustainable Development* 33, 767-776.
- Carraro, C. (2008). Impatti dei cambiamenti climatici e strategie di adattamento in Italia. Una valutazione economica, Il Mulino, Bologna.
- Carozzi, M., Ferrara, R.M., Rana, G., Acutis, M. (2013). Evaluation of mitigation strategies to reduce ammonia losses from slurry fertilisation on arable lands, *Sc. of Tot. Envir* 449, 26–133.
- Castellini, M., Ventrella, D. (2012). Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy, *Soil and Tillage Research* 124: 47–56.
- Cannell, M.G.R., Thornley, J.H.M. (1998). N-poor ecosystems may respond more to elevated [CO<sub>2</sub>] than N-rich ones in the long term. A model analysis of grassland, *Global Change Biology* 4.
- Cannon, R.J.C. (1998). The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species, *Global Change Biol.* 4, 785-796.
- Castellari, S. (2012). L'Europa verso l'adattamento ai cambiamenti climatici, *Ecoscienza* N. 2.
- Christensen, J.H. and Christensen, O.B. (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate during this century, *Climatic Change*, 81, S7-S30.
- Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogee, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann and coauthors, (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003, *Nature*: 437, 529-534.
- Coakley, S.M. (1995). Biospheric change: Will it matter in plant pathology?, *Can. J. Plant Path.* 17, ( 2) 147–153.
- Colebrook, E., Wall, R. (2004). Ectoparasites of livestock in Europe and the Mediterranean region, *Vet. Parasitol.*, 120, 251-274.
- Conley, M.M., Kimball, B.A., Brooks, T. J., Pinter, P.J., Hunsaker, D. J., Wall, G. W., Adam, N. R., LaMorte, R. L., Matthias, A. D., Thompson, T. L., Leavitt, S. W., Ottman, M. J., Cousins, A. B., Triggs, J. M. (2001). CO<sub>2</sub> enrichment increases water-use efficiency in sorghum, *New Phytologist*, 151(2), 407–412.
- COPA-COGECA (2003). Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agriculture and forestry, Committee of Agricultural Organisations in the European Union General Committee for Agricultural Cooperation in the European Union, Brussels.
- de Arellano, J., Van Heerwaarden, C., Lelieveld, J. (2012). Increasing CO<sub>2</sub> suppresses boundary-layer clouds in temperate climates, *Nat Geosci* 5:701–704.
- DeJong, T.M. (2005). Using physiological concepts to understand early spring temperature effects on fruit growth and anticipating fruit size problems at harvest, *Summer fruit Australia Quarterly* 7, 10-13.
- Dinar, A., Mendelshon, R. (2011). *Handbook on Climate Change and Agriculture*, Edward Elgar Publishing, UK.
- Duce, P., Arca, A., Spano, D., Canu, S., Motroni, A., Antolini, G., Zinoni, F. (2005a). Climatic variability and climate risk in agriculture in the Mediterranean area, WMO-FAO-COST, Workshop on Climatic Analysis and Mapping for Agriculture, 14-17 June 2005, Bologna, Italy.
- Duce, P., Cesaraccio, C., Arca, A., Spano, D., Canu, S., Motroni, A., Antolini, G., Zinoni, F. (2005b). Un sistema di valutazione del rischio climatico in agricoltura, Workshop CLIMAGRI: Agricoltura e cambiamenti climatici. Analisi, incertezze, controversie, interdipendenze, Ancona, 27-28 giugno.

- Easterling, W.E., Aggarwal, P.K., Batima, P., Brander, K.M., Erda, L., Howden, S.M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J.-F., Schmidhuber, J., Tubiello, F.N. (2007). Food, fibre and forest products. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.
- Evans, L.G., Eckersten, H., Semenov, M.A., Porter, J.R. (1995). Effects on willow, In: *Climatic change and agriculture in Europe. Assessment of impacts and adaptations* (eds. P.A. Harrison, R.E. Butterfield & T.E. Downing). Research Report No. 9. Environmental Change Unit, University of Oxford. 1995.
- FAO (2006). EMPRES Fact sheet on bluetongue in Europe. [http://www.fao.org/docs/eims/upload/213041/EW\\_europe\\_sept06.pdf](http://www.fao.org/docs/eims/upload/213041/EW_europe_sept06.pdf).
- FAO (2010). *Climate-Smart agriculture, Policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation*, FAO, Roma.
- Ferrara, R.M., Trevisiol, P., Acutis, M., Rana, G., Richter, G.M., Baggaley, N. (2010). Topographic impacts on wheat yields under climate change: two contrasted case studies in Europe, *Applied and theoretical climatology*, 99, 1-2, 53-65
- Ferrise R., Moriondo M., Trombi G., Miglietta F., Bindi M. (2013). Climate change impacts on typical Mediterranean crops and evaluation of adaptation strategies to cope with. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean: Navarra A., Tubiana L. (eds.), Springer, Dordrecht, The Netherlands*. 2013.
- Galan, C., Garcia-Mozo, H., Vazquez, L., Ruiz, L., de la Guardia, C.D., Trigo, M.M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change, *Int. J. Biometeorol.* 49(3), 184–188.
- Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Anser, G.P., Cleveland, C.C., Green, Holland, E.A., Karl, D.M., Michaels, A.F., Porter, J.H., Townsend, A.R., Vörösmarty, C.J. (2004). Nitrogen cycles: past, present, and future, *Biogeochem.* 70, 153-226.
- Gaughan, J.B., Lacetera, N., Valtorta, S.E., Khalifa, H.H., Hahn, G.L., Mader, T.L. (2009). Response of domestic animals to climate challenges, In: *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*, Eds., Ebi K.L., Burton I., McGregor G.R., Springer-Verlag, Heidelberg (Germany), 131-170.
- Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo, M., LeSager, P., Tin, T. (2005). Climate Change Impacts in the Mediterranean Resulting from a 2°C Global Temperature Rise, WWF report, Gland Switzerland. Accessed 27.04.2009 at <http://assets.panda.org/downloads/medreportfinal8july05.pdf>.
- Gifford, R.M. (2004). The CO<sub>2</sub> fertilising effect – does it occur in the real world?, *New Phytol.*, 163, 221-225.
- Giorgi, F., Bi, X., Pal, J.S. (2004). Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071-2100), *Clim. Dyn.* 23, 839–858.
- Good, P., Barring, L., Giannakopoulos, C., Holt, T., Palutikof, J.P. (2006). Nonlinear regional relationships between climate extremes and annual mean temperatures in model projections for 1961-2099 over Europe, *Clim. Res.*, 13, 19-34.
- Gould, E.A., Higgs, S., Buckley, A., Gritsun, T.S. (2006). Potential arbovirus emergence and implications for the United Kingdom. *Emerg. Infect. Dis.*, 12, 549-555.
- Gutierrez, A.P., Ponti, L., d'Oultremont, T., Ellis, C.K. (2008). Climate change effects on poikilotherm tritrophic interactions, *Climatic Change* 87 (Suppl. 1): S167–S192, Mar.

- Harrison, P.A., Butterfield, R.E., Orr, J.L. (2000). Modelling climate change impacts on wheat, potato and grapevine in Europe, In: Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe, Downing TE, Harrison PA, Butterfield RE and Lonsdale KG (Eds.). Environmental Change Unit, University of Oxford, UK, pp. 367–390.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy Rao, P., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C., Rosegrant, M. (2010). Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems, *Science* 327 (5967), 822-825.
- Howden, S.M. (2002). Potential global change impacts on Australia's wheat cropping systems, In: O.C. Doering, J.C. Randolph, J. Southworth and R.A. Pfeifer (eds) Effects of climate change and variability on agricultural production systems. Kluwer Academic Publications, 219-247 pp.
- Iglesias A., Garrote L., Quiroga S. e Moneo M. (2009). Impacts of climate change in agriculture in Europe, PESETA FP6 project, <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2900>
- Johnson, H.D. (1987). Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production, Pages 35-57 in Bioclimatology and Adaptation of Livestock. Johnson HD, ed. Elsevier Science Publisher, Amsterdam, The Netherlands.
- Jones, M.B., Jongen, M., Doyle, T. (1996). Effects of elevated carbon dioxide concentrations on agricultural grassland production, *Agricultural and Forest Meteorology* 79.
- Jones, P.D., Lister, D.H., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D. (2003). Future climate impact on the productivity of sugar beet *Beta vulgaris* L. in Europe, *Climatic Change*, 58, 93-108.
- Jones G.V., White, M.A., Cooper, O.R., Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality, *Climatic Change* 73(3), 319–343.
- Kjellström, E. (2004). Recent and future signatures of climate change in Europe, *Ambio*, 33:193–298.
- Kenny, G.J., Harrison, P.A. (1992). The effects of climate variability and change on grape suitability in Europe, *Journal of Wine Research* 3, 1992.
- Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M. (2002). Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Advances in Agronomy*, 77: 293-368
- Korner, C. (1996). The response of complex multispecies systems to elevated CO<sub>2</sub>, In: Global change and terrestrial ecosystems (eds. B. Walker and W. Steffen). Cambridge University Press. 1996.
- Kovats, R.S., Campbell-Lendrum, D.H., McMichael, A.J., Woodward, A., Cox, J.S. (2001). Early effects of climate change: do they include changes in vectorborne disease?, *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, 356, 1057-1068.
- Kuhn, K.G., Campbell-Lendrum, D.H., Davies, C.R. (2004). Tropical Diseases in Europe? How we can learn from the past to predict the future, *EpiNorth*, 5, 6-13.
- Lacetera, N., Bernabucci, U., Ronchi, B., Nardone, A. (2003). Physiological and productive consequences of heat stress. The case of dairy ruminants, In: Interactions between climate and animal production. Wageningen Academic Publishers - EAAP Technic Ser 7: 45-59
- Lagomarsino, A., Benedetti, A., Marinari, S., Pompili, L., Moscatelli, M.C., Roggero, P.P., Lai, R., Ledda, L., Grego, S. (2011). Soil organic C variability and microbial functions in a Mediterranean agro-forest ecosystem, *Biology and Fertility of Soils*, vol. 47 (3); p. 283-291.
- Lai, R., Seddaiu, G., Gennaro, L., Roggero, P.P. (2012). Effects of N fertilizer sources and temperature on soil CO<sub>2</sub> efflux in Italian ryegrass crop under Mediterranean conditions, *Italian Journal of Agronomy* 7, 196-201.

- Lobell, D.B., Field, C.B., Cahill, K.N., Bonfils C. (2006). Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties, *Agricultural and Forest Meteorology*, 141, 208–218.
- Long, S.P., Ainsworth, E.A., Leakey, A.D.B., Nosberger, J., Ort, D.R. (2006). Food for thought: lower than expected yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations, *Science* 312(5782), 1918-1921.
- Long, S.P., Ainsworth, E.A., Rogers, A., Ort, D.R. (2004). Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future, *Ann. Rev. Plant Biol.* 55, 591-628.
- Magliulo V., Bindi, M., Rana, G. (2003). Water use of irrigated potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under free air carbon dioxide enrichment in central Italy, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. vol. 97, pp. 65-80.
- Manderscheid, R., Weigel, H. (2007). Drought stress effects on wheat are mitigated by atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment, *Agronomy for Sustainable Development* 27, 79-87.
- Maracchi, G., Sirotenko, O., Bindi, M. (2005). Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe, *Climatic Change* 70, 117-135.
- MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) (2010). *Strategia Nazionale per la Biodiversità*. MATTM - Roma.
- Meehl, G.A., Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st Century, *Science*, 305, 994-997.
- Mellor, P.S., Boorman, J. (1995). The transmission and geographical spread of African horse sickness and bluetongue viruses, *Ann Trop Med Parasitol* 89, 1-15.
- Mellor, P.S., Wittmann, E.J. (2002). Bluetongue virus in the Mediterranean Basin 1998-2001, *Vet. J.*, 164, 20-37.
- Mereu, V., Iocola, I., Spano, D., Murgia, V., Duce, P., Cesaraccio, C., Tubiello, F.N., Fischer, G. (2008). Land suitability and potential yield variations of wheat and olive crops determined by climate change in Italy, *Italian Journal of Agronomy*, Vol. 3, No. 3 supplement, 2008, pp. 797 - 798.
- Mereu, V., Cesaraccio, C., Dubrovsky, M., Spano, D., Carboni, G., Duce, P. (2011). Impacts of Climate Change on Durum Wheat Production in Sardinia (Italy), *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 13, EGU2011-9242, 2011- EGU General Assembly 2011.
- Miglietta, F., Magliulo, V., Bindi, M., Cerio, L., Vaccari, F. P., Loduca, V. and Peressotti, A. (1998). Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment of potato (*Solanum tuberosum* L.): development, growth and yield, *Global Change Biology*, 4, 163–172.
- MiPAAF (2010). Piano strategico nazionale per lo sviluppo rurale. MiPAAF, 21 giugno 2010, 172-173.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A., Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution, *Agricultural Water Management* 97, 528-533.
- Moriondo, M., Giannakopoulos, C., Bindi, M. (2008). Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation, *Climatic Change*, 104, 679-701.
- Moriondo, M., Bindi, M., Fagarazzi, C., Ferrise, R., Trombi, G. (2011). Framework for high-resolution climate change impact assessment on grapevines at a regional scale, *Reg. ENVIRON CHANGE*, 11: 553-567
- Neilson, R., Boag, B. (1996). The predicted impact of possible climatic change on virus-vector nematodes in Great Britain. *European Journal of Plant Pathology* 102, 1996.
- OECD-Organisation for Economic Cooperation and Development. (2010). *Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation, Mitigation*, OECD, Parigi.

- Olesen, J.E., Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy, *European Journal of Agronomy* 16, 239-262.
- Olesen, J.E., Carter, T.R., Diaz-Ambrona, C.H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Minguuez, M.I., Morales, P., Palutikof, J., Quemada, M., Ruiz-Ramos, M., Rubæk, G., Sau, F., Smith, B., Sykes, M. (2007). Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and ecosystems based on scenarios from regional climate models, *Clim. Change* 81 (suppl. 1), 123-143.
- Pan, G., Smith, P., Pan, W. (2009). The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129, 344-348.
- Patterson, D.T. (1995). Weeds in a changing climate, *Weed Sci.* 43, 685-701.
- Patz, J.A., Olson, S.H. (2006). Malaria risk and temperature: Influences from global climate change and local land use practices, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 5635-5636.
- Pearson, S., Wheeler, T.R., Hadley, P., Wheldon, A.E. (1997). A validated model to predict the effects of environment on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.): implications for climate change, *Journal of Horticultural Science*. 72, 1997.
- Perego, A., Basile, A., Bonfante, A., De Mascellis, R., Terribile, F., Brenna, S., Acutis, M. (2012). Nitrate leaching under maize cropping systems in Po Valley (Italy), *Agric., Ecosyst. and Envir.* 147, 57-65.
- PICCMAT - Policy Incentives for Climate Change Mitigation Agricultural Techniques. (2007). Deliverable D3: Practices description and analysis report.
- Porter, J.R., Gawith, M. (1999). Temperatures and the growth and development of wheat: a review, *Eur. J. Agron.* 10, 23-36.
- Porter J.R., Semenov, M.A. (2005). Crop responses to climatic variation, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lon. B* 360, 2021-2035.
- Purse, B.V., Mellor, P.S., Rogers, D.J., Samuel, A.R., Mertens, P.P., Baylis, M. (2005). Climate change and the recent emergence of bluetongue in Europe, *Nat Rev Microbiol* 2005;3:171-81.
- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Doscher, R., Graham, L. P., Jones, C., Meier, H. E. M., Samuelsson, P., Wille, U. (2004). European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, *Clim. Dyn.* 22, 13-31.
- Regione Toscana Assessorato all' Ambiente e Energia. EMERGENZA IDRICA 2012. Relazione sull'evoluzione dello stato di crisi idrica ed idropotabile al 15 Ottobre 2012.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O., Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses, *Eur. J. Agron.* 32, 91-102.
- Reiter, P., Thomas, C.J., Atkinson, P.M., Hay, S.I., Randolph, S.E., Rogers, D.J., Shanks, G.D., Snow, R.W., Spielman, A.J. (2004). Global warming and malaria: a call for accuracy, *Lancet Infect. Dis.*, 4, 323-324.
- Richter, G.M., Qi, A., Semenov, M.A., Jaggard K.W. (2006). Modelling the variability of UK sugar beet yields under climate change and husbandry adaptations, *Soil Use Manag.* 22, 39-47.
- Riedo, M., Grub, A., Rosset, M., Fuhrer, J. (1998). A pasture simulation model for dry matter production, and fluxes of carbon, nitrogen, water and energy, *Ecol. Model.*, 105, pp. 141-183.
- Ringler, C., Bryan, E., Biswas, A., Cline, S.A. (2010). Water and food security under global change. Pages 3-15 in *Global Change: Impacts on Water and Food Security*, Ringler et al. (eds) Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany Purse et al. 2005; Patz and Olson 2006.

- Roggero, P.P., Bagella, S., Farina, R. (2002). Un Archivio dati di Indici specifici per la valutazione integrata del valore pastorale, *Rivista di agronomia*, Vol. 36 (2), p. 149-156. ISSN 0035-6034.
- Rossi, F., Spano, D., Orlandini, S., Maracchi, G. (2007). Gli Adattamenti degli impianti arborei a nuovi scenari climatici, In: Sansavini S. (eds) *Nuove frontiere dell'arboricoltura italiana*. Oasi Alberto Perdisa, pp. 127- 142.
- Rounsevell, M.D.A. (1999). Spatial modelling at the regional scale of the response and adaptation of soils and land use systems to climate change: the IMPEL project, Research report to the Commission of the European Communities, Environment and Climate Programme, Framework IV 1999.
- Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R., Carter, T.R. (2005). Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 107, 117-135.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araújo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaanpää, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmidt, C., Smith P., Tuck, G. (2006). A coherent set of future land use change scenarios for Europe, *Agr. Ecosyst. Environ.* 114, 57-68.
- Rozema, J. (1993). Plant responses to atmospheric carbon dioxide enrichment: interactions with some soil and atmospheric conditions, *Vegetation*, 104/105.
- RRN - Rete Rurale Nazionale. (2010). Le nuove sfide della PAC e le misure di rilancio dell'economia nei programmi di Sviluppo Rurale 2007-2013. Analisi delle scelte dei PSR nel quadro dell'Helth Check e del Recovery Plan, Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, Rete Rurale Nazionale, Roma, 2010, <http://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/3214>.
- Salinari, F., Giosue, S., Tubiello, F.N., Rettori, A., Rossi, V., Spanna, F., Rosenzweig, C., Gullino, M.L. (2006). Downy mildew epidemics on grapevine under climate change, *Global Change Biol.*, 12, 1-9.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A., Appenzeller, C. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves, *Nature*, 427, 332-336.
- Segnalini, M., Nardone, A., Bernabucci, U., Vitali, A., Ronchi, B., Lacetera, N. (2011). Dynamics of the Temperature-Humidity Index in the Mediterranean Basin, *Int. J. Biometeorol.* 55, 253-263.
- Seligman, N.G., Sinclair, T.R. (1995). Global environment change and simulated forage quality of wheat. II. Water and nitrogen stress, *Field Crops Research* 40.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H. H., Kumar, P., Mccarl, B., Ogle, S., O'mara, F., Rice, C., Scholes, R. J., Sirotenko, O., Howden, M., Mcallister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S. (2007). Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118, 6-28.
- Smith, P., Olesen, J.E. (2010). Synergies between the mitigation of, and adaptation to climate change in agriculture, *Journal of Agricultural Science* 148 (5), 543-552.
- Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Ewert, F. (2005). Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990-2080, *Global Change Biology* 11, 2141-2152.
- Solinas, S., Seddaiu, G., Roggero, P.P. (2011). Politiche agro-energetiche in Sardegna, *Agriregionieuropa*, 7 (26), 1-7., [http://agriregionieuropa.univpm.it/pdf.php?id\\_articolo=809](http://agriregionieuropa.univpm.it/pdf.php?id_articolo=809).
- Southworth, J., Randolph, J.C., Habeck, M., Doering, O.C., Pfeifer, R.A., Rao, D.G., Johnston, J.J. (2000). Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States, *Agric., Ecosys. & Environ.*, 82, 139-158.

- Southwick, S.M., Uyemoto, J. (1999). Cherry crinkle-leaf and deep suture disorders, Ed. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources.
- Spano, D., Mancosu, N., Mereu, V., Mereu, S., Orang, M., Sarreshteh, S., Snyder, R.L. (2012). Assessment of agricultural water demand using SIMETAW, Geophysical Research Abstracts. Vol. 14, EGU2012-3406. EGU General Assembly 2012.
- Sutherst, R.W. (2004). Global change and human vulnerability to vector-borne diseases, *Clin. Microb. Rev.*, 17, 136–173.
- Thornley, J.H.M Cannell, M.G.R. (1997). Temperate grassland responses to climate change: an analysis using the Hurley pasture model, *Annals of Botany* 80.
- Topp, C.F.E., Doyle, C.J. (1996a). Simulating the impact of global warming on milk and forage production in Scotland: 1. The effects on dry-matter yield of grass and grass-while clover swards, *Agricultural Systems* 52.
- Trnka, M., Dubrovsky, M., Zalud, Z. (2004). Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the czech republic, *Climatic change*, 64(1-2): 227-255.
- Tubiello, F., Donatelli, M., Rosenzweig, C., Stockle, C.O. (2000). Effects of climate change and elevated CO<sub>2</sub> on cropping systems: model predictions at two Italian locations, *European Journal of Agronomy* 13, 179–189.
- Tubiello, F.N., Amthor, J.S., Boote, K.J., Donatelli, M., Easterling, W., Fischer, G., Gifford, R.M., Howden, M., Reilly, J., Rosenzweig, C. (2007a). Crop response to elevated CO<sub>2</sub> and world food supply, A comment on 'Food for Thought ...' by Long et al., *Science* 312: 1918–1921, 2006. *European Journal of Agronomy* 26,215–233.
- Vakali, C., Zaller, J.G., Köpke, U. (2011). Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organic farming, *Soil and Tillage Research* 111,133–141.
- Van Passel, S., Massetti E., Mendelsohn, R. (2012). A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on European Agriculture, FEEM note di lavoro 83.2012.
- Ventrella, D., Charfeddine, M., Moriondo, M., Rinaldi, M. Bindi, M. (2012). Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization, *Regional Environmental Change* , 12, 407-419.
- Vitali, A., Segnalini, M., Bertocchi, L., Bernabucci, U., Nardone, A., Lacetera, L. (2009). Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature humidity index in dairy cows, *J Dairy Sci* 92, 3781-3790
- Webb L. B., Whetton P.H., Barlow E.W.R. (2008). Climate change and winegrape quality in Australia, *Clim. Res.* Vol. 36: 99–111.
- Webb, L.B., Whetton P.H., Barlow E.W.R. (2007). Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia, *Aust. J. Grape Wine Res.* 13(3), 165–175.
- Wheeler, T.R., Ellis, R.H., Hadley, P., Morison, J.I.L., Batts, G.R., Daymond, A.J. (1996). Assessing the effects of climate change on field crop production, *Aspects of Applied Biology* 45.
- White, M.A., Diffenbaugh, N.S., Jones, G.V., Pal, J.S., Giorgi, F. (2006). Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21<sup>st</sup> century, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 103(30), 11217–11222.
- Wittmann, E.J., Baylis, M. (2000). Effects on *Culicoides*-transmitted viruses and implications for the UK, *Vet. J.*, 160, 107-117.
- World Bank (2008). Agriculture for development, Washington D.C., The World Bank.
- World Bank (2010). World Development Report 2010. Development and Climate Change, The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington D.C.

Wurr, D.C.E., Jane, Fellows, R., Suckling, R.F. (1988). Crop continuity and prediction of maturity in the crisp lettuce variety Saladin, *The Journal of Agricultural Science*, 111, pp 481-486.

Xoplaki, E., Luterbacher, J., Paeth, H., Dietrich, D., Steiner, N., Grosjean, M., Wanner, H. (2005). European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium, *Geophys Res Lett* 32 L15713.

Yano, T., Aydin, M., Haraguchi, T. (2007). Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a mediterranean environment of Turkey, *Sensors* 7, 2297-2315.

Ziska, L.H., Bunce, J.A. (1997). Influence of increasing carbon dioxide concentration on the photosynthetic and growth stimulation of selected C4 crops and weeds, *Photosyn. Res.* 54, 199-208.

# Pesca marittima

## Sintesi

La pesca nazionale contribuisce per un quinto circa, in valore, alla richiesta interna di prodotti ittici ed in termini economici è la più rilevante in ambito mediterraneo. In Italia la pesca ha notevole importanza in termini storici, culturali e di gestione dell'ambiente marino, per cui la natura dei futuri impatti dei cambiamenti climatici su questo settore merita di essere analizzata con attenzione.

Gran parte degli stock ittici di interesse commerciale sono sovrasfruttati, ed in molti casi può essere difficile distinguere l'effetto dell'eccessiva pesca dagli impatti dei cambiamenti climatici. Inoltre, sono ancora pochi gli studi che hanno affrontato questa tematica, per cui l'analisi dei possibili impatti dei cambiamenti climatici sulla pesca in Italia può essere, a nostro parere, solo di tipo prevalentemente descrittivo.

Nonostante le limitazioni imposte da questo tipo di approccio, dall'analisi della bibliografia si può ipotizzare che i cambiamenti climatici determineranno un generale calo della produttività degli stock ittici, le cui cause sono molteplici e complesse (incremento del metabolismo basale degli organismi per effetto delle maggiori temperature, maggiore stratificazione delle masse d'acqua e riduzione nei flussi dei nutrienti, riduzione del livello di ossigenazione e di pH delle acque), per cui sarà di fondamentale importanza ridurre il tasso di sfruttamento delle risorse ittiche almeno fino ad un livello non superiore al rispettivo "Massimo Rendimento Sostenibile"<sup>191</sup> per rendere le popolazioni più resilienti ai cambiamenti climatici.

Appaiono anche probabili sensibili mutamenti nella composizione del pescato, con conseguente presumibile negativo impatto sul settore perché relativamente poche specie sono apprezzate dal mercato.

## Introduzione

In Italia la pesca contribuisce per circa un quinto alla richiesta interna di prodotti ittici e, in termini economici, risulta la più produttiva in ambito mediterraneo. Oltre ad avere un discreto ruolo produttivo ed occupazionale in alcune Regioni (soprattutto in Sicilia, Puglia, Veneto e Marche), la pesca marittima è importante per le positive interazioni con il turismo, per il controllo di ampi tratti di mare antistanti le nostre coste, per preservare un cetto professionale con competenze nautiche, per ragioni storiche e culturali. Nell'ambito di una Strategia Nazionale di Adattamento ai

---

<sup>191</sup> Ossia al massimo livello di catture che le singole popolazioni possono teoricamente sostenere, mantenendo indefinitamente nel tempo la medesima struttura in termini numerici e di composizione di taglia/età.

cambiamenti climatici, appare pertanto opportuno valutare gli impatti che tali cambiamenti determineranno su codesto particolare settore produttivo.

A livello comunitario, l'attenzione per gli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente marino è confermata anche dalla Direttiva Quadro 2008/56/CE, nota come "Strategia Marina" (Parlamento e Commissione Europea, 2008), in cui si delineano una serie di interventi per giungere, nelle acque marine sotto giurisdizione degli Stati UE, ad una situazione di "Buono Stato Ambientale"<sup>192</sup>. Tale obiettivo deve essere perseguito entro il 2020 e dovrà essere rimodulato ogni 6 anni, anche in funzione degli eventuali cambiamenti climatici. Da tutto ciò, risulta quindi chiara l'importanza che verranno ad assumere tutte le strategie gestionali da implementarsi nell'ambiente marino, comprese quelle relative alla gestione delle attività di pesca.

In proposito è da rilevare che nel Libro Verde sulla riforma della Politica Comune della Pesca (PCP) fu riconosciuto, per la prima volta ad un elevato livello politico ed amministrativo, che "Il cambiamento climatico sta già producendo un impatto sui mari europei, con ripercussioni sull'abbondanza e la distribuzione degli stock ittici... la (nuova) PCP deve giocare un ruolo nel facilitare gli sforzi di adattamento riferiti a questi impatti sull'ambiente marino. Si tratta di uno stress aggiuntivo sull'ecosistema marino che rende la diminuzione della pressione di pesca ad un livello sostenibile ancora più urgente" (Commissione Comunità Europee, 2009).

Riprendendo tutto ciò, in un recente documento della Commissione UE (European Commission, 2013) è stato comunicato ai governi ed alle parti sociali che, nell'esame dei futuri Piani Operativi per la gestione pluriennale del settore pesca nei singoli Stati membri, si terrà massimo conto della necessità che i piani stessi prevedano i probabili impatti dei cambiamenti climatici sul settore e sulle risorse sfruttate. Inoltre, si preannuncia lo sviluppo di una serie di appositi strumenti per valutare la rilevanza delle misure di mitigazione degli impatti e di adattamento della pesca ai nuovi scenari climatici così da assegnare in modo mirato i fondi comunitari (futuri fondi FEAMP<sup>193</sup>). Da quanto esposto, risulta quindi evidente come l'UE consideri di fondamentale importanza la corretta gestione della pesca, nell'ambito di politiche volte sia alla conservazione dello stato ecologico dei mari, sia al raggiungimento di un buon grado di efficienza della flotta e come sia quindi necessario prevedere i futuri impatti dei cambiamenti climatici sul settore.

L'influenza dei cambiamenti climatici sulla pesca è il frutto di interazioni tra fattori ambientali, fattori legati allo stato di sfruttamento delle risorse e di tipo economico, che oltre ad essere complessi, hanno interazioni e sinergie ancora non completamente studiati (Daw et al., 2009). Questa complessità ci ha indotto ad affrontare il tema dell'influenza dei cambiamenti climatici sulla pesca italiana in termini descrittivi, mirando più ad individuare la natura dei mutamenti bio-ecologici che potrebbero verificarsi ed i loro impatti, piuttosto che quantificare l'entità finale di questi impatti in termini di effetti sulle catture e/o sul valore dello sbarcato annuo.

---

<sup>192</sup> Good Environmental Status – GES, <http://ec.europa.eu/environment/water/marine/ges.htm>.

<sup>193</sup> Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca. Il FEAMP è il nuovo fondo proposto per la politica marittima e della pesca dell'UE per il periodo 2014-2020.

## Caratteristiche generali della pesca in Italia

Il Mediterraneo è un mare oligotrofico<sup>194</sup>, generalmente poco pescoso, quindi la pesca ha discreta rilevanza produttiva ed economica solo in alcuni bacini, prevalentemente in prossimità delle coste settentrionali. L'attività di pesca è esercitata, quasi esclusivamente, fino ad una profondità massima di 600-800 m ed i cicli biologici delle principali specie commerciali si svolgono, salvo alcune eccezioni (ad esempio, i gamberi rossi - *Aristeus antennatus* Risso - cfr. Sardà et al., 2004), entro questa batimetrica. Inoltre, alcune specie di grande rilevanza economica, quali ad esempio alici, seppie e triglie, sono distribuite nella parte interna della piattaforma continentale, ossia in aree con profondità non superiori ai 100-150 metri.

La limitata estensione delle piattaforme continentali lungo gran parte delle coste del Mediterraneo, la presenza di soglie nel fondale che separano le masse d'acqua profonde, e la presenza di bacini semi-chiusi sono tutti fattori che tendono ad isolare le popolazioni, riducendo il rimescolamento tra gli individui e/o il flusso genetico. Tutto ciò comporta che esse debbano essere considerate come stock distinti, sia in termini di gestione che per il monitoraggio delle catture.

Proprio muovendo da tali considerazioni, il GFCM<sup>195</sup> (General Fisheries Commission for the Mediterranean), organismo FAO, ha istituito delle sotto-aree geografiche (Geographic Sub-Areas - GSA<sup>196</sup>), che fungono da unità gestionali per le risorse alieutiche<sup>197</sup>. Le GSA che si sviluppano lungo le coste italiane sono 7 e comprendono: le GSA 9 e 10 (rispettivamente, mare Ligure, Tirreno settentrionale e centro meridionale), la GSA 11 (mari attorno alla Sardegna), la GSA 16 (parte settentrionale del canale di Sicilia), la GSA 19 (mar Ionio settentrionale) e le GSA 17 e 18 (mar Adriatico centro-settentrionale e meridionale, rispettivamente).

In termini economici, la produzione ittica italiana, derivante da pesca e acquacoltura, è ai primissimi posti nell'ambito degli Stati mediterranei e anche dell'Unione Europea, però in biomassa totale essa costituisce poco meno dello 0,5% della produzione mondiale di risorse acquatiche, secondo le stime della FAO (escludendo la raccolta di macroalghe diffusa in diverse zone extraeuropee) in anni recenti (FAO, 2010). Conseguentemente, circa il 70% del consumo nazionale di prodotti ittici è assicurato da un imponente flusso dall'estero, tanto che, nel 2008, il mercato italiano risultò il quinto, su scala mondiale, per il valore delle importazioni nette. Oltre alla forte dipendenza dalle importazioni, tanto da altri paesi UE che da altre aree geografiche, il tratto saliente della produzione ittica italiana è dato dal notevole ruolo dei molluschi bivalvi (mitili e vongole), provenienti sia della pesca che dall'acquacoltura (talvolta i confini fra questi settori non sono chiari, come ad esempio avviene per le "vongole veraci filippine", giacché possono esservi forme di pesca in prossimità dei siti affidati in concessione agli allevatori).

---

<sup>194</sup> Ambiente acquatico caratterizzato da povertà di sostanze nutritive disciolte.

<sup>195</sup> Commissione Generale della Pesca per il Mediterraneo, <http://www.gfcm.org/gfcm/en>.

<sup>196</sup> GSA: <http://www.gfcm.org/gfcm/topic/16162/en>.

<sup>197</sup> Relativo alla pesca, ovvero l'insieme delle tecniche che, nel loro complesso, costituiscono la pratica della pesca come arte.

In base alle statistiche dell'ultimo decennio, le regioni italiane in cui è più elevato il valore economico delle produzioni congiunte di pesca ed acquacoltura sono Sicilia, Puglia, Veneto e Marche. In Tabella 1.13 sono riportate stime approssimate dei principali descrittori socio economici della pesca in Italia al 2009, da cui emerge una produzione lorda vendibile di poco più di 1 miliardo di Euro all'anno all'origine che, considerando il valore aggiunto, comporta un giro d'affari di circa 2 miliardi all'anno. La limitata (in relazione ad esempio all'agricoltura) dimensione economica del settore, non deve tuttavia portare a sottostimare l'importanza sociale e culturale di un'attività profondamente radicata nell'identità nazionale, che ha anche positive ricadute su altri settori (ad esempio il turismo). Il settore, infatti, impiega direttamente circa 30.000 pescatori, a cui si aggiungono circa 10.000 unità operanti nel settore della commercializzazione del prodotto ittico.

<b>N.ro tot. barche</b>	<b>Invest. flotta, mln. Euro</b>	<b>Valore flotta, mln. Euro</b>	<b>N.ro tot. pescat.</b>	<b>PLV annua, mln. Euro</b>	<b>Spese prod., mln. Euro</b>	<b>Valore agg., mln. Euro</b>	<b>Retribu. mln. Euro</b>	<b>Ammort., mln. Euro</b>	<b>PLV finale, mln. Euro</b>	<b>*Addetti aggiunti</b>
13.300	3.000	1.800	29.000	1.180	310	870	315	100	2.125	ca. 10.000

*Tabella 1.13: Quadro economico della pesca italiana nel 2009 (Fonte: nostre elaborazioni da IREPA, 2010, con alcuni valori ricavati da antecedenti rapporti dalla stessa fonte). Le stime non sono comprensive dell'apporto economico dell'acquacoltura e delle importazioni ittiche. PLV = Produzione Lorda Vendibile; (\*) Stima relativa alla rete di commercializzazione.*

## **Impatti dei cambiamenti climatici sulla pesca marittima e vulnerabilità del settore**

Negli ultimi anni è stato evidenziato un progressivo innalzamento delle temperature medie delle acque mediterranee, così come in molte altre parti del mondo, in particolare in quelle situate a minore profondità, con concomitanti mutamenti nella distribuzione geografica e batimetrica di molte specie animali e/o vegetali, comprese quelle oggetto di pesca.

Oltre a determinare modifiche più o meno marcate nella composizione specifica delle risorse localmente pescabili, il riscaldamento delle acque influenza, tramite meccanismi diversi, vari aspetti della fisiologia e fenologia degli organismi, la dispersione/circolazione dei nutrienti necessari per la fotosintesi, le relazioni interspecifiche, le reti trofiche e, in sostanza, il funzionamento degli interi ecosistemi marini.

Ovviamente, questi mutamenti dei processi ecologici hanno forte influenza, ed in futuro sempre più ne avranno, sulla produttività delle popolazioni oggetto di pesca e conseguentemente sulla loro disponibilità in termini di catture.

Collateralmente, gli effetti dei previsti cambiamenti climatici nei prossimi decenni, avranno un sensibile impatto anche sulla sicurezza e sul benessere fisico dei pescatori, a causa dell'intensificarsi degli eventi atmosferici estremi quali ad esempio burrasche e ondate di calore.

### ***Natura dei possibili impatti dei cambiamenti climatici sulle popolazioni oggetto di pesca***

I possibili impatti dei cambiamenti climatici sulle specie pescate possono essere suddivisi in:

- i) effetti diretti dovuti ai mutamenti idrogeologici, fisici e biologici;
- ii) effetti interspecifici indiretti tra specie;
- iii) effetti intraspecifici diretti sulle popolazioni pescate.

I molteplici effetti dei cambiamenti climatici previsti nei prossimi decenni (o più oltre nel tempo) sono sintetizzati nella Tabella 2.13.

Se si considerano gli ultimi decenni, le rilevazioni da satellite evidenziano come la temperatura superficiale del mare (Sea Surface Temperature, SST) sia aumentata di 0,03°C/anno nel Mediterraneo occidentale, con l'incremento più consistente, relativo al mese di giugno e pari a 0,16°C/anno, rilevato nel mar Ligure, Tirreno ed Adriatico (Nykjaer, 2009). Rilevazioni effettuate in profondità (300-800 m), confermano il fenomeno di riscaldamento in atto nelle acque mediterranee e la sua accelerazione in tempi recenti (cfr. Artale et al., 2009).

Si può prevedere che l'aumento di temperatura comporterà una maggiore stratificazione delle acque, con conseguente lento rallentamento dell'afflusso dagli strati inferiori dei nutrienti minerali, in particolare nitrati e fosfati, necessari agli organismi vegetali per produrre nuova biomassa. Uno dei possibili scenari, quindi, prevede che la produttività fitoplanctonica diminuisca (Doney et al., 2012), anche se la letteratura non è univoca su questo risultato (Sarmiento et al., 2004). In aggiunta a ciò, nelle zone costiere prossime alla foce di grandi fiumi (quali ad esempio il Po, per le acque italiane), le quali sono in ambito mediterraneo le più idonee alla pesca per effetto degli apporti in termini di fosfati, nitrati e di materia organica in sospensione, si potrebbe registrare una contrazione della produttività primaria a causa del previsto calo delle precipitazioni (in Italia nel range del 10-20% nei prossimi decenni in confronto alle medie annue del periodo 1970-90; Gualdi et al., 2009). Inoltre, anche uno sfasamento del picco stagionale delle precipitazioni comporterebbe l'arrivo di nutrienti in stagioni, ad esempio in inverno, nelle quali la temperatura potrebbe essere un fattore limitante causando così un'ulteriore diminuzione della produttività primaria (Cossarini et al., 2008).

Il previsto incremento della temperatura delle masse d'acqua, comporterà uno spostamento latitudinale degli areali di molte specie di interesse commerciale, in quanto gli individui tendono a muoversi, attivamente e/o passivamente, verso le zone corrispondenti al loro *optimum* termico (Pörtner e Peck, 2010). Tale fenomeno è stato già osservato, ad esempio, per gli stock dell'Atlantico

nord-orientale (Pinnegar, 2012) e per molte specie del Mediterraneo (Ben Rais Lasram e Mouillot, 2009; Zenetos et al., 2012).

Un altro importante aspetto da considerare nei futuri scenari climatici è la tendenza alla riduzione delle taglie delle specie marine, come dimostrato già da molto tempo per la fauna ittica delle zone tropicali, caratterizzata da individui che raggiungono dimensioni relativamente ridotte rispetto a quelle di latitudini più elevate (fenomeno dovuto alla diversa velocità con cui aumentano, al crescere della taglia degli individui, il tasso di consumo e di assunzione di ossigeno disciolto (Pauly, 1998).

I possibili effetti della diminuzione del pH delle acque marine (stimata in circa 0,3-0,4 unità entro la fine del secolo) per effetto dell'aumento della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> e, conseguentemente, dell'acido carbonico disciolto (Caldeira e Wickett, 2003; Doney et al., 2009) costituiscono un aspetto del riscaldamento globale finora poco studiato. L'acidificazione potrebbe avere notevole impatto sugli animali e le macroalghe marine che presentano parti del corpo calcificate (ad es. coralli ermatipici, cosiddette "alghe coralline", echinodermi, molluschi gasteropodi e bivalvi), in quanto il processo di calcificazione potrebbe risultare rallentato. In particolare, gli stadi larvali paiono, a causa della ridotta dimensione corporea, più vulnerabili, con possibili incrementi di mortalità, a livelli tali da determinare anche la totale scomparsa di specie o di interi gruppi sistematici (Dupont et al., 2010a), con conseguenti alterazioni delle reti trofiche (ad esempio i coccolitoforidi<sup>198</sup>, importante componente del fitoplancton mediterraneo, Ziveri et al., 2008).

Con riferimento alla pesca, tutto ciò potrebbe influenzare negativamente la consistenza delle popolazioni di alcune importanti specie commerciali di gasteropodi, bivalvi o crostacei decapodi. Dati relativi alla sensibilità degli stadi larvali sono disponibili, ad esempio, per alcune specie di mitili e di ostriche (Talmage e Gliber, 2010; Gazeau et al., 2010). Tuttavia, una review di Dupont e Thorndyke (2008) riguardante differenti *phyla* zoologici, ha evidenziato nette differenze interspecifiche, "feedback positivi" nel corso dello sviluppo e selezione di genotipi resistenti, anche a modeste riduzioni di pH. Per gli echinodermi, considerati particolarmente vulnerabili alla riduzione di pH, è stata ipotizzata una discreta capacità adattativa ai livelli di pH previsti alla fine del secolo (Dupont et al., 2010b).

Ci si attende inoltre che i cambiamenti climatici possano modificare la circolazione delle correnti nel Mar Mediterraneo; ciò potrebbe avere un ruolo importante nella diffusione di specie al di fuori dell'usuale areale di distribuzione (con eventuali impatti sulle popolazioni di specie native). A tal proposito, Bianchi (2007) ipotizzò che un'alterazione della circolazione del Transiente del Mediterraneo Orientale<sup>199</sup>, avvenuta nel periodo 1992-98, che provocò un'inversione delle correnti superficiali del mar Ionio, potrebbe aver facilitato la diffusione verso nord di alcune specie di

---

<sup>198</sup> Protozoi flagellati, sono forme unicellulari, marine, pelagiche, rivestite da un involucro sferico (coccospira) di corpuscoli di forma discoidale (coccoliti).

<sup>199</sup> EMT (Eastern Mediterranean Transient).

teleostei<sup>200</sup>, in precedenza note solo per le coste orientali o meridionali del Mediterraneo. Nel corso degli ultimi anni sono state rilevate “anomalie” nell’annuale processo di “produzione di acque dense” che costituiscono un importante motore della circolazione del Mediterraneo. Il raffreddamento e l’evaporazione di grandi masse d’acqua a causa di forti venti invernali in Egeo, Adriatico settentrionale e Golfo del Leone, infatti, aumenta la densità delle acque superficiali che sprofondano e, seguendo i fondali, giungono in zone profonde del bacino sostituendovi le acque povere di ossigeno (Gacic et al., 2011; Bensi et al., 2013). Tali anomalie tenderanno, presumibilmente, a divenire più frequenti alterando la circolazione delle acque profonde e quindi anche l’abbondanza della fauna e la generale ecologia delle zone marine interessate (Béthoux et al., 1999; Theocharis, 2008).

Giacché la maggior parte degli organismi marini sono eterotermi (ossia dipendono, per la temperatura corporea, da quella del mezzo esterno), l’incremento della temperatura del mare avrà un impatto importante sulla loro fisiologia (Pörtner e Peck, 2010). Il consumo energetico per unità di massa corporea e di tempo, infatti, approssimativamente raddoppia o triplica per ogni incremento della temperatura di 10 °C (Vaquer-Sunyer e Duarte, 2011). Pertanto, si possono prevedere sensibili impatti su molte popolazioni, tra cui quelle pescate, di tutti i mari e gli oceani (Hoegh-Guldberg e Bruno, 2010; Pörtner e Peck, 2010; Cheung et al., 2012).

Un altro aspetto importante dei cambiamenti climatici è la maggiore frequenza di “eventi estremi” che potrebbero essere, presumibilmente, più rilevanti nel “plasmare” la flora e la fauna marina rispetto a cambiamenti nei valori medi su lunghi periodi dei vari parametri ambientali (Cebrian et al., 2011; Vaquer-Sunyer e Duarte, 2011). In particolare, nel corso delle “ondate di calore” estive, la cui frequenza e durata si suppone aumenterà sensibilmente (Lionello et al., 2009), ampie zone costiere potrebbero essere soggette a fenomeni di ipossia o anossia. Questo produrrebbe notevoli impatti negativi sulle popolazioni di specie poco mobili, quali ad esempio i molluschi bivalvi ed alcuni crostacei, con l’innescarsi di morie di massa, che già hanno iniziato a manifestarsi in alcune zone del Mediterraneo (Riedl et al., 2008; Coma et al., 2009).

In generale, quindi, si può affermare che, dato che le risorse biologiche pescate in Mediterraneo hanno cicli vitali legati alle zone costiere e di piattaforma, esse risultano particolarmente esposte agli effetti dei cambiamenti climatici, sia diretti che indiretti, anche legati alle interazioni con le zone emerse (ad esempio cambio di piovosità e conseguente variazione dell’apporto fluviale di acque dolci e nutrienti; Melaku Canu et al., 2010). Le specie sfruttate dalla pesca essendo esposte agli effetti complessi dei cambiamenti della temperatura, salinità e densità delle acque e di altri fattori ambientali legati ai cambiamenti climatici, che potrebbero generare ad esempio sfasamenti nei cicli biologici e potenziali ripercussioni sulla fisiologia, biologia ed ecologia (Zucchetta et al., 2012), risultano estremamente vulnerabili. Infine, bisogna ricordare che importanti modifiche

---

<sup>200</sup> Il termine teleostei fu inizialmente creato per indicare i pesci con uno scheletro osseo vero e proprio, in contrapposizione ai selaci (razze e squali) che presentano uno scheletro interamente cartilagineo. Oggi i pesci ossei vengono indicati con le due classi Actinopterygii e Sarcopterygii, mentre il termine teleostei si riferisce a un gruppo di livello tassonomico più basso, all’interno della classe degli Actinopterygii aventi scheletro interno ossificato e pinne sostenute da raggi ossei (lepidotrichi).

dell'ecosistema legate al mutamento delle caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente marino potrebbero risultare completamente irreversibili (Polovina et al., 2008; Conversi et al., 2010).

<b>A - Effetti idrologici, oceanografia fisica e biologica:</b>
a1) incremento delle temperature annuali e stagionali delle masse d'acqua; a2) decremento del livello di saturazione delle acque per O <sub>2</sub> e altri gas; a3) riduzione del pH che ostacolerebbe lo sviluppo di specie animali o vegetali con parti calcificate; a4) maggiore stratificazione della colonna d'acqua, che ne ostacolerebbe il rimescolamento; a5) riduzione delle precipitazioni piovose, che ridurrebbe l'apporto di nutrienti da fonti terrestri; a6) diverse condizioni chimico-fisiche delle acque tenderebbero a ridurre la produttività del fitoplancton; a7) riduzione della produttività primaria, che comporterebbe un generale ridimensionamento anche della fauna; a8) aumento della frequenza e durata degli eventi di anossia o ipossia in acque di fondo; a9) possibili mutamenti nella circolazione delle masse d'acqua.
<b>B - Effetti interspecifici nei gruppi di specie animali oggetto di pesca:</b>
b1) cambiamento della composizione specifica dei teleostei, elasmobranchi <sup>201</sup> , molluschi e crostacei decapodi delle varie sub-aree; b2) instaurazione di rapporti di competizione o cooperazione tra "nuove" e "vecchie" specie; b3) il cambiamento delle catene trofiche, strutturale o legato ad occasionali "esplosioni" di specie opportuniste, potrebbe determinare serie alterazioni nell'abbondanza di alcune risorse di pesca.
<b>C - Effetti intraspecifici o a livello delle singole popolazioni oggetto di pesca:</b>
c1) alcune popolazioni tenderebbero a spostare gli areali di distribuzione, con effetti sulla pesca; c2) la riduzione del pH delle acque colpirebbe negativamente diverse specie pescate (es. bivalvi e gasteropodi); c3) gli eventi anossia/ipossia determinerebbero riduzione/scomparsa di specie di fondo poco mobili.

*Tabella 2.12: Riepilogo dei prevedibili effetti dei cambiamenti climatici sulle acque mediterranee e sulle sue risorse biologiche.*

---

<sup>201</sup> Appartenenti alla sottoclasse di Pesci cartilaginei (Elasmobranchia), con corpo fusiforme o appiattito, ricoperto da squame placoidi che comprende due ordini di squali del Paleozoico, Cladoselaci, Pleuracantodi, un ordine di squali moderni, Squaliformi e un ordine di Raiformi che comprende razze, torpedini e pesci sega.

## ***Effetti dei cambiamenti climatici sull'evoluzione della macrofauna mediterranea nel corso dell'ultimo trentennio***

Numerosi fattori concorrono a determinare l'evoluzione delle risorse marine, e quindi non è sempre possibile delineare esattamente il nesso causale tra tali evoluzioni e i cambiamenti climatici. In relazione a quanto riportato in precedenza, tuttavia, molti lavori hanno permesso di legare importanti variazioni della macrofauna marina con: a) cambiamenti della temperatura e b) incremento della variabilità dei fattori ambientali, entrambi riconducibili ai cambiamenti climatici.

Negli ultimi decenni, l'ampliarsi dell'area di distribuzione di specie marine termofile è stato uno dei primi e più evidenti segnali del riscaldamento del Mediterraneo (Francour et al., 1994; Azzurro, 2008; Lejeusne et al., 2009).

Le specie in espansione provengono dai sottobacini mediterranei più caldi o da aree tropicali e subtropicali del mar Rosso o dell'Atlantico orientale, per cui l'insieme delle comunità va incontro ad un processo sia di "meridionalizzazione" che di "tropicalizzazione" (Bianchi, 2007; Lejeusne et al., 2009) a seconda che si parli rispettivamente dell'espansione di specie native o non native.

Nonostante la presenza di alcune concause indipendenti dai cambiamenti climatici (ad esempio, l'allargamento del canale di Suez), l'affermarsi di popolazioni stabili di specie alloctone<sup>202</sup> provenienti da acque tropicali o sub-tropicali è da molti ricondotto ad un effetto diretto dell'incremento della temperatura delle acque costiere del Mediterraneo (Ben Rais Lasram e Mouillot, 2009). Inoltre, l'afflusso di specie extra-mediterranee è divenuto progressivamente più celere in tempi recenti (Zenetos et al., 2012).

Nell'ambito dei teleostei, si evidenzia, nel Mediterraneo, la presenza di 126 specie alloctone, di cui 85 "lessepsiane" (ossia provenienti dal mar Rosso tramite il canale di Suez), e le altre provenienti da aree dell'Atlantico situate a latitudine inferiore a 42° 50' N (Ben Rais Lasram e Mouillot, 2009; Zenetos et al., 2012).

Per quanto riguarda i crostacei decapodi o stomatopodi, in base al Ciesm Atlas of exotic species in the Mediterranean, nell'area di interesse risultano esservi popolazioni stabili di una quarantina di specie alloctone (Galil et al., 2002; Zenetos et al., 2010).

In merito ai molluschi bivalvi, infine, sono circa 25 le specie alloctone che probabilmente hanno formato popolazioni stabili nel Mediterraneo (Zenetos et al., 2004 e 2010).

In generale, le coste della parte peninsulare del nostro paese risultano tra le meno interessate da questo fenomeno, in quanto non direttamente coinvolte dalle correnti che da Gibilterra muovono verso est e che dal Mediterraneo orientale vanno in direzione dell'Adriatico (Artale et al., 2009; Ben

---

<sup>202</sup> In origine non appartenenti al luogo (il suo termine contrario è 'autoctone').

Rais Lasram e Mouillot, 2009). Nelle acque marine della Sicilia meridionale e delle isole siciliane minori è invece relativamente frequente il rinvenimento di pesci ossei di specie alloctone (Castriota et al., 2002; Azzurro et al., 2004; Azzurro e Andaloro, 2004). Campagne di pesca a strascico svolte per scopi scientifici nell'area (programmi "Meditis"<sup>203</sup> e "Grund"<sup>204</sup>) hanno evidenziato un trend positivo nelle catture di esemplari appartenenti ad almeno una dozzina di specie alloctone (Bianchini e Ragonese, 2007). Ad esempio, il "pesce palla", *Sphoeroides pachygaster*, (specie di acque subtropicali o temperate calde, presumibilmente entrata nel Mediterraneo da Gibilterra), dal 1992 risulta essere presente nelle catture delle campagne di pesca scientifica con valori medi di 1-2 ind./Km<sup>2</sup> su fondali inferiori a 200 metri e nel 1996 fu addirittura osservato con densità di 6-8 ind./Km<sup>2</sup> (Bianchini e Ragonese, 2007).

In alcuni casi, le nuove popolazioni di specie alloctone sono divenute bersaglio di attività di pesca di discreta importanza, come ad esempio l'alaccia (*Sardinella aurita*) lungo le coste greche e spagnole (Sabatés et al., 2006; Tsikliras, 2008), le specie *Upeneus moluccensis* e *Saurida undosquamis*, alcuni pregiati gamberi che sono pescati lungo le coste tra Israele e la Turchia sud-orientale (Galil, 2007; Gucu e Bingel, 2011), le due specie di siganidi (*Siganus rivulatus* e *S. luridus*) bersaglio della pesca artigianale operante con reti da posta sia a Cipro che in Turchia (Sala, et al., 2011). In tale contesto lungo le coste italiane particolare rilevanza ha la "vongola filippina" (*Ruditapes philippinarum*) che, introdotta a scopo di allevamento interno agli anni '80, si è diffusa in maniera spontanea in gran parte degli specchi lagunari, ed ora rappresenta una delle principali risorse dell'acquacoltura (ma in parte si tratta di pesca) nazionale (Melaku Canu et al., 2010). Al contrario, le catture di spratto (*Sprattus sprattus*), specie tipica della fauna boreale atlantica, sono sempre più scarse nell'Adriatico settentrionale e nel Golfo del Leone, ove erano un tempo presenti le popolazioni mediterranee più consistenti (Francour et al., 1994; Sinovic, 2001; Grbec et al., 2002).

Alcune importanti variazioni in termini di abbondanza/distribuzione delle risorse marine sono state ricondotte all'aumento di variabilità dei fattori ambientali. Ad esempio, le sardine dell'alto e medio Adriatico (GSA 17), hanno evidenziato, nel periodo 1983-2006, un continuo calo della biomassa (stimata tramite Virtual Population Analysis), da 800.000 T del 1983 a 120.000 T del 2003 (Cingolani et al., 2004). Il trend negativo della popolazione sembrerebbe relativamente indipendente dalla pesca e legato a condizioni ambientali in qualche modo sfavorevoli. Sebbene i fattori potenzialmente avversi non siano stati chiaramente individuati, Santojanni et al. (2006) hanno rilevato una correlazione positiva tra l'abbondanza dei giovanili annualmente reclutati alla pesca nel 1975-2001 e l'entità delle portate del Po nel trimestre aprile-giugno di quell'anno. Alcuni lavori (Coombs et al., 2006; Stratoudakis et al., 2007) inducono anche ad ipotizzare un possibile

---

<sup>203</sup> Medits è un programma di ricerca internazionale, iniziato alla fine dell'anno 1993, che ha come principale obiettivo lo studio delle risorse demersali lungo le coste mediterranee di quattro paesi dell'Unione Europea (Spagna, Francia, Italia e Grecia) e, dal 1996, anche i paesi balcanici che si affacciano sull'adriatico (Albania, Croazia, Slovenia). Il programma raccoglie ed elabora dati biologici sulle comunità alieutiche delle aree strascicabili della platea e della parte superiore della scarpata, da 10 ad 800 metri di profondità, grazie a una campagna di pesca sperimentale effettuata nel periodo tardo primaverile - estivo.

<sup>204</sup> Programma GRUND (Gruppo Nazionale Valutazione Risorse Demersali)", su finanziamento Ministero per le Risorse Agricole, Alimentari e Forestali.

ruolo della temperatura, in quanto è stato dimostrato che le sardine delle coste europee depongono preferibilmente in masse d'acqua prossime alla superficie nel range termico di 12-16 °C (Regner, 1988; Regner et al., 1988) con riduzione della stagione riproduttiva e dell'abbondanza di uova e larve in aree o anni caratterizzati da temperature più elevate (Ganias et al., 2007).

Inoltre, Grbec et al. (2002) rilevarono correlazioni statisticamente significative tra le oscillazioni della NAO (North Atlantic Oscillation) (Artale et al., 2009, per la descrizione di questo indice di pressione atmosferica), salinità e catture dei "piccoli pelagici" (vale a dire sardine, acciughe, spratto e sgombri) nell'Adriatico orientale, per cui i cambiamenti climatici influenzerebbero l'afflusso nel bacino di masse d'acqua a salinità diversa da altre parti del Mediterraneo e da ciò potrebbero derivare analoghe oscillazioni nello sbarcato delle specie esaminate.

Anche per il nasello (*Merluccius merluccius*) sembrano esservi indicazioni di un possibile persistente effetto negativo delle condizioni climatiche degli ultimi due o tre decenni sulla riproduzione ed il reclutamento delle popolazioni mediterranee. In Mar Ligure e nel Tirreno settentrionale e centrale (la GSA 9 di GFCM-FAO) il reclutamento risulta, infatti, essere negativamente influenzato da inverni miti (Abella et al., 2008) o da temperature estive troppo alte (Bartolino et al., 2008), soprattutto nelle zone con piattaforma continentale poco estesa. Inoltre, in Mediterraneo il nasello predilige temperature abbastanza basse (generalmente sono più abbondanti in aree di piattaforma con temperature non superiori a 16-18 °C; Abella et al., 2008; Maravelias et al., 2007; Gucu e Bingel, 2011), si riproduce prevalentemente nei mesi autunnali ed invernali (Recasens et al., 2008) e i giovanili sono abbondanti in aree e nei periodi con temperature delle acque di fondo prossime a 14 °C (Morales-Nin e Moranta, 2004). Sia Abella et al. (2008) che Bartolino et al. (2008) hanno evidenziato come l'eccezionale caldo dell'estate 2003 abbia comportato un netto calo di "reclute" di nasello nell'autunno dello stesso anno.

I dati noti sull'evoluzione dell'abbondanza delle vongole (*Chamaela gallina*), ancora nell'Adriatico settentrionale e centrale, nell'ultimo quarto di secolo esemplificano la forte influenza delle oscillazioni degli apporti fluviali sulla produttività primaria delle aree costiere (ciò anche per effetto dell'applicazione di norme per la riduzione di fosfati e nitrati nelle acque dolci; Rinaldi et al., 2002) e di quest'ultima sulla consistenza delle risorse di pesca situate a bassi livelli della catena trofica (Coll et al., 2009; Romanelli et al., 2009).

Infine, è da notare che, nell'intero Mediterraneo, appare nettamente in aumento la frequenza di eventi di esplosione demografica di scifomeduse (in particolare *Pelagia noctiluca* in Adriatico) o di altre forme di macrozooplancton "gelatinoso" (altre meduse, ctenofori<sup>205</sup> e taliacei<sup>206</sup>), sia con riferimento a specie autoctone che alloctone (Boero et al., 2008a; Boero et al., 2009). Una delle principali cause di questo fenomeno è stata individuata nell'instaurarsi di condizioni ecologiche

---

<sup>205</sup> Il phylum *Ctenophora* è costituito da circa 100 specie di animali marini, in prevalenza predatori o filtratori planctonici, dal corpo trasparente quasi interamente costituito d'acqua, e lunghi qualche centimetro.

<sup>206</sup> Classe di Tunicati planctonici che vive in genere in acque superficiali fino a 200 m. Nella notte emanano un'intensa luminescenza, notevole quando sono abbondanti e ricoprono vaste superfici marine, come avviene nelle zone calde.

(aumentata stratificazione delle acque, irregolare afflusso di nutrienti veicolati dai corsi d'acqua dolce) che hanno determinato flussi trofici sensibilmente più intermittenti. Questo favorirebbe occasionali esplosioni di queste specie, in quanto si tratta di organismi dotati di elevata capacità moltiplicativa (Boero et al., 2008b). Dato che le varie forme di macrozooplankton tendono a competere sia con altro zooplankton fitofago<sup>207</sup> sia con i pesci zooplanctofagi<sup>208</sup> e spesso sono anche efficaci predatori degli stadi larvali di pesci, una loro eccessiva proliferazione può avere notevoli effetti negativi sulle risorse sfruttate dalla pesca. Tutto ciò è ben esemplificato dall'invasione dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* in Mar Nero, con conseguente collasso degli stock ittici ( Daskalov, 2002; GFCM, 2012).

### ***Sovra-sfruttamento delle risorse: implicazioni sulla resilienza degli stock all'impatto dei cambiamenti climatici ed interventi correttivi per il futuro***

Sebbene gli attrezzi da pesca utilizzati nei mari italiani siano sostanzialmente rimasti invariati nel corso dei secoli, la disponibilità di nuovi materiali e di nuove tecnologie (reti in materiale sintetico, motori, sistemi per la localizzazione in mare, eco-scandagli per esplorare i fondali ed individuare i banchi, ecc.) ne hanno enormemente aumentato l'efficienza. Tutto ciò ha portato, nel corso degli ultimi decenni, ad un progressivo aumento dello sfruttamento delle risorse, fino a raggiungere condizioni di totale sovra-sfruttamento (Colloca et al., 2013). Lo stato delle risorse in relazione alla pesca è un importante fattore, poiché è stato evidenziato come l'eccessivo sfruttamento renda la popolazione della specie sfruttata più sensibile all'impatto dei cambiamenti climatici (si veda il caso del merluzzo, *Gadus morhua*, nel Mare del Nord; Pinnegar, 2012).

Delle 22 specie o gruppi di teleostei di maggiore interesse commerciale nel Mediterraneo, solo 6 sono oggetto di valutazione quantitativa da lungo tempo (sardina, acciuga, tonno rosso, pesce spada, nasello, triglia di fango; STECF, 2012; Colloca et al., 2013). In base a dati acquisiti in tempi recenti tramite apposite campagne di pesca o altre metodologie di analisi (STECF, 2010), 32 dei 38 stock di specie commerciali, regolarmente monitorati nelle acque degli Stati UE mediterranei, erano in stato di sovra-sfruttamento, in quanto la mortalità di pesca era nettamente superiore ai rispettivi valori di Massimo Rendimento Sostenibile (Maximum Sustainable Yield - MSY), il cui conseguimento è attualmente il principale obiettivo gestionale della UE in materia di pesca (Froese et al., 2008; Colloca et al., 2013).

In molti casi, inoltre, anche per specie/stock non ancora soggetti a valutazione, sulla base di indicazioni quali prevalenza di individui di piccola taglia nelle catture, rese giornaliere di pesca in calo o su valori bassi rispetto al passato, si suppone che la biomassa sia assai modesta, presumibilmente ben al di sotto della  $B_{MSY}$ <sup>209</sup>.

---

<sup>207</sup> Che si nutre di vegetali.

<sup>208</sup> Che si nutre di zooplankton, plancton costituito da organismi animali.

<sup>209</sup> Peso totale di una popolazione ittica oggetto di pesca quando essa fornisce il massimo livello di catture sostenibili (Maximum Sustainable Yield).

Già un decennio fa, Streftaris (2004) affermava che per le 6 specie ittiche di cui si disponeva di dati scientifici, solo sardine e, in alcune aree, alici erano sfruttate in modo sostenibile. Ad esempio, nella GSA 17 (Adriatico), la popolazione locale di alici è stata considerata, già nel 2002, “al di fuori dei limiti biologici di sicurezza” perché con biomassa troppo bassa a fronte di elevata mortalità da pesca (Semrau, 2012).

Per il tonno rosso, *Thunnus thynnus*, occorre rilevare che la situazione della popolazione nel Mediterraneo e nell'Atlantico orientale è talmente critica che, dal 1997, è stato introdotto, unica specie mediterranea, un limite massimo alle catture per l'intero bacino (con contingenti annui per l'Italia che negli ultimi due anni sono stati pari al 15%-20% dello sbarcato di 12.000 T stimato per il 1998; IREPA, 2000), ed addirittura è stato più volte proposto di inserire la specie tra quelle in pericolo di estinzione, fatto che implicherebbe l'immediata cessazione anche dell'attuale forma di pesca contingentata (Kahoul, 2009-2010).

In generale, dunque, nell'ambito italiano, a fronte di una diminuzione dello sbarcato di circa un terzo, legato anche ai piani di riduzione dello sforzo attuati nell'ultimo decennio, le risorse della pesca appaiono sempre in situazione critica (ciò anche per gli incrementi verificatisi nelle catture delle flotte di Stati mediterranei extra UE), con individui prevalentemente di piccola taglia, forte rarefazione delle popolazioni di specie a lungo ciclo vitale (in particolare squali e razze) ed oscillazioni nell'abbondanza legate prevalentemente alla consistenza numerica degli individui giovanili, cioè all'eventuale successo del “reclutamento” delle nuove classi annuali<sup>210</sup> (Ardizzone, 1994).

Il livello di sfruttamento sembra a tutt'oggi essere la causa principale nel determinare l'osservata riduzione della consistenza di questi stock. In un tale contesto, è abbastanza facile immaginare che l'aumento di pressione da parte di variabili ambientali, legato ai cambiamenti climatici, possa peggiorare la situazione. Anche se non è possibile distinguere esattamente il ruolo dei cambiamenti climatici nella riduzione degli stocks, infatti, lo stato di sovra-sfruttamento comporta una riduzione della resilienza delle popolazioni alla variabilità ambientale, esponendole dunque a marcati rischi in un contesto di cambiamenti climatici (Stenseth e Rouyer, 2008).

Froese e Proelß (2010), in uno studio relativo a 54 stock ittici commerciali del NE Atlantico, ritengono che i mutamenti climatici non avranno presumibilmente grosso impatto, fino a circa il 2015, sulla biologia ed ecologia di tali popolazioni, e quindi suggeriscono di utilizzare proprio questa “finestra temporale” per ridurre fortemente o addirittura proibire la pesca sulle popolazioni più compromesse, onde consentire loro di aumentare in termini numerici ed includere una maggiore frazione di individui di età relativamente avanzata e possibilmente giungere a livelli di biomassa corrispondenti alla loro  $B_{MSY}$ .

---

<sup>210</sup> Fase del ciclo vitale degli esemplari di specie ittiche oggetto di pesca in cui essi divengono per la prima volta catturabili per via della taglia e/o per il loro comportamento e la loro localizzazione in mare.

Gli interventi correttivi fino ad oggi predisposti a livello di Mediterraneo, con riferimento però ai soli paesi membri UE, sono stati principalmente indirizzati alla riduzione dello sforzo di pesca. Da oltre 15 anni sono stati infatti forniti ai pescatori sostegni economici per incentivare il disarmo di parte della flotta; ma, nel complesso, questi piani hanno avuto esito modesto, anche perché hanno prevalentemente interessato unità obsolete o poco utilizzate.

Nei nostri mari è interessante rilevare come i “Piani di gestione per la pesca a strascico” definiti ed approvati per i vari settori costieri, ai sensi dell’art. 19 del Reg. (CE) n. 1967/2006 (Council of the European Union, 2006a), prevedano riduzioni comprese tra il 5% ed il 18% del numero di imbarcazioni localmente autorizzate alla pesca a strascico ed ulteriori misure restrittive riguardo alle zone e ai periodi di attività (Direzione Generale Pesca Marittima e dell’Acquacoltura del Ministero Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, 2011).

Un rilevante contenimento dello sforzo di pesca è implicito anche nella recente Direttiva Quadro 2008/56/CE sulla “Strategia Marina” (Parlamento e Commissione Europea, 2008), mirante a ridimensionare entro il 2020, attraverso piani di intervento specifici, gli impatti delle attività umane sulle zone di mare sotto giurisdizione degli Stati UE, onde far sì che gli habitat marini di una determinata area climatica e geografica conservino, per quanto possibile, la loro estensione, funzionalità e composizione specifica. Per le risorse biologiche commerciali la direttiva si pone l’obiettivo di monitorare con cadenza di sei anni una serie di indicatori, quali la mortalità di pesca, la biomassa totale delle femmine mature, la frazione di individui al di sopra della taglia media di prima riproduzione, la lunghezza massima degli individui, il 95° percentile della distribuzione per taglie degli individui, ed eventualmente adottare misure correttive (simili a quelle prospettate da Froese e Proelß, 2010). Inoltre, il MSY deve essere stimato per ciascuna delle popolazioni ittiche oggetto di pesca e, a tal fine, devono essere opportunamente considerate le caratteristiche bio-ecologiche della specie di appartenenza (ad es. livello trofico, durata del ciclo vitale, strategia riproduttiva) e le concrete condizioni ambientali (ad es. disponibilità di risorse trofiche) in cui esse si trovano a vivere.

Da questa breve disamina, risulta chiaro come siano molteplici gli strumenti normativi, sia comunitari che nazionali, volti ad implementare strategie finalizzate al controllo e alla reale riduzione dello sforzo di pesca.

Ai fini della gestione dello sforzo di pesca da parte delle autorità preposte, è però importante riuscire anche a monitorare lo stato delle varie popolazioni di specie ittiche sulla base di dati sulla composizione qualitativa e quantitativa delle catture della flotta commerciale e di quelle ottenute tramite apposite campagne di pesca scientifica (Cotter et al., 2009). I dati ottenuti consentono infatti di registrare, o anticipare, eventuali “situazioni di pericolo” che richiedano celeri ed incisivi interventi di riduzione e/o di “rimodulazione” dello sforzo di pesca. In particolare, un possibile intervento gestionale potrebbe essere quello di modificare la mortalità da pesca indotta nelle varie classi di taglia/età e soprattutto nell’aumentare la taglia di prima cattura verso classi dimensionali e di età molto superiori a quelle attualmente rilevate per gran parte delle popolazioni oggetto di pesca, mediante l’aumento delle maglie minime delle reti o interdicendo alla pesca le aree e i

periodi di maggiore presenza dei giovanili (Garcia e Cochrane, 2005; Froese et al., 2008; Colloca et al., 2013).

### ***Previsioni sugli impatti dei cambiamenti climatici a lungo termine sul settore, sulle risorse pescabili dei mari italiani ed evidenza di effetti analoghi nel corso degli ultimi 30 anni***

I risultati degli studi per scenari evidenziano notevoli incertezze sulla capacità di prevedere quantitativamente l'evoluzione dei cambiamenti climatici nei prossimi decenni (IPCC, 2007). Ciò si riflette sulla capacità di prevedere e quantificare gli impatti a lungo termine dei cambiamenti climatici sull'ecosistema marino e sul settore pesca. Inoltre, tra la molteplicità di fattori legati ai cambiamenti climatici che potrebbero influenzare direttamente ed indirettamente le risorse ittiche, nella letteratura scientifica è stata posta particolare attenzione all'effetto diretto della temperatura, mentre in genere sono trascurati altri fattori importanti.

In base al quadro previsto per i prossimi decenni, l'incremento delle temperature estive nella regione mediterranea comporterebbe analoghi innalzamenti del livello termico delle acque marine costiere, poiché solitamente la SST corrisponde alla temperatura media atmosferica al livello del mare nel mese precedente (Raitos et al., 2010). Tra gli studi di previsione degli effetti del cambiamento di temperatura, possiamo dividere tra studi di comunità ittica e studi di singole specie.

Recentemente, per valutare l'impatto dovuto all'incremento della temperature sulla distribuzione delle comunità ittiche in diverse aree geografiche, è stato applicato il Bioclimate Envelope Model (BEM, o "Modello ad involucro bioclimatico"; Cheung et al., 2008; Ben Rais Lasram et al., 2010; Albouy et al., 2012). In esso, la presenza o meno di una specie in una determinata area è determinata sulla base dei valori di temperatura dell'acqua (media annuale sul fondo per le specie ittiche demersali<sup>211</sup>, medie estive ed invernali delle acque superficiali per le specie pelagiche ad elevata mobilità), di profondità e del grado di affinità delle specie in esame con alcuni habitat (ad es. fondi incoerenti o barriere coralline). Risulta possibile ricostruire con buona approssimazione quali siano le zone geografiche di distribuzione, sia attuali che future (Close et al., 2006; Cheung et al. 2008; 2010; Lam et al., 2008; Albouy et al., 2012). Il modello può includere anche informazioni sulla durata media della vita larvale, per valutare se questa fase del ciclo vitale possa consentire, alla luce delle correnti prevalenti, di occupare stabilmente altre aree oltre a quelle per le quali è nota o presunta la presenza di buoni aggregati di adulti. Nel BEM non si considerano l'influenza di forme di competizione tra varie specie o altre interazioni di carattere biologico.

---

<sup>211</sup> Specie di organismi marini che nuotano attivamente ma si trattengono nei pressi del fondale, sul quale o nei pressi del quale trovano il nutrimento.

Esaminando 288 specie di teleostei e selaci<sup>212</sup> mediterranei più strettamente legati alle aree di piattaforma continentale e le future temperature delle masse d'acqua previste mediante simulazioni (IPCC, 2007; Beuvier et al., 2010), il BEM prevede sensibili mutamenti nel corso di questo secolo della fauna ittica, sia lungo le coste dell'Europa meridionale che del Nord Africa (Albouy et al., 2012). Secondo queste previsioni nel 2041-60 gli areali delle specie dovrebbero spostarsi verso nord di circa 70 km rispetto alla situazione recente: in Adriatico settentrionale e centrale si avrebbe un numero di specie ittiche maggiore rispetto alla situazione di pochi decenni fa (Whitehead et al., 1986), mentre in altre parti delle coste italiane la ricchezza faunistica tenderebbe a ridursi ed anche i processi di sostituzione di specie sarebbero meno cospicui. Tra i taxa<sup>213</sup> di teleostei e selaci endemici del Mediterraneo (Quignard e Tomasini, 2000) ve ne sarebbero molti candidati ad una consistente riduzione di areale, tanto che Ben Rais Lasram et al. (2010) ipotizzano una totale scomparsa di molte di queste popolazioni entro la fine del secolo. Tra i teleostei endemici di interesse commerciale esplicitamente menzionati in Ben Rais Lasram et al. (2010) ed in Albouy et al. (2012), il cicerello (*Gymnammodytes cicerellus*, stagionalmente bersaglio di una modesta pesca artigianale svolta in Liguria e parti della Sicilia) sarebbe destinato a scomparire dal Mediterraneo (sopravviverebbero solo le popolazioni atlantiche e del mar Nero), mentre *Solea aegyptiaca*, specie di sogliola la cui presenza da alcuni anni risulta essere in aumento in Adriatico, sarebbe destinata a diffondersi dal Mediterraneo orientale all'intero bacino (Ben Rais Lasram et al., 2010; Albouy et al., 2012).

A causa delle necessarie semplificazioni adottate, i due lavori basati sul BEM (Ben Rais Lasram et al., 2010; Albouy et al., 2012) consentono di delineare qualitativamente l'entità dei cambiamenti faunistici attesi in futuro nel Mediterraneo, ma non forniscono informazioni sull'evoluzione delle popolazioni di specie ittiche di maggiore interesse commerciale.

Tra i vari cambiamenti indotti, le elevate pressioni atmosferiche e l'aumento della differenza di temperatura tra acque superficiali e di fondo comporterebbero una maggiore stratificazione verticale, come già rilevato dall'analisi di dati storici in alcune aree (Coma et al., 2009). Questa situazione avrebbe un impatto negativo sulle popolazioni di molti animali marini costieri sessili<sup>214</sup> o poco mobili; ad esempio, si può ragionevolmente ipotizzare che le popolazioni di vongola (*Chamelea gallina*), attualmente sfruttate lungo le coste italiane della GSA 17 (Adriatico), ne verrebbero fortemente depauperate, aumentando così la tendenza già rilevata negli ultimi decenni (Romanelli et al., 2009; Romanelli e Giovanardi, 2012). Questo fenomeno comporterebbe una forte riduzione della locale flotta specializzata nella pesca delle vongole (attualmente circa 650 imbarcazioni e 1.300 pescatori) nonché, in Veneto, dei "fasolari" (*Callista chione*), bivalvi fossori che vivono a profondità più elevate.

---

<sup>212</sup> Superordine di pesci cartilaginei predatori, dalle forti mascelle e di dimensioni medio-grandi, i cui membri sono comunemente noti con il nome di squalo.

<sup>213</sup> Nelle scienze biologiche, le categorie sistematiche (taxon, al singolare) corrispondenti a entità, raggruppamenti ordinati degli esseri viventi. I taxa possono essere di qualsiasi livello gerarchico: in senso decrescente si ricorda il phylum (o tipo), la classe, l'ordine, la famiglia, il genere e la specie.

<sup>214</sup> Organismi vegetali o animali fissati sul fondo o altre superfici (ad es. spugne, coralli, ecc.).

Il probabile spostamento dei demersali verso zone più profonde a seguito dell'aumentata temperatura, secondo un comportamento stagionale tipico di molte specie, interferirà direttamente con le attività di pesca artigianale, che normalmente si svolgono entro le tre miglia, e che dovranno spostarsi più al largo (in alto Adriatico anche oltre 6-12 miglia, corrispondenti ai limiti indicati nella maggior parte delle licenze di pesca di questo segmento di flotta), con notevole aumento dei costi d'esercizio.

Nell'ambito dei cambiamenti sin qui evidenziati, bisogna anche ricordare che un aumento della temperatura delle acque potrebbe favorire la presenza di nuove specie di interesse commerciale, come ad esempio barracuda (*Sphyraena spp.*), alcuni Carangidi e "lampughe" (*Coryphaena spp.*), offrendo così nuove risorse ai pescatori (Lam et al. 2008; Lejeune et al., 2009; Azzurro et al. 2011).

Tuttavia, al momento, le stime complessive sembrano indicare che questi contributi positivi non saranno sufficienti a bilanciare le diminuzioni/sparizioni, pertanto è attesa una generale riduzione della produttività secondaria nei nostri mari con conseguente riduzione delle risorse ittiche sfruttabili da parte della pesca (Cheung et al., 2010; 2012).

Un ulteriore aspetto da considerare è il probabile impatto sull'insieme delle risorse ittiche oggetto di pesca dei più frequenti eventi di "esplosione" di singole popolazioni delle varie specie di zooplancton gelatinoso (meduse, salpe, cinti di venere, ecc.) perché in queste occasioni può esservi una forte predazione sulle uova e larve di pesci ossei, oppure sul plancton di cui le larve si nutrono. L'impatto atteso di questo tipo di eventi è tale che si ipotizza che le popolazioni mediterranee di alcuni animali che si nutrono di meduse, come ad esempio il pesce luna *Mola mola*, potrebbero aumentare sensibilmente nel corso dei prossimi decenni grazie alla maggiore disponibilità di cibo (Boero, 2013).

### ***Sicurezza e benessere dei pescatori e tutela delle infrastrutture della pesca marittima italiana rispetto agli agenti atmosferici: tendenze recenti e considerazioni per il futuro***

In assenza di eventuali più dettagliate considerazioni (ricavabili in parte dall'analisi del trend delle richieste di finanziamenti al Fondo di Solidarietà Nazionale per le calamità naturali, ex legge n. 72/92 e D. Lgl. n. 154/04, fondi di fatto non più disponibili da vari anni), al momento si possono fare solo valutazioni di carattere generale sugli impatti di "natura catastrofica" che presumibilmente in futuro interesseranno maggiormente il settore della pesca marittima in Italia. Gli impatti in questione potrebbero originare principalmente da esondazioni, frane, cedimenti di strutture a causa dell'erosione determinata dall'innalzamento del livello marino, trombe d'aria e fenomeni affini.

In relazione alla natura dei vari eventi si può prevedere che le frane interesseranno prevalentemente le marinerie di aree in cui la linea di costa è prossima a catene montuose o collinari (Liguria di levante, penisola sorrentina, Calabria tirrenica, parte del Messinese, ecc.), le esondazioni riguarderanno le aree prossime alla foce dei fiumi di maggiore portata (Po, Adige, Tevere) o quelle ove più fiumi sboccano a mare in un limitato tratto costiero, mentre trombe d'aria

in mare o onde di altezza anomala presumibilmente interesseranno di più le coste tirreniche perché antistanti superfici marine di più grande ampiezza e fecch<sup>215</sup>. In parti della costa veneta, il combinarsi del generale innalzamento del livello medio del mare<sup>216</sup> (Antonioli e Silenzi, 2009; Artale et al., 2009) e della subsidenza localmente in atto da alcuni decenni potrebbe rendere più gravi i fenomeni di erosione costiera (Antonioli e Silenzi, 2009), quindi più costosa ed impegnativa la difesa di alcune infrastrutture utilizzate dai pescatori (ad es. spiagge, porti e loro parti).

Pertanto nei prossimi decenni si potrebbero avere un aumento della frequenza ed aggravamento di eventi catastrofici che nella loro natura sono noti da tempo, ma per i quali occorrerà che nelle marinerie si sviluppi maggiormente una cultura di prevenzione e manutenzione per le imbarcazioni e le infrastrutture, di pianificazione e di prudenza nell'attività a mare, nonché di permanente controllo della redditività delle imprese.

I decreti legislativi n. 271 e 298 del 1999 hanno esteso a molti pescatori le tutele sul luogo di lavoro previste dalla legislazione nazionale e comunitaria. Ciò ha portato all'adozione sulle unità aventi personale imbarcato assimilabile a lavoratori dipendenti (quindi sono escluse le unità con un solo membro d'equipaggio) di appositi piani per la sicurezza che analizzano le situazioni di potenziale pericolo esistenti nei vari momenti di attività, o nelle varie zone della nave, onde studiare misure idonee a ridurre il rischio di infortuni e rendere i marittimi consapevoli sia dei potenziali pericoli e sia di buone pratiche operative per ridurre il numero e la gravità degli infortuni (Bolognini, 2001). Al di là dei dettagli tecnici, è interessante notare che il clima nei locali interni è considerato un fattore di rischio per i lavoratori, il quale deve essere controllato attraverso specifici interventi strutturali (Gesmundo et al., 2009), e quindi come alcune forme di impatto dei futuri cambiamenti climatici, quali le più elevate temperature dell'aria in alcuni mesi o la tendenza a più repentine variazioni delle condizioni meteo-marine, dovrebbero fin da ora trovare nel mondo della pesca italiana un quadro organizzativo ed un'attitudine culturale atti a valutarli e ad affrontarli.

## **Verso l'individuazione di azioni mitigatrici ed adattative**

Quanto finora esposto evidenzia come i cambiamenti climatici previsti nei prossimi decenni in Italia e nelle aree geografiche contigue (Commissione Comunità Europee, 2007; Gualdi et al., 2009) potranno avere un forte impatto sulle risorse ittiche, sulla distribuzione dello sforzo e sulle infrastrutture da pesca presenti nei nostri litorali.

Sfortunatamente, vista la complessità di fattori, impatti ed effetti indiretti, le informazioni disponibili non forniscono un quadro d'insieme quantitativo sulla possibile situazione del settore nei prossimi decenni. Ne consegue che le modalità di mitigazione e di adattamento agli impatti climatici appaiono alquanto indefinite e ci si deve prevalentemente basare sulle linee operative già

---

<sup>215</sup> Tratto di mare su cui una massa ventosa scorre in maniera costante per un determinato lasso di tempo.

<sup>216</sup> La cui futura entità è particolarmente difficile da stimare nel Mediterraneo, presumibilmente il 50-100% dell'innalzamento medio degli oceani, previsto dall'IPCC tra 0,18 e 0,59 m a fine XXI secolo.

delineate per la pesca dalla normativa vigente. A questa potranno essere affiancati alcuni processi adattativi realizzati in passato, in Italia ed altrove, per fronteggiare variazioni nell'abbondanza di alcune risorse basati sulle ipotesi di efficacia più plausibili e sulle opzioni che appaiono più concretamente disponibili per gli imprenditori ittici per fronteggiare le future difficoltà del settore.

## Bibliografia

- Abella A., Fiorentino F., Mannini A., Relini-Orsi L. (2008). Exploring relationships between recruitment of European hake (*Merluccius merluccius* L. 1758) and environmental factors in the Ligurian Sea and the Strait of Sicily (Central Mediterranean). *Journal Marine Systems*, 71, 279-293. doi: 10.1016/j.jmarsys.2007.05.010. Elsevier B.V.
- Albouy C., Guilhaumon F., Araujo M.B., Mouillot D., Leprieur F. (2012). Combining projected changes in species richness and composition reveals climate change impacts on coastal Mediterranean fish assemblages. In: *Global Change Biology*, 18, 2995–3003. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02772.x.
- Antonioli F., Silenzi S. (2009). Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane. In: *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, Castellari S., Artale V. (cur.), 401-428. Bononia University Press.
- Ardizzone G.D. (1994). An attempt at a global approach for regulating the fishing effort in Italy. *Biologia Marina Mediterranea*, 1, (2), 109-114.
- Artale V., Rupolo V., Raicich F., Marullo S., Calmanti S., Sannino G., Fusco G. (2009). Variabilità, trend e cambiamenti climatici delle masse d'acqua del Mar Mediterraneo nel XX secolo. In: *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, Castellari S. e Artale V. (cur.), 359-399. Bononia University Press.
- Azzurro E. (2008). The advance of thermophilic fishes in the Mediterranean Sea: overview and methodological questions. In: *CIESM Workshop Monographs*, 35, 39-45.
- Azzurro E., Andaloro F. (2004). A new settled population of the lessepsian migrant *Siganus luridus* (Pisces: Siganidae) in Linosa Island – Sicily Strait, *Journal Marine Biological Association UK*, 84, 819-821.
- Azzurro E., Pizzicori P., Andaloro F. (2004). First record of *Fistularia commersonii* (Fistularidae) from the Central Mediterranean. *Cybium*, 28, 72-74.
- Azzurro E., Moschella P., Maynou F. (2011). Tracking Signals of Change in Mediterranean Fish Diversity Based on Local Ecological Knowledge. *PLoS ONE*, 6, (9), 1-8. doi: 10.1371/journal.pone.0024885.
- Bartolino V., Colloca F., Sartor P., Ardizzone G. (2008). Modelling recruitment dynamics of hake, *Merluccius merluccius*, in the central Mediterranean in relation to key environmental variables. *Fisheries Research*, 92, 277-288. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2008.01.007>. Elsevier B.V.
- Ben Rais Lasram F., Mouillot D. (2009). Increasing southern invasion enhances congruence between endemic and exotic Mediterranean fish fauna, *Biological Invasions*, 11, 3, 697-711. doi: 10.1007/s10530-008-9284-4. Springer B.V.
- Ben Rais Lasram F., Guilhaumon F., Albouy C., Somot S., Thuiller W., Mouillot D. (2010). The Mediterranean Sea as a “cul-de-sac” for endemic fishes facing climate change. *Global Change Biology*, 16, 3233-3245. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02224.x.
- Bensi M., Cardin V., Rubino A., Notarstefano G., Poulain P.M. (2013). Effects of winter convection on the deep layer of the Southern Adriatic Sea in 2012, *Journal of Geophysical Research. Oceans*, 118, 6064-6075. doi:10.1002/2013JC009432.
- Béthoux J. P., Gentili B., Morin P., Nicolas E., Pierre C., Ruiz-Pino D. (1999). The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic, *Progress in Oceanography*, 44, 1-3, 131-146. doi: 10.1016/S0079-6611(99)00023-3.
- Beuvier J., Sevault F., Hermann M., Kontoyiannis H., Ludwig W., Rixen M., Stanev E., Béranger K., Somot S. (2010). Modeling the Mediterranean Sea interannual variability during 1961-2000: Focus on the Eastern Mediterranean Transient, *Journal Geophysical Research*, 115, C08017. doi:10.1029/2009JC005950.

- Bianchi C.N. (2007). Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. In: Biodiversity in Enclosed Seas and Artificial Marine Habitats, Serie *Developments in Hydrobiology*, Volume 193, 7-21. doi:10.1007/978-1-4020-6156-1\_1. Springer Netherlands.
- Bianchini M.L., Ragonese S. (2007). Presenze di specie ittiche esotiche come possibili indicatori di cambiamenti climatici: il caso dello Stretto di Sicilia. In: *Clima e cambiamenti climatici: le attività del CNR* (B. Carli, G. Cavarretta, M. Colacino, S. Fuzzi eds.), CNR, 513-516.
- Boero F., Féral J.P., Azzurro E., Cardin V., Riedel B., Despalatović M., Munda I., Moschella P., Zaouali J., Fonda Umari S., Theocharis A., Whiltshire K., Briand F. (2008a). Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota. In: *CIESM Workshop Monographs*, 35, 5-21.
- Boero F., Nouillon J., Gravili C., Miglietta M.P., Parsons T., Pirano S. (2008b). Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes). *Marine Ecology Progress Series*, 356, 299-310. doi:10.3354/meps07368.
- Boero F., Putti M., Trainito E., Prontera E., Piraino S., Shiganova T.A. (2009). First records of *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora) from the Ligurian, Tyrrhenian and Ionian Sea (Western Mediterranean) and first record of *Phyllorhiza punctata* (Cnidaria) from the Western Mediterranean, *Aquatic Invasions*, 4, 4, 675-680. doi: 10.3391/ai.2009.4.4.13.
- Boero F. (2013). Review of jellyfish blooms in the Mediterranean and Black Sea. *General Fishery Commission for the Mediterranean, Studies and Reviews*, 92, 1-63. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Bolognini S. (2001 ca.). La sicurezza a bordo delle navi mercantili adibite alla pesca, *Tecnologia della nave e sicurezza a bordo - IRPEM CNR Ancona*, 1-36, [http://www.ispesl.it/profili\\_di\\_rischio/sitopesca/Atti%20ancona/Bolognini.pdf](http://www.ispesl.it/profili_di_rischio/sitopesca/Atti%20ancona/Bolognini.pdf).
- Bonzon K., McIlwain K., Strauss C.K., Van Leuvan T. (2011). *Catch share design manual: a guide for managers and fishermen*. Environmental Defence Fund, 184 pp.
- Caddy J.F., Mahon R. (1995). *Reference points for fisheries management*. FAO Fisheries Technical Paper, Rome, 347, 83 pp.
- Caldeira K., Wickett M.E. (2003). Anthropogenic carbon and ocean pH, *Nature*, 425, 365. doi:10.1038/425365a.
- Cancino J.P., Uchida H., Wilen J.E. (2007). TURFs and ITQs: Collective vs. Individual Decision Making. *Marine Resource Economics*, 22, 391-406.
- Carbonari F. (2011). La percezione e il comportamento del consumatore attraverso l'evoluzione dei consumi e della distribuzione dei prodotti della pesca. In: Cataudella S., M. Spagnolo (cur.), *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani*. Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali, s.l., 666-674.
- Castriota L., Greco S., Marino G., Andaloro F. (2002). First record of *Seriola rivoliana* Cuvier, 1833 in the Mediterranean, *Journal of Fish Biology*, 60, 2, 486-488.
- Cebrian E., Uriz M.J., Garrabou J., Ballesteros E. (2011). Sponge mass mortality in a warming Mediterranean Sea: are Cyanobacteria-harboring species worse off?, *PLoS ONE*, 6, (6). doi: 10.1371/journal.pone.0020211.
- Cheung W.W.L., Lam V.W.Y., Pauly D. (2008). Dynamic bioclimate envelope model to predict climate-induced changes in distribution of marine fishes and invertebrates. In: Cheung WWL, V.W.Y. Lam, D. Pauly (Eds.), *Modelling present and climate-shifted distributions of marine fishes and invertebrates*. Fisheries Centre Research Rept. University British Columbia, 16, (3), 5-50.
- Cheung W.W.L., Lam V.W.Y., Sarmiento J.L., Kearney K., Watson R., Zeller D., Pauly D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change, *Global Change Biology*, 16, 25-35. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x.

- Cheung W.W.L., Sarmiento J.L., Dunne J., Frölicher T.L., Lam V.W.Y., Deng Palomares M.L., Watson R., Pauly D. (2012). Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nature Climate Change*, 3, 254-258. doi: 10.1038/nclimate1691.
- Cingolani N., A. Santojanni, E. Arneri, A. Beladinelli, S. Colella, F. Donato, G. Giannetti, G. Sinovic, B. Zorica (2004a). Sardine (*Sardina pilchardus*, Walb.) stock assessment in the Adriatic Sea: 1975-2003. ADRIAMED Occasional Paper 13, 10: 603-617.
- Close C., Cheung W., Hodgson S., Lam V., Watson R., Pauly D. (2006). Distribution ranges of commercial fishes and invertebrates. In: Palomares M.L.D., Stergiou K.I., Pauly D. (eds.), *Fishes in databases and ecosystems*. Fisheries Centre Research Reports, 14, (4), 27-37. Fisheries Centre, University of British Columbia.
- Coll M., Santojanni A., Palomera I., Arneri E. (2009). Food-web changes in the Adriatic Sea over the last three decades, *Marine Ecology Progress Series*, 381, 17-37. doi: <http://dx.doi.org/10.3354/meps07944>.
- Colloca F., Cardinale M., Maynou F., Giannoulaki M., Scarcella G., Jenko K., Bellido J.M., Fiorentino F. (2013). Rebuilding Mediterranean fisheries: a new paradigm for ecological sustainability, *Fish and Fisheries*, 14, 1, 89-109. doi: 10.1111/j.1467-2979.2011.00453.x.
- Coma R., Ribes M., Serrano E., Jimenez, E. Salat J., Pascual J. (2009). Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *Proceedings National Academy Sciences USA*, 106, 15, 6176-6181. doi: 10.1073/pnas.0805801106.
- Commissione Comunità Europee (2007). Libro Verde della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni - L'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa - quali possibilità di intervento per l'UE. COM 2007/354 def., 1-30.
- Commissione Comunità Europee Comunicazione (2009). Libro Verde della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni - Riforma della politica comune della pesca - COM 2009/163 def., 1-30.
- Commissione Europea (2011). Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio relativo alla politica comune della pesca. COM 2011/425 def., 1-92.
- Commissione Europea (2011). Proposta di Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio relative al Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca. COM 2011/804 def., 1-158.
- Conversi A., Fonda Umani S., Peluso T., Molinero J.C., Santojanni A., Edwards M. (2010). The Mediterranean Sea regime shift at the end of the 1980s, and intriguing parallelism with other European basins. *PLoS ONE*, 5, (5). doi: 10.1371/journal.pone.0010633), 15 pp.
- Coombs S.H., Smyth T.J., Conway D.V.P., Halliday N.C., Bernal M., Stratoudakis Y., Alvarez P. (2006). Spawning season and temperature relationships for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic, *Journal Marine Biology Association U.K.*, 86, 5, 1245-1252.
- Cossarini G., Libralato S., Solon S., Gao X., Giorgi F., Solidoro C. (2008) – Downscaling experiment for the Venice Lagoon. II Effects of changes in precipitation on geochemical properties. *Climate Research*, 38, 1, 43-59.
- Cotter J., Mesnil B., Witthames P., Parker-Humphreys M. (2009). Notes on nine indicators estimable from trawl surveys with an illustrative assessment for North Sea cod. *Aquatic Living Resources*, 22, 135-153.
- Council of the European Union (2006a). Council Regulation (EC) No. 1967/2006 concerning management measures for the sustainable exploitation of the fishery resources in the Mediterranean Sea , amending Regulation (EEC) No. 2487/93 and No. 1626/94. *Official Journal European Union* , (EN), (36), 6-30.

- Council of the European Union (2006b). Council Regulation (EC) No. 1198/2006 of 27 July 2006 on the European Fisheries Fund. Official Journal European Union, (EN), (223), 1-44.
- Daskalov G.M. (2002). Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea, *Marine Ecology Progress Series*, 225, 53-63.
- Daw T., W.N. Adger, K. Brown, M.-C. Badjeck (2009) – Climate change and capture fisheries: potential impacts, adaptation and mitigation. *FAO Fisheries Aquaculture Technical Papers*, 530, pp. 107-150
- Direzione Generale Pesca Marittima e dell'Acquacoltura del Ministero Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (2011). Decreto 20 maggio 2011, Adozione di Piani di gestione della flotta a strascico in sostituzione del decreto direttoriale n. 44 del 17 giugno 2010. *Gazzetta Ufficiale Repubblica Italiana*, S.O, (163), 143-303.
- Doney S., Fabry V.J., Feely R.A, Kleypas J.A.(2009). Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual Review Marine Science*, 1, 169-192. doi:10.1146/annurev.marine.010908.163834.
- Doney S., Ruckelshaus M., Duffy J.E., Barry J.P., Chan F., English C.A., Galindo H.M., Grebmeier J.M., Hollowed A.B., Knowlton N., Polovina J., Rabalais N.N., Sydeman W.J., Talley L.D. (2012). Climate Change Impacts on Marine Ecosystems, *Annual Review Marine Science*, 4, 11-37. doi: 10.1146/annurev-marine-041911-111611.
- Dupont S., Dorey N., Thorndyke M. (2010a).What meta-analysis can tell us about variability of marine biodiversity to ocean acidification? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 89, 182-185. doi: 10.1016/j.ecss.2010.06.013. Elsevier Ltd.
- Dupont S., Ortega-Martínez O., Thorndyke M. (2010b). Impact of near-future acidification on echinoderms. *Ecotoxicology*, 19, 3, 449-462. doi: 10.1007/s10646-010-04063-6 . Springer Science + Business Media.
- Dupont S., Thorndyke M. (2008). Ocean acidification and its impact on the early life history stages of marine animals. In: *CIESM Workshop Monograph*, 36, 89-98.
- European Commission (2013). Commission Staff Working Document – Principles and recommendations for integrating climate change adaptation considerations under the 2013-2020 European Maritime and Fisheries Fund operational programmes. *SWD (2013) 299 final*, 20 pp.
- FAO (2010). The State of world fisheries and aquaculture. FAO, Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. ISBN 978-92-5-106675-1,197 pp.
- Francour P., Boudouresque C.F., Harmelin J.G., Harmelin-Vivien M.L., Quignard J.P. (1994). Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators, *Marine Pollution Bulletin*, 28, (9), 523-526. doi:10.1016/0025-326X(94)90071-X. Elsevier Science Ltd.
- Froese R., Stern-Piriot A., Winker H., Gascuel D. (2008). Size-matters: how single-species management can contribute to ecosystem-based fisheries management. *Fisheries Research*, 92, 231-241. doi:10.1016/j.fishres.2008.01.005. Elsevier B.V.
- Froese R., Proelß A. (2010). Rebuilding fish stocks no later than 2015: will Europe meet the deadline? *Fish & Fisheries*, 11, 194-202. doi: 10.1111/j.1467-2979.2009.00349.x.
- Gačić M., Civitarese G., Eusebi Borzelli G.L., Kovačević V., Poulain P.-M., Theocharis A., Menna M., Catucci A., Zarokanellos N. (2011). On the relationship between the decadal oscillations of the northern Ionian Sea and the salinity distributions in the eastern Mediterranean, *Journal Geophysical Research*, 116, C12002. doi:10.1029/2011JC007280.
- Galil B. (2007). Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 55, 314-322. doi:10.1016/j.marpolbul.2006.11.008.
- Galil B., Frogliani C., Noel P. (2002). *CIESM Atlas of exotic species in the Mediterranean*. Vol. 2: Crustaceans: decapods and stomatopods. CIESM Publishers Monaco, 192 pp.

- Ganias K., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Machias A. (2007). Factors affecting the spawning period of sardine in two highly oligotrophic seas, *Marine Biology*, 151, 4, 1559-1569. doi: 10.1007/s00227-006-0601-0. Springer Verlag.
- Garcia S.M., Cochrane K.L. (2005). Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 311-318. doi:10.1016/j.icesjms.2004.12.003.
- Gazeau F., Gattuso J.P., Dawber C., Pronker A.E., Peene F., Peene J., Heip C.H.R., Middleburg J.J. (2010). Effect of ocean acidification on the early life stages of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Biogeosciences*, 7, 2051-2060. doi:10.5194/bg-7-2051-2010.
- Gesmundo G., Altomare C., Capozzi D., Costanza D., Marolla B. (2009). Modello per la redazione del piano di sicurezza. Assopesca Molfetta, Progetto Federpesca – UNCI Pesca Puglia, 1-81, [http://www.sicurpesca.eu/docs/manuali/Modello\\_per\\_la\\_redazione\\_del\\_piano\\_della\\_sicurezza.pdf](http://www.sicurpesca.eu/docs/manuali/Modello_per_la_redazione_del_piano_della_sicurezza.pdf).
- GFCM Secretariat (2012). First meeting of the GFCM ad hoc working group on the Black Sea. Background document on the Black Sea fisheries. Constanta (Romania), January 16-18, 130 pp.
- Giacalone V.M., D'Anna G., Badalamenti F., Pipitone C. (2010). Weight-length relationships and condition factor trend for thirty-eight fish species in trawled and untrawled areas off the coast of northern Sicily (central Mediterranean Sea), *Journal Applied Ichthyology*, 26, 954-957. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01491.x.
- Grbec B., Dulcic J., Morovic M. (2002). Long-term changes in landings of small pelagic fish in the eastern Adriatic, possible influence of climate oscillations over the Northern Hemisphere, *Climate Research*, 20, 241-252. doi:10.3354/cr020241.
- Gualdi S., Giorgi F., Navarra A. (2009). Proiezioni di cambiamento climatico nella regione euro-mediterraneo ottenute da simulazioni globali e regionali. In: I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti, Castellari S. e Artale V. (cur.), 47-80. Bononia University Press.
- Gucu A.C., F. Bingel (2011). Hake, *Merluccius merluccius* L., in the northeastern Mediterranean Sea: a case of disappearance, *Journal Applied Ichthyology*, 27, 1001-1012. doi: 10.1111/j.1439-0426.2011.01765.x.
- Hoegh-Guldberg O., Bruno J.F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328, no. 5985, 1523-1528. doi: 10.1126/science.1189930.
- Holt S. (2009). Sunken billions – But how many? *Fisheries Research*, 97, 1, 3-10.
- IPCC (2007). An assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Synthesis Report. IPCC Plenary XXVII, Valencia (Spain), 12-17 November 2007, 52 pp.
- IREPA (2000). Osservatorio economico sulle strutture produttive della pesca marittima in Italia. 1998. 1-352 Franco Angeli Edizioni, Milano.
- IREPA (2010). Osservatorio economico sulle strutture produttive della pesca marittima in Italia 2009. IREPA Onlus, 1-174. XVIII rapporto, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, disponibile solo on-line in: [www.irepa.org](http://www.irepa.org).
- Johannesburg World Summit (2002). The plan of implementation of the world summit on sustainable development. UN, 62 pp, [www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD\\_POI\\_PD/English/POIChapter4.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POIChapter4.htm).
- Kahoul M. (2009-2010) – Tonno rosso: i retroscena. *InforMare*, (121-122-123), 14.
- Lam V.W.Y., Cheung W.W.L., Close C., Hodgson S., Watson R., Pauly D. (2008). Modelling seasonal distribution of pelagic marine fishes and squids. In: Cheung WWL, V.W.Y. Lam, D. Pauly (Eds.) *Modelling Present and Climate-shifted Distributions of Marine Fishes and Invertebrates*. Fisheries Centre Research Report. Fisheries Centre, University of British Columbia, 16, (3), 51-62.

- Lejeusne C., Chevaldonné P., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., Pérez T. (2009). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea, *Trends Ecology Evolution*, 25, 4, 250-260. doi:10.1016/j.tree.2009.10.009. Elsevier Ltd.
- Lionello P., Baldi M., Brunetti M., Cacciamani C., Maugeri M., Nanni T., Pavan V., Tomozie R. (2009). Eventi climatici estremi: tendenze attuali e clima futuro sull'Italia. In: *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, 81-106, Bononia University Press.
- Maravelias C., Tsitsika E.V., Papacostantinou C. (2007). Environmental influences on the spatial distribution of European hake (*Merluccius merluccius*) and red mullet (*Mullus barbatus*) in the Mediterranean. *Ecological Research*, 22, 4, 678-685. doi: 10.1007/s11284-006-0309-0. Springer-Verlag.
- Melaku Canu D., Solidoro C., Cossarini G., Giorgi F. (2010). Effect of global change on bivalve rearing activity and the need for adaptive management. *Climate Research*, 42, 13-26. doi: 10.3354/cr00859.
- Morales-Nin B., Moranta J. (2004). Recruitment and post-settlement growth of juvenile *Merluccius merluccius* on the western Mediterranean shelf, *Scientia Marina* 68, 3, 399-409.
- Nykjaer L. (2009). Mediterranean Sea surface warming 1985-2006, *Climate Research*, 39, 11-17. doi: 10.3354/cr00794.
- Parlamento e Commissione Europea (2008). Direttiva 2008/56/CE del Parlamento europeo e Consiglio del 17 giugno 2008 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (direttiva quadro sulla strategia dell'ambiente marino). *Gazzetta Ufficiale Comunità Europea, (IT), Serie L, (164), 19-40.*
- Pauly D. (1998). Tropical fishes: patterns and propensities. *Journal Fish Biology*, 53, (suppl. A), 1-17. Article no. jb980810.
- Pelusi P. (2011). Pescaturismo e ittiturismo. In: Cataudella S., M. Spagnolo (cur.), *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani*. Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali, s.l., 652-654.
- Pinnegar J.K. (2012). Climate change and European fisheries: observed change and future prospects. EFARO Position Paper, August 2012, 34 pp.
- Polovina J.J., E.A. Howell, M. Abecassis (2008) – Ocean's least productive waters are expanding. *Geophysics Research Letters*, 35, L033618, (doi: 10.1029/2007GL031745), 5 pp.
- Pörtner H.O., Peck M.A. (2010). Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding, *Journal of Fish Biology*, 77, 1745-1779. doi: 10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x.
- Quignard J.P., J.A. Tomasini (2000). Mediterranean fish biodiversity. *Biologia Marina Mediterranea*, 7, (3), 1-66
- Raitsos D.E., Beugrand G., Georgopoulos D, Zenetos A., Pancucci-Papadopoulou A.M., Theocharis A., Papathanassiou E.J. (2010). Global climate change amplifies the entry of tropical species into the Eastern Mediterranean Sea. *Limnology & Oceanography*, 55, 4, 1478-1484. doi:10.4319/lo.2010.55.4.1478.
- Recasens L., Chiericoni V., Belcari P. (2008). Spawning pattern and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758)) in the western Mediterranean. *Scientia Marina*, 72, 4, 721-732. doi: 10.3989/scimar.2008.72n4721.
- Regner S. (1988). Composition and spatial distribution of zooplankton at the spawning areas of sardine in the eastern Adriatic. In: *FAO Fisheries Report, 394, Technical Consultation on Stock Assessment in the Adriatic and Ionian Seas*, 5, Bari (Italy), 1-5 Jun 1987 Caddy, J.F. (ed.) Savini, M. (ed.), FAO, Rome (Italy). General Fisheries Council for the Mediterranean, 51-56.
- Regner S., Piccinetti Manfrin G., Piccinetti C. (1988). The spawning of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in the Adriatic as related to the distribution of temperature. In: *FAO Fisheries Report, 394, Technical Consultation on Stock Assessment*

- in the Adriatic and Ionian Seas, 5, Bari (Italy), 1-5 Jun 1987 Caddy, J.F. (ed.) Savini, M. (ed.), FAO, Rome (Italy). General Fisheries Council for the, 127-132.
- Riedl B., M. Zuschin, M. Stachowitsch (2008) – Dead zones: a future worst-case for Northern Adriatic biodiversity. In: CIESM Workshop Series, 35, 73-77.
- Rinaldi A., Giovanardi F., Magaletti E. (2002). Attività di studio e controllo dei livelli trofici nei mari italiani, con particolare riferimento alle acque costiere adriatiche. *Biologia Marina Mediterranea*, 9, 1, 295-311.
- Romanelli M., Cordisco A.C., Giovanardi O. (2009). The long-term decline of the *Chamelea gallina* L. (Bivalvia: Veneridae) clam fishery in the Adriatic Sea: is a synthesis possible? *Acta Adriatica*, 50, (2), 171-205.
- Romanelli M., Giovanardi O. (2012). Recent patterns of the Adriatic hydraulic dredge fishery targeting striped venus *Chamelea gallina* (L.) clams and influence of smaller rivers. *Biologia Marina Mediterranea*, 19 (1), 218-219.
- Sabatés A., Martin P., Lloret J., Raya V. (2006). Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Global Change Biology*, 12, 11, 2209-2219. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01246.x.
- Sacco M. (2011). Le strategie di riduzione dei costi di produzione attraverso l'innovazione tecnologica: gli interventi per il risparmio energetico. In: Cataudella S., M. Spagnolo (cur.), *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani*. Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali, s.l., 655-666.
- Sala E, Kizilkaya Z, Yildirim D, Ballesteros E (2011). Alien Marine Fishes Deplete Algal Biomass in the Eastern Mediterranean, *PLoS ONE*, 6(2), e17356. doi:10.1371/journal.pone.0017356.
- Santojanni A., Cingolani N., Arneri E., Belardinelli A., Giannetti G., Colella S., Donato F., Russo A. (2006). Recruitment of sardine (*Sardina pilchardus* WALBAUM, 1792) in the Adriatic Sea and environmental factors. *Biologia Marina Mediterranea* 13, (1), 158-166.
- Sardà F., D'Onghia G., Politou C.Y., Company J.B., Maiorano P., Kapiris K. (2004). Deep-sea distribution, biological and ecological aspects of *Aristeus antennatus* in the western and central Mediterranean Sea, *Scientia Marina*, 68, (suppl. 3), 117-127.
- Sarmiento J.L., Slater R., Barber R., Bopp L., Doney S.C., Hirst A.C. Kleypas J., Matear R., Mikolajewicz U., Monfray P., Soldatov V., Spall S.A., Stouffer R. (2004). Response of ocean ecosystems to climate warming. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, 3, doi: 10.1029/2003GB002134.
- Semrau J. (2012). Fisheries in Veneto. EU Directorate-General for Internal Policies, Policy Department B: Structural and Cohesion Policies, Fisheries Note, 44 pp.
- Sinovčić G. (2001). Small pelagic fish from the Croatian fishing grounds. In: ADRIAMED Technical Document, 3, 53-58.
- STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries) (2010). 35th Plenary Meeting Report of the Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (Plen-10-3). (Eds. J. Casey, H. Dörner), Publications of the European Communities, Joint Research Centre, 226 pp.
- STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries) (2012). Report of the Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries on Assessment of Mediterranean Sea Stocks. (Eds. M. Cardinale, G. Chato-Osio & A. Charef), Publications of the European Communities, Joint Research Centre, 490 pp.
- Stenseth N.C., T. Rouyer (2008). Destabilized fish stocks. *Nature*, 452, 825-826.

- Stratoudakis Y., Coombs S., Lago de Lanzós A., Halliday N., Costas, G., Caneco B., Franco C., Conway D., Begoña Santos M., Silva A., Bernal M. (2007). Sardine (*Sardina pilchardus*) spawning seasonality in European waters of the northeast Atlantic, *Marine Biology*, 152, 1, 202-212. doi:10.1007/s00227-007-0674-4. Springer-Verlag.
- Streftaris N. (2004). Fish stocks outside Safe Biological Limits in 2002 (FISH1a). In: EEA, Environmental signals 2002 - Benchmarking the Millennium. Copenhagen, European Environmental Agency, 11 pp. [http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/fish-stocks-outside-safe-biological/fish1a\\_stocksoutsidesbl\\_2002\\_140504.pdf](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/fish-stocks-outside-safe-biological/fish1a_stocksoutsidesbl_2002_140504.pdf).
- Talmage S.C., Glober C.J. (2010). Effects of past, present and future ocean carbon dioxide concentrations on the growth and survival of larval shellfish. *Proceedings National Academy Sciences USA*, 107, 17246-17251. doi:10.1073/pnas.0913804107.
- Theocharis A. (2008). Do we expect significant changes in the Thermohaline Circulation in the Mediterranean in relation to the observed surface layers warming?, In: CIESM Workshop Monographs, 35, 25-29.
- Tsikliras A.C. (2008). Climate-related geographic shift and sudden population increase of a small pelagic fish (*Sardinella aurita*) in the eastern Mediterranean. *Marine Biology Research*, 4, 6, 477-481. doi:10.1080/17451000802291292.
- United Nations (2002). Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development. Johannesburg, UN, 62 pp., [www.un.org/esa/sustdev/.../WSSD\\_PlanImpl.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/.../WSSD_PlanImpl.pdf).
- Vaquer-Sunyer R., Duarte C.M. (2011). Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms. *Global Change Biology*, 17, 1788-1797. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02343.x. Blackwell Publishing Ltd.
- Whitehead P.J.P., Bauchot M.L., Hureau J.C., Nielsen J., Tortonese E. (Eds.) (1986). *Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol.2, 1473 pp. UNESCO, Paris.
- Yoshimura Y. (2002). A prospect of sail-assisted fishing boats. *Fisheries Science*, 68, (suppl. II), 1815-1818.
- Zenetos A., Gofas S., Russo G., Templado J. (2004). *CIESM Atlas of Exotic Species In The Mediterranean*. Vol. 3: Molluscs. Monaco, CIESM Publ., 376 pp.
- Zenetos A., Gofas S., Verlaque M., Çinar M.E., García Raso J.E., Bianchi C.N., Morri C., Azzurro E., Bilecenoglu M., Froggia C., Siokou I., Violanti D., Sfriso A., San Martín G., Giangrande A., Katağan T., Ballesteros E., Ramos-Esplá A., Mastrototaro F., Ocaña O., Zingone A., Gambi M.C., Streftaris N. (2010). Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 1. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science*, 11, (2), 381-493. doi: 10.12681/mms.87.
- Zenetos A., Gofas S., Morri C., Rosso A., Violanti D., Garcia Raso J.E., Çinar M.E., Almogi-Labin A., Ates A.S., Azzurro E., Ballesteros E., Bianchi, C.N., Bilecenoglu M., Gambi M.C., Giangrande A., Gravili C., Hyams-Kaphzan O., Karachle P.K., Katsanevakis S., Lipej L., Mastrototaro F., Mineur F., Pancucci-Papadopoulou M.A., Ramos-Esplá A., Salas C., San Martín G., Sfriso A., Streftaris N., Verlaque M. (2012). Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways. *Mediterranean Marine Science*, 13, (2), 328-352. doi: 10.12681/mms.327.
- Ziveri P., Meier S.K.J., Auliaherliaty L., Beaufort L., Stoll H.M., Triantaphyllou M. (2008). Impact of acidification on pelagic calcifying organisms in the Mediterranean Sea. In: Impacts of acidification on biological, chemical and physical systems in the Mediterranean and Black Seas, 36, 99-101, In: CIESM Workshop Monographs, F. Briand Ed.
- Zucchetta M., Cipolato G., Pranovi F., Antonetti P., Torricelli P., Franzoi P., Malavasi S. (2012). The relationships between temperature changes and reproductive investment a brackish fish: insights for the assessment of climate change effects. *Estuarine and Coastal and Shelf Science*, 101, 15-23.

# Acquacoltura

## Sintesi

L'Italia è il terzo paese produttore in acquacoltura in ambito comunitario, dopo la Francia e la Spagna, e secondo in ambito mediterraneo dopo l'Egitto; con circa 1000 insediamenti produttivi assicura il 50%, in termini di volume, della produzione ittica nazionale (2010).

L'acquacoltura è parte di un complesso sistema ecologico e economico e la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici è resa complessa dalla diversificazione dei sistemi produttivi, delle tecnologie adottate, delle specie, della localizzazione geografica, delle caratteristiche ambientali del territorio, e dalla possibile combinazione di più fattori d'impatto. Il capitolo descrive per questo settore i principali fattori e effetti di cambiamento, e gli impatti che potrebbero essere generati in risposta alle variazioni climatiche. Utilizzando l'approccio dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), le conoscenze disponibili e il giudizio esperto, viene qui fornita una stima del grado di vulnerabilità dei diversi sistemi di produzione e proposte alcune misure di adattamento. Tuttavia le conoscenze disponibili sono molto scarse e le incertezze che permangono richiedono studi e ricerche per valutare le opzioni di adattamento più appropriate, le opportunità che possono emergere e minimizzare gli effetti avversi che i cambiamenti climatici potranno avere sulle attività d'acquacoltura e gli ambienti di riferimento. L'applicazione dell'analisi del rischio al settore dell'acquacoltura può rappresentare un valido approccio metodologico per valutare i fattori di rischio e gli impatti socio-economici indotti dai cambiamenti climatici, su cui basare future misure e strategie di adattamento.

## Introduzione

### *Il ruolo dell'acquacoltura nelle produzioni alimentari*

L'acquacoltura è il settore a più rapida crescita nell'ambito delle produzioni agroalimentari e il sistema di produzione animale con la più bassa incidenza sulle emissioni di gas serra (FAO, 2010; Meyhoff Fry, 2012).

La produzione di acquacoltura a livello globale è stata nel 2010 di circa 60 milioni di tonnellate. La produzione mondiale di pesca, pari a circa 90 milioni di tonnellate, è rimasta stabile negli ultimi 10 anni e considerato il superamento dei limiti di sostenibilità delle attività di cattura in mare, non si prevede un incremento futuro (FAO, 2012). Per il periodo 2011-2021, le previsioni della FAO stimano una crescita globale del 30% dell'acquacoltura e, per la prima volta, un contributo dell'acquacoltura alla produzione di prodotti ittici per il consumo umano oltre il 52%, superiore a quello della pesca.

Nel 2009 i prodotti ittici hanno fornito il 16,6% delle proteine animali consumate dalla popolazione mondiale ed il 6,5% di tutte le proteine. Il consumo procapite di prodotti ittici è in costante aumento e nel 2021 è stimato in 19,6 kg, il 16% in più rispetto al periodo 2009-2011 (FAO, 2012).

Il Rapporto sullo stato della Pesca e dell'Acquacoltura nel mondo evidenzia che nei prossimi decenni si assisterà a grandi cambiamenti a livello di economie, mercati, risorse e condotta sociale, e l'impatto dei cambiamenti climatici contribuirà ad aumentare l'incertezza di molti settori alimentari, in particolare per i prodotti di pesca e acquacoltura (FAO, 2012).

Nel Mediterraneo la pesca e l'acquacoltura rivestono grande importanza sotto l'aspetto socio-economico e culturale e le tendenze e le criticità in quest'area sono per molti versi analoghe a quelle che si rilevano su scala globale. La pesca registra forti oscillazioni e la maggior parte degli stock ittici riversa in condizioni di sovrasfruttamento. L'acquacoltura è in forte espansione in molti paesi mediterranei e nell'ultimo decennio ha aumentato la produzione del 77% raggiungendo circa 1,3 milioni di tonnellate nel 2009. Il valore totale della produzione, circa 3,7 miliardi di dollari è pari al 3,4% del valore della produzione mondiale d'acquacoltura (Rosa et al., 2012). I paesi del sud del Mediterraneo fanno registrare una forte crescita e una grande capacità produttiva grazie alle condizioni ambientali più favorevoli e ai costi di produzione più bassi, rispetto ai paesi mediterranei europei. Proiezioni all'anno 2050 (Merino et al., 2012) suggeriscono politiche condivise di sviluppo sostenibile della pesca e dell'acquacoltura per superare l'impatto dei cambiamenti climatici sulle produzioni ittiche.

### *L'acquacoltura in Italia: produzioni, specie, tecnologie*

L'Italia è il terzo paese produttore in ambito comunitario, dopo la Francia e la Spagna, e secondo in ambito mediterraneo dopo l'Egitto (FAO, 2011; Rosa et al., 2012). L'acquacoltura ha contribuito nel 2010, con poco meno di un migliaio di impianti, a circa la metà della produzione ittica nazionale con oltre 232 mila tonnellate e un ricavo complessivo di 557 milioni di Euro (ISMEA-IPSOA, 2011; Rosa et al., 2012).

Il settore è organizzato in due segmenti principali che includono la piscicoltura e la molluschicoltura; la crostaceicoltura ha scarsa rilevanza produttiva. La produzione si concentra su cinque specie principali: trote, spigole, orate, mitili e vongole veraci. I sistemi aziendali differiscono per caratteristiche strutturali, produttive, economiche e commerciali. Solo per la trocicoltura, ad esempio, sono state identificate sei differenti tipologie aziendali (ISMEA-IPSOA, 2011).

L'acquacoltura italiana sfrutta tutte le tipologie di acque disponibili: le acque dolci, sia fredde che calde, le acque salmastre degli ambienti di transizione, le acque salate delle zone costiere e del mare aperto. I sistemi di produzione sono conseguentemente molto diversificati in ragione della localizzazione geografica dei siti di allevamento e delle condizioni ambientali. Le tecniche produttive variano da quelle di tipo estensivo praticate in valli, stagni e lagune costiere, ai sistemi altamente intensivi che utilizzano vasche a terra e gabbie in mare di vario tipo. Nei sistemi estensivi l'intervento di gestione da parte dell'uomo è molto ridotto, mentre l'allevamento di tipo

intensivo richiede tecnologie avanzate ed un elevato grado di intervento. E' nota la diversità dei due sistemi d'allevamento anche in termini di capacità produttività e compatibilità ambientale.

La distribuzione degli impianti di acquacoltura, illustrata nella seguente figura (Figura 1.14), riflette in generale le caratteristiche geografiche del territorio, come l'abbondanza di risorse idriche fluviali, la presenza di ecosistemi naturalmente sfruttabili e di siti costieri con caratteristiche ambientali particolarmente favorevoli. Per tali ragioni geografiche, il Nord ha un ruolo dominante nell'acquacoltura italiana, in termini di numero di impianti e di produzioni, con il Veneto, l'Emilia-Romagna e il Friuli come poli produttivi. L'allevamento di pesci d'acqua dolce (trote, salmerini, storioni, anguille) si concentra nelle regioni del nord (Friuli-Venezia Giulia, Veneto, Lombardia, Trentino-Alto Adige), mentre l'allevamento di specie ittiche di acqua salata (spigole, orate, e altre specie minori) prevale nelle regioni del centro-sud e nelle isole (Toscana, Sicilia, Lazio, Sardegna, Puglia). Le produzioni di molluschi (mitili e vongole veraci) insistono sulla fascia adriatica, dalla laguna di Grado fino al Gargano, e nel Tirreno, in Sardegna e in Campania.

Le produzioni per specie allevate in Italia per l'anno 2010 sono riportate nella Tabella 1.14. Tra le specie d'acque dolci, le trote sono le più rilevanti dal punto di vista produttivo (40.000 t) e rappresentano oltre il 50% della produzione totale di pesci. Tra le specie d'acqua salata e salmastra, le produzioni di spigola e orata hanno raggiunto le 18.600 t. La molluschicoltura è la principale voce produttiva dell'acquacoltura nazionale. L'Italia con circa 160.000 t di produzione è il decimo produttore al mondo di bivalvi, preceduta in Europa dalla Spagna e dalla Francia (Prioli, 2008; 2012). La produzione nazionale di vongole veraci, è seconda nella classifica mondiale, preceduta dalla Cina (Turolla, 2008; Prioli, 2012).

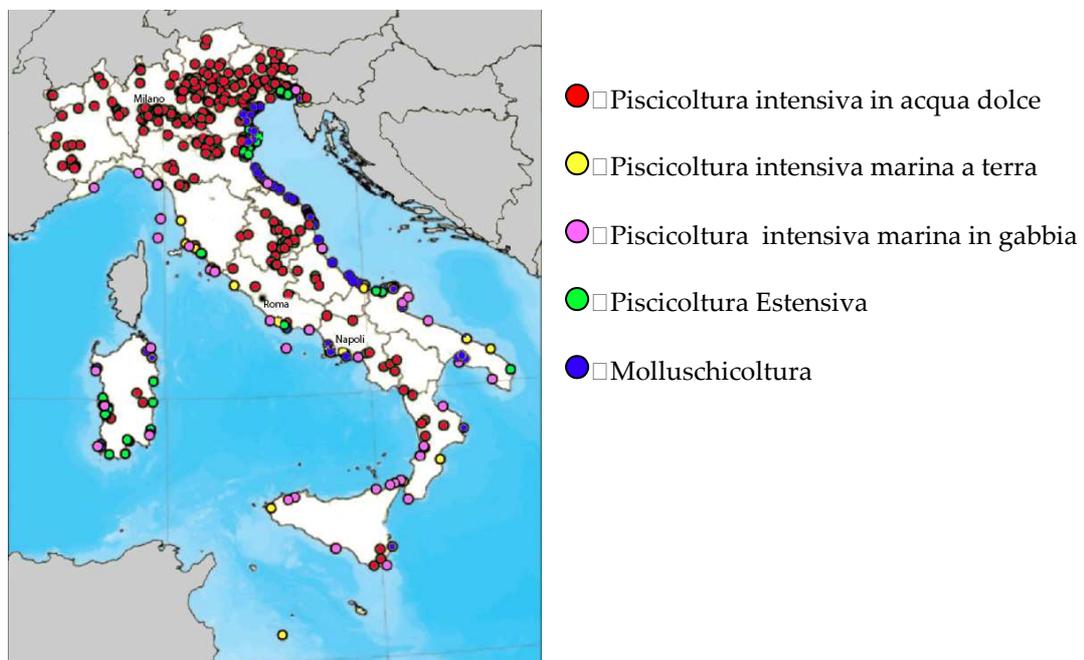


Figura 1.14: Distribuzione territoriale degli impianti nazionali di acquacoltura. (Fonte: elaborazione da Cataudella e Spagnolo, 2011).

Specie	Impianti a terra e a mare (t)	Impianti vallivi e salmastri (t)	Totale (t)	Valore (migliaia di €)
Spigola ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )	9.100	700	9.800	70.500
Orata ( <i>Sparus aurata</i> )	8.100	700	8.800	57.200
Ombrina ( <i>Umbrina cirrosa</i> ; <i>Argyrosomus regius</i> )	300		300	2.100
Anguilla ( <i>Anguilla anguilla</i> )	1.100	100	1.200	11.200
Cefali ( <i>Mugilidae</i> )		3.800	3.800	12.000
Trota ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	40.000		40.000	145.000
Pesce gatto ( <i>Ictaluridae</i> )	550		550	3.300
Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> )	700		700	2.600
Storione ( <i>Acipenseridae</i> )	1.380		1.380	14.000
Altri pesci*	5.600		5.600	17.000
<b>Totale piscicoltura</b>	<b>66.830</b>	<b>5.300</b>	<b>72.130</b>	<b>334.900</b>
Mitili ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> )			120.000	78.000
Vongola verace ( <i>Tapes philippinarum</i> )			40.000	144.000
<b>Totale molluschicoltura**</b>			<b>160.000</b>	<b>222.000</b>
<b>TOTALE ACQUACOLTURA</b>			<b>232.130</b>	<b>556.900</b>

**Tabella 1.14:** Produzioni delle principali specie allevate e valore economico dell'acquacoltura italiana. Elaborazioni dati API 2011 \* Tonno, dentice, sarago, persico spigola, salmerino, luccio, ecc.; \*\* inclusi molluschi raccolti su banchi naturali (Fonte: Cataudella e Spagnolo, 2011).

## Impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura

L'acquacoltura è vulnerabile agli effetti dei cambiamenti climatici per diversi fattori (De Silva e Soto, 2009; De Young et al., 2012; De Silva, 2012), mentre la vulnerabilità della pesca è per lo più dovuta ad effetti diretti e indiretti sull'abbondanza e la distribuzione delle specie oggetto di cattura. Nel caso dell'acquacoltura, i cambiamenti del clima possono influenzare gli ecosistemi che supportano le attività d'allevamento, i cicli di produzione, le infrastrutture, la fisiologia degli organismi prodotti nelle aziende o raccolti in natura.

Cambiamenti nei regimi termici, nelle precipitazioni e i loro effetti sulla concentrazione di ossigeno disciolto e sulla salinità, possono avere effetti diretti sulla riproduzione, la crescita e la sopravvivenza delle specie allevate. Similmente, per le specie per le quali l'allevamento dipende dalla disponibilità di seme selvatico e giovanili raccolti in natura, i cambiamenti negli habitat dai quali gli adulti dipendono può ridurre la disponibilità di materiale da semina, con effetti indiretti sui cicli di produzione. Le infrastrutture utilizzate per la produzioni d'acquacoltura sono localizzate a terra e non possono essere spostate in caso di condizioni climatiche eccezionali. Altri esempi di effetti indiretti sulla viabilità delle operazioni d'acquacoltura includono la ridotta disponibilità di ingredienti (farine e oli di pesce) per i mangimi e interruzioni di energia durante i cicli di produzioni per disastri naturali.

A fronte di significativi impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura, questo sistema produttivo ha una ridotta rilevanza nelle emissioni di gas serra, e l'incidenza di alcuni sistemi

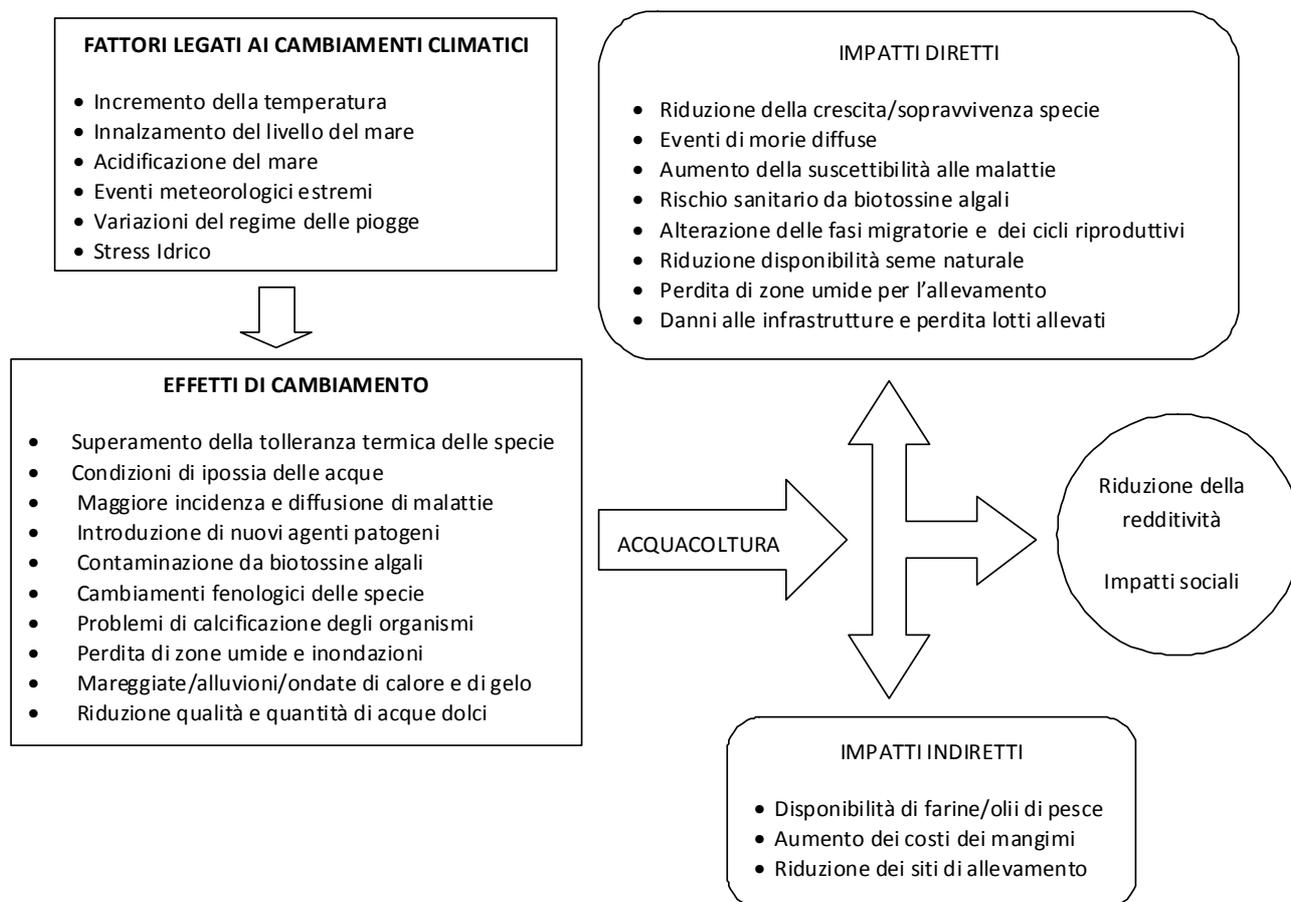
come ad esempio l'allevamento di molluschi e alghe è minima o nulla, fornendo altresì servizi ecosistemici (FAO 2010; Meyhoff Fry, 2012).

L'acquacoltura è praticata ovunque al mondo e nelle tre principali zone climatiche - tropicale, subtropicale e temperata - e in tre ambienti, acque dolci, salmastre e marine. L'impatto dei cambiamenti climatici varia in funzione della combinazione di due delle descritte dimensioni ambientali e climatiche. Nelle zone temperate, le produzioni sono più influenzate dagli effetti legati all'innalzamento della temperatura delle acque, tra cui il superamento della tolleranza termica delle specie allevate e la diffusione di agenti patogeni e parassiti (FAO, 2010). Su scala mediterranea, i potenziali impatti sull'acquacoltura sono differenti tra i paesi a nord e a sud del Mediterraneo (Rosa et al., 2012). Su scala europea, sono i paesi del nord europei come la Norvegia, la Gran Bretagna e l'Irlanda quelli in cui sono attesi gli impatti più significativi, sia per la maggiore influenza dei cambiamenti climatici nella regione atlantica rispetto a quella mediterranea, sia per la grande rilevanza economica dell'acquacoltura in questi paesi. In Norvegia, primo produttore al mondo di salmoni, i cambiamenti climatici sono stati posti all'attenzione della comunità scientifica e delle istituzioni prioritariamente (Lorentzen, 2008; Callaway et al., 2012), rispetto ad altre possibili fonti d'impatto.

In Italia, sebbene non ci siano ancora conoscenze e evidenze specifiche sulla vulnerabilità ai cambiamenti climatici delle attività d'acquacoltura, l'attenzione sta crescendo negli ultimi anni in particolare per gli effetti che i cambiamenti del clima possono avere sulla produzione di molluschi (Viaroli et al., 2007; Melaku Canu et al., 2010).

### ***Fattori climatici prioritari per l'acquacoltura***

L'acquacoltura è un'attività che ha strette relazioni con gli ambienti e gli ecosistemi acquatici. Alcuni ecosistemi, in particolare le coste, le lagune e i delta dei fiumi sono ritenuti più vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici (Viaroli et al, 2007; Torresan et al., 2012). In queste zone, l'acquacoltura italiana è molto sviluppata ed è quindi prevedibile che alcuni settori produttivi possano essere maggiormente vulnerabili. L'impatto dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura è associabile a diversi fattori diretti tra cui: i) aumento delle temperature superficiali, ii) innalzamento del livello del mare, iii) acidificazione delle acque, iv) aumento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi, v) alterazione del regime delle piogge e stress idrico (Figura 2.14).



**Figura 2.14:** Rappresentazione schematica dei principali potenziali impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura (Fonte: modificata da De Silva, 2012).

## Aumento della temperatura delle acque superficiali

### Tolleranza termica delle specie

La temperatura ha un'influenza diretta sulla fisiologia degli organismi acquatici in quanto animali eterotermi. L'aumento della temperatura stimola il metabolismo, il consumo energetico e la crescita degli organismi, sino al limite di tolleranza termica delle specie. I limiti termici sono determinati dalla limitata capacità del sistema cardio-circolatorio e respiratorio di soddisfare la domanda di ossigeno dei tessuti, che in condizioni di anaerobiosi cessano le proprie attività e funzioni specifiche (Pörtner e Farrell, 2008). Al di sotto del limite di tolleranza termica delle specie, l'innalzamento della temperatura dell'acqua può avere effetti positivi sull'acquacoltura in termini di maggiore accrescimento degli animali e riduzione temporale dei cicli di allevamento (King e Pankhurst, 2007). La finestra termica, tra la temperatura ottimale e quella critica alla quale iniziano a comparire effetti indesiderati sulla crescita, sulle funzioni riproduttive e sulla suscettibilità alle malattie, è tuttavia molto ristretta (Battaglene et al., 2008). L'influenza della temperatura sulla

riproduzione delle specie ha importanti implicazioni per l'acquacoltura. Nel salmone atlantico in allevamento è stato osservato un effetto inibitorio sulla gametogenesi e sulla maturazione delle gonadi nei riproduttori. La regolazione della temperatura dell'acqua attraverso tecnologie adeguate o, in alternativa, l'applicazione di terapie ormonali che possano stimolare le normali funzioni endocrine, rappresentano delle misure di intervento per ovviare a questo problema (Pankhurst e King, 2010).

La riduzione della concentrazione di ossigeno in acqua è un altro problema derivante dall'innalzamento della temperatura. Temperature medie troppo elevate o ondate di calore estivo possono determinare zone di anossia, definite dead-zone per le specie sessili, su aree di basso fondale. Questo fenomeno può avere effetti indesiderati sull'allevamento dei molluschi, in particolare vongole, mitili e ostriche, per le quali è stato osservato in condizioni di ipossia un tempo di sopravvivenza ridotto del 74% e una concentrazione letale media dell'ossigeno che aumenta all'aumentare della temperatura (Vaquer-Sunyer e Duarte, 2011). Anche la crescita può essere influenzata negativamente dal riscaldamento delle acque superficiali come evidenziato da uno studio recente che simula l'impatto dell'aumento della temperatura e di altre variabili sull'allevamento della vongola filippina nella Laguna di Venezia. Lo studio rivela anche una riduzione della finestra temporale ottimale per la semina e suggerisce misure gestionali adattative (Melaku Canu et al., 2010). Il riscaldamento delle acque superficiali potrebbe determinare una limitazione geografica lungo le coste italiane dei siti per l'acquacoltura marina, che potrebbe essere ovviata attraverso la selezione di popolazioni/strain più tolleranti, l'allevamento di nuove specie (Somero, 2010) e lo sviluppo di tecnologie offshore.

### ***Eutrofizzazione e fioriture di alghe tossiche***

L'aumento della temperatura associato all'eutrofizzazione delle acque può determinare l'insorgenza di fioriture algali che producono biotossine, pericolose per le specie acquatiche e per l'uomo (Hinder et al., 2012; Marques et al., 2010). Gli effetti prodotti dalle fioriture differiscono a seconda delle specie. Alcune specie si sviluppano a concentrazioni tali da ridurre la concentrazione di ossigeno e creare condizioni di ipossia che possono indurre morie di pesci, di molluschi e di altri invertebrati, con conseguenze negative anche sugli stock allevati. Altre specie producono potenti tossine che si accumulano nella catena alimentare e che possono causare effetti vari nei consumatori secondari, animali filtratori come i bivalvi e l'uomo attraverso il consumo di molluschi contaminati. Nell'ultimo decennio, fenomeni di intossicazione sono stati segnalati in diversi paesi lungo il bacino del Mediterraneo. In Italia, il Laboratorio Nazionale di Riferimento per le Biotossine Marine<sup>217</sup> segnala casi di intossicazione in Friuli e Emilia-Romagna, e casi più frequenti in Sardegna causati da Dinoficee<sup>218</sup>.

---

<sup>217</sup> Centro Ricerche Marine – Laboratorio Biotossine: [http://www.centroricerchemarine.it/home.php?mlItem=95&Lang=it&Item=lab\\_bio](http://www.centroricerchemarine.it/home.php?mlItem=95&Lang=it&Item=lab_bio).

<sup>218</sup> Le Dinoficee (*Dinophyceae*) sono una classe di alghe unicellulari flagellate. Sono importanti perché responsabili delle maree rosse e si sviluppano in determinate condizioni: bassa salinità, temperatura elevata, mare calmo.

Nella zona della Galizia in Spagna, per il significativo impatto che le fioriture algali tossiche possono avere sulle molluschicoltura è stato attivato permanentemente un sistema di monitoraggio delle condizioni fisico-chimiche delle acque per allertare gli impianti di molluschicoltura sulla possibile insorgenza di fioriture algali pericolose.<sup>219</sup>

### ***Incidenza e diffusione di malattie***

I cambiamenti climatici avranno un impatto rilevante sulla diffusione di parassiti e patogeni negli ecosistemi acquatici principalmente per effetto dell'aumento della temperatura e della frequenza degli eventi meteorologici estremi (forti precipitazioni, inondazioni, ondate di calore, eventi siccitosi), a loro volta causa di alterazioni ambientali (Marcogliese, 2008; Levinton et al., 2011). La distribuzione dei parassiti e dei patogeni sarà influenzata direttamente dall'innalzamento della temperatura, e indirettamente attraverso l'aumento della gamma delle specie ospite e della loro abbondanza. Anche la trasmissione e la virulenza dei patogeni e dei parassiti, potranno aumentare a seguito dell'innalzamento della temperatura. Lo stress termico di per sé potrà agire come fattore stressante per gli organismi acquatici e causare una riduzione delle difese immunitarie. Ci si attende quindi che le variazioni dei fattori climatici possano determinare un maggiore rischio epidemiologico in acquacoltura legato alla comparsa e diffusione di nuove patologie ittiche a forte impatto economico, e al cambiamento delle interazioni ospite-patogeno, con aumento della prevalenza di alcune malattie infettive/infestive dei pesci e molluschi, potenzialmente trasmissibili anche all'uomo (Ghittino, 2011). Le infezioni da cocchi Gram positivi, in particolare le Streptococcosi d'acqua calda sostenute da germi patogeni con temperatura superiore a 15°C, che colpiscono sia Salmonidi che pesci marini possono essere considerate le patologie emergenti in Italia (Alborali, 2006; Ghittino, 2011), come segnalato anche nelle acque dolci dell'Inghilterra e del Galles (Marcos-Lopez et al., 2010). La temperatura può influenzare anche l'incidenza delle infezioni parassitarie, soprattutto per i parassiti che hanno un ciclo diretto come nel caso del protozoo ciliato *Ichthyophthirius multifiliis* che colpisce i Salmonidi.

La nodaviosi<sup>220</sup> è una grave patologia virale in grado di causare ingenti danni economici all'acquacoltura marina. La malattia è stata segnalata in oltre quaranta specie ittiche, tra cui spigola, sarago, cernia, cefali, pagello, sogliola, ombrina, orata e altre. La maggior parte dei pesci colpiti appartiene a specie d'acqua calda e l'infezione può manifestarsi entro un ampio range di temperatura, compreso tra 17 e 28°C. Per tale patologia non esistono presidi sanitari, farmaci e vaccini, in grado di contrastare il virus (Maltese e Bovo, 2007).

I molluschi, soprattutto durante le prime fasi di sviluppo, sono sensibili alle malattie batteriche come ad esempio le vibriosi. I patogeni del genere *Vibrio sp.* sono ubiquitari nelle acque marine e la loro crescita è dipendente dalla temperatura delle acque. Anche in questo caso l'innalzamento della temperatura potrebbe aumentare il rischio di incidenza delle infezioni batteriche nei

---

<sup>219</sup> [www.intecmar.org](http://www.intecmar.org).

<sup>220</sup> Encefalo-retinopatia virale.

molluschi. Particolare importanza rivestono le malattie notificabili dei molluschi, riportate nell'Allegato IV del Dlgs. n 148/2008.<sup>221</sup> Attualmente sono presenti in Italia le due parassitosi non esotiche da *Bonamia ostreae* e *Marteilia refrigens*, e quella esotica sostenuta da *Bonamia exitiosa*, senza tuttavia impatti sullo stato sanitario dei molluschi selvatici e allevati. Anche l'erpervirosi dell'ostrica, considerata emergente in EU, è presente in Italia (De Vico e Carella, 2012). Al momento non ci sono elementi per poter prevedere quali possano essere le tendenze di queste malattie nei futuri scenari dei cambiamenti climatici.

### ***Cambiamenti fenologici***

L'aumento delle temperature, in particolare delle minime, ha un effetto diretto sulla fenologia delle specie, modificando durante l'arco dell'anno i tempi degli eventi che scandiscono il ciclo di vita delle specie. I cambiamenti fenologici mediati dalla temperatura descritti in letteratura per i pesci teleostei, riguardano: anticipo della riproduzione, comparsa precoce delle forme larvali, alterazioni del comportamento migratorio, maggiore investimento energetico per la riproduzione, maturazione precoce, alterazione della crescita e riduzione della durata della vita (Franco et al., 2003; Sims et al., 2004). Cambiamenti di temperatura potrebbero quindi avere importanti effetti biologici e causare uno sfasamento tra gli eventi riproduttivi e la disponibilità trofica per l'accrescimento delle larve e dei giovanili, con effetti sul reclutamento e lo stato delle popolazioni. La piscicoltura estensiva che si esercita tipicamente nelle valli e nelle lagune, potrebbe essere influenzata dai cambiamenti fenologici delle specie ittiche che vivono in questi ambienti, come ad esempio spigola, orata, saraghi, cefali.

Recentemente è stato sviluppato un modello predittivo sul ghiozzo di laguna, *Zosterisessor ophiocephalus*, che vive nella laguna di Venezia per valutare lo spostamento temporale dei picchi riproduttivi in relazione alle fluttuazioni termiche interannuali, evidenziando l'anticipo del picco riproduttivo negli anni più caldi (Zucchetta et al., 2012). Questo modello fornisce uno strumento per prevedere cambiamenti fenologici legati alle variazioni climatiche, riguardanti in particolare la riproduzione e il reclutamento di specie che vivono in laguna.

Un altro modello è stato sviluppato nel cefalo, *Mugil cephalus*, per studiare la distribuzione spaziale e temporale della popolazione di questa specie nella laguna di Cabras e nel Golfo di Oristano, in risposta a variazioni ambientali di temperatura e concentrazione di ossigeno (Cucco et al., 2012). Nel modello sono stati accoppiati i dati sperimentali sulle performance metaboliche dei pesci in relazione ai valori di temperatura e ossigeno con quelli ecologici e idrodinamici della laguna. La distribuzione della popolazione nella laguna e la sua migrazione verso il mare ha restituito risultati concordanti con i dati delle catture. Questo modello trova applicazione in studi previsionali sulla capacità produttiva, in termini di risorse ittiche, nelle lagune e negli ambienti dove si esercita l'acquacoltura estensiva, in risposta alle variazioni ambientali associate al cambiamento del clima.

---

<sup>221</sup> <http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/08148dl.pdf>.

### **Innalzamento del livello del mare**

L'aumento del livello del mare comporterà il rischio di inondazioni lungo la fascia costiera con perdita di zone umide, in corrispondenza delle foci dei fiumi e delle pianure depresse. Secondo uno studio della NASA-GISS<sup>222</sup>, sarebbero a rischio inondazione circa 4.500 chilometri quadrati di aree costiere e pianure distribuite principalmente nel Basso Adriatico e Ionio (62,6%), nell'Alto Adriatico (25,4%), nella parte occidentale e meridionale della Sardegna (6,6%) e nel medio Adriatico e Tirreno (5,4%). Sarebbero quindi a rischio le zone umide, tra cui valli, lagune e stagni costieri, che vengono gestite per le attività di allevamento estensivo, presenti in diverse regioni italiane (Marino e Livi, 2011). L'impatto sarebbe gravissimo con perdite non quantificabili di natura economica, ambientale e socio-culturale per l'importanza dei servizi ecosistemici che le zone umide hanno nell'economia nazionale. Azioni mirate alla gestione conservativa della fascia costiera e delle zone umide hanno un'importanza strategica per l'adattamento ai cambiamenti climatici (Ferrari, 2011).

Un altro problema è rappresentato dall'infiltrazione di acqua salata nelle falde costiere di acqua dolce con impatto sulla disponibilità e la qualità di acqua dolce, e la trasformazione di acque salmastre in acque ipersaline con effetti negativi sull'allevamento di specie d'acqua dolce e salmastra. Il problema dell'infiltrazione salina potrà essere aggravato dalla riduzione del deflusso e dall'aumento del prelievo di acqua dolce a seguito del maggiore consumo in molte zone costiere.

Il cambiamento delle specie allevate, con la scelta di quelle eurialine<sup>223</sup> e, dove possibile, l'allontanamento degli impianti produttivi dalla costa in siti più idonei, rappresentano alcune misure di adattamento a questo problema.

### **Acidificazione delle acque**

L'acidificazione degli oceani influenzerà diversi processi chimici, fisici e biologici. La riduzione del pH e della disponibilità dei carbonati in acqua influenzerà i processi di formazione e dissoluzione delle parti scheletriche e della conchiglia di molti organismi marini, con possibili impatti sulla sopravvivenza e sulla fitness (Orr et al., 2005; CIESM, 2008).

Tra le specie d'acquacoltura, i molluschi bivalvi, tra cui vongole, mitili e ostriche, sono il gruppo tassonomico più vulnerabile all'acidificazione. Diversi recenti studi hanno evidenziato problemi nella calcificazione della conchiglia già negli stadi iniziali di sviluppo di questi organismi con conseguenti anomalie nello sviluppo, riduzione della crescita e della sopravvivenza (Gazeau et al., 2010; Range et al., 2011). Durante il ciclo di sviluppo dei molluschi bivalvi, la fase di transizione dalla forma larvale pelagica a quella giovanile bentonica<sup>224</sup>, è molto critica e caratterizzata da

---

<sup>222</sup> National Aeronautics and Space Administration - Goddard Institute for Space Studies.

<sup>223</sup> L'eurialità è la caratteristica degli organismi acquatici di poter sopportare notevoli variazioni del grado di salinità dell'acqua.

<sup>224</sup> Il benthos (o bentos) è la categoria ecologica che comprende gli organismi acquatici, sia d'acqua dolce sia marini, che vivono in stretto contatto con il fondo o fissati ad un substrato solido.

un'elevata mortalità naturale, pertanto ulteriori stress ambientali potrebbero ridurre significativamente il reclutamento del seme in natura, come è già stato dimostrato sperimentalmente in esperimenti condotti nel Tirreno centrale posizionando dei collettori artificiali lungo un gradiente di CO<sub>2</sub> e pH (Cigliano et al., 2010). Per la molluschicoltura, questo problema in futuro potrà comportare la riduzione della disponibilità di seme naturale per l'avvio delle attività di allevamento e la necessità di approvvigionamento di seme artificiale prodotto negli schiuditori. La ricerca genetica potrebbe contribuire alla selezione di specie/strain di molluschi bivalvi più tolleranti ad acque più acide e con minore durezza.

Anche nei Teleostei l'acidificazione potrebbe influenzare la formazione delle parti del corpo calcificate, come otoliti, colonna vertebrale e raggi delle pinne con problemi potenziali sullo sviluppo, sulla capacità di nuoto, di alimentazione e di comportamento antipredatorio con effetti a lungo termine sulla sopravvivenza e sulla crescita. Studi sperimentali sull'esposizione di stadi larvali di specie marine e salmastre a diverse concentrazioni di CO<sub>2</sub>, hanno dimostrato una riduzione della sopravvivenza e della crescita larvale, alterazioni della risposta sensoriale e del comportamento, una compromissione funzionale di diversi organi, come l'occhio, il fegato, il rene e l'intestino (Baumann et al., 2012; Frommel et al., 2012; Nilsson et al., 2012). Analogamente ai molluschi bivalvi, l'acidificazione del mare in futuro potrebbe quindi ridurre il reclutamento dei giovanili in natura e influenzare lo stato delle popolazioni di molte specie ittiche. Questo problema potrebbe avere un impatto sulla piscicoltura estensiva basata sia sulla rimonta naturale del novellame sia sulla loro cattura in natura e successiva semina nelle valli e nelle lagune costiere. Il ricorso alla semina con giovanili artificiali prodotti in avannotteria può ovviare a questo problema ma comporterebbe, tra l'altro, un aggravio economico sui costi di produzione.

### *Eventi estremi e stress idrico*

Alterazione del regime delle precipitazioni e le inondazioni comportano un peggioramento della qualità delle acque, con aumento della torbidità, del carico di nutrienti e di contaminanti in prossimità delle foci dei fiumi e lungo le coste adiacenti. Gli impatti prevedibili sull'acquacoltura interesseranno gli impianti di molluschicoltura e di piscicoltura estensiva. Elevate concentrazioni di solidi sospesi potrebbero ridurre i tassi di filtrazione dei molluschi bivalvi, mentre un eccessivo carico di nutrienti potrebbe causare fenomeni di eutrofizzazione, di ipossia/anossia delle acque e fioriture di alghe tossiche. Gli allagamenti degli impianti potrebbero inoltre determinare mortalità massive dei pesci allevati in bacini sia di acqua dolce che salmastra e marina. L'alterazione del regime delle piogge e del deflusso delle acque, e l'aumento del rischio di alluvioni e inondazioni possono ridurre la disponibilità di acqua dolce per allevamento di specie ittiche, come trote e storioni, e gli impianti dovranno adeguarsi a limitare il prelievo e a sostenere costi economici per il prelievo. L'aumento della frequenza, ma soprattutto dell'intensità di eventi meteorologici estremi come alluvioni, trombe d'aria e burrasche, può avere un impatto sulle attività di acquacoltura esercitate lungo la fascia costiera e in mare aperto. Le forti mareggiate potrebbero causare danni strutturali alle gabbie di allevamento, attraverso la rottura degli ormeggi, dei telai e delle reti, con conseguente perdita dei lotti allevati. La fuga dei pesci allevati, se significativa in termini di frequenza e di numero di animali, potrebbe avere un impatto ecologico e genetico sulle

popolazioni naturali. Le perdite economiche, sia per i danni strutturali che per la perdite del materiale biologico, sarebbero molto rilevanti. Lo sviluppo di sistemi assicurativi potrebbe essere una misura adattativa per tutelare le imprese di acquacoltura dal rischio di fallimento, e per non scoraggiare futuri investimenti economici in questo settore (Callaway et al., 2012).

## **Vulnerabilità dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici**

### *Incertezze dell'analisi*

La vulnerabilità dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici è in funzione del grado di esposizione alle variazioni climatiche, della sensibilità dei sistemi e della relativa capacità adattiva. L'analisi di vulnerabilità deve necessariamente considerare la diversità dei sistemi di produzione, delle tecnologie adottate, della localizzazione geografica degli impianti e delle caratteristiche ambientali del territorio. La difficoltà nel valutare gli impatti sull'acquacoltura è resa complessa anche dalla possibile combinazione di più fattori d'impatto e la determinazione quindi di effetti sinergici. Molte sono anche le incertezze che riguardano l'evoluzione del clima e gli scenari possibili in Mediterraneo. Altri fattori d'incertezza riguardano aspetti socio-economici, demografici e tecnologici che interagiscono con i fattori climatici nel determinare impatti sulla società e sull'ambiente. Non meno importanti sono gli effetti attesi in relazione alle nuove politiche europee per l'incentivazione e lo sviluppo dell'acquacoltura e le relative implicazioni socio-economiche (FEAMP<sup>225</sup>), e gli effetti delle misure adottate a seguito delle nuove normative ambientali che disciplinano l'uso delle risorse idriche, dei siti costieri, la gestione di aree umide d'interesse naturalistico e conservazionistico, l'uso di specie esotiche in acquacoltura e altre componenti (Direttiva Acque<sup>226</sup>, Direttiva Strategia Marina<sup>227</sup>, Natura 2000<sup>228</sup>, Regolamento CE 708/2007<sup>229</sup>).

Nel caso della pesca e dell'acquacoltura i fattori d'incertezza che influenzano la risposta agli impatti sono tali che al momento l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA 2012), pur considerando questi settori tra i sistemi socio-economici che saranno influenzati dai cambiamenti climatici, non ha ancora identificato alcun indicatore per questi comparti produttivi, pur riconoscendo l'importanza e l'attenzione che dovranno ricevere.

### *Vulnerabilità dei settori produttivi*

Di seguito è presentata una analisi degli impatti che i cambiamenti climatici possono avere sui diversi settori produttivi d'acquacoltura, sulla base delle conoscenze disponibili e del giudizio esperto. Sono indicati i principali fattori e effetti di cambiamento, e gli impatti che potrebbero essere generati (Tabella 2.14). Ai fini del presente esercizio di analisi della vulnerabilità sono state prese in considerazione alcuni parametri chiave tra cui: le caratteristiche biologiche delle specie

---

<sup>225</sup> Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca.

<sup>226</sup> [http://www.direttivaacque.minambiente.it/documenti/Direttiva\\_2000-60-CE.pdf](http://www.direttivaacque.minambiente.it/documenti/Direttiva_2000-60-CE.pdf).

<sup>227</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:164:0019:0040:IT:PDF>.

<sup>228</sup> [http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/marine/docs/marine\\_guidelines\\_it.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/marine/docs/marine_guidelines_it.pdf).

<sup>229</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:168:0001:0017:IT:PDF>.

allevate, le tecnologiche di allevamento, la localizzazione geografica, l'acqua utilizzata per le colture, la dipendenza da seme/avannotti selvatici, il tipo di alimentazione, la durata dei cicli produttivi. E' stato quindi stimato il grado di sensibilità della molluschicoltura e della piscicoltura ai fattori biofisici di impatto indotti dai cambiamenti climatici e la vulnerabilità (Tabella 3.14).

**La molluschicoltura** è il segmento produttivo che sarà sottoposto a un maggior numero di pressioni, con impatti che possono essere rilevanti sulle attività produttive. Il grado di sensibilità agli effetti prodotti dai cambiamenti climatici sugli ecosistemi in cui le attività produttive sono esercitate è elevato. L'innalzamento del livello del mare potrà comportare l'inondazione di zone costiere e di siti dove la molluschicoltura è esercitata. L'acidificazione delle acque potrà influenzare la sopravvivenza dei primi stadi di sviluppo dei molluschi bivalvi, con impatti sulla disponibilità di seme selvatico necessario per l'avvio dei cicli produttivi. L'aumento della temperatura e delle malattie determineranno un impatto sulla crescita e sopravvivenza dei molluschi e quindi perdite economiche. I molluschi potranno essere esposti anche al rischio di contaminazione da biotossine algali, pericolose per la salute umana. Mentre per la mitilicoltura la tecnologia long-line può rappresentare una alternativa relativamente "meno vulnerabile" e preferibile alla tipologia fissa, la venericoltura appare come il sistema di allevamento con minori possibilità di adattamento.

**La piscicoltura estensiva**, basata sulla gestione degli ambienti naturali, risentirà anch'essa del cambiamento morfologico delle coste per l'innalzamento del livello del mare. Il grado di sensibilità complessiva degli allevamenti estensivi risulta elevato, in quanto praticati in ambienti vallivi e lagunari con un'elevata vulnerabilità naturale. L'innalzamento del livello del mare e le inondazioni in particolare nell'area nord adriatica, il caldo eccessivo e lo stress idrico nelle aree costiere del Sud e insulari, minacciano l'esistenza stessa di queste zone umide. Il cambiamento delle condizioni ambientali quali variazioni di temperatura, salinità, pH, concentrazione di ossigeno disciolto, contenuto di nutrienti, potrà influenzare i delicati equilibri ecologici di questi ambienti con effetti sulla fisiologia, fenologia e comportamento delle specie sfruttate, con conseguenze anche sulla produttività di questi ambienti.

**La piscicoltura intensiva in acque interne** risentirà principalmente della riduzione dei siti idonei per l'allevamento e della disponibilità di acqua dolce. L'allevamento in acque dolci, in particolare la trotilicoltura, è un sistema che può risentire dell'innalzamento della temperatura dell'acqua e dalla ridotta disponibilità di acque di buone qualità. Le trotilcolture di pianura saranno particolarmente influenzate da questi fattori di cambiamento. L'aumento della temperatura, oltre i limiti di tolleranza termica delle specie, in particolare delle specie d'acqua dolce e fredda, come trote e salmerini, potrà influenzare le performance riproduttive dei riproduttori, la crescita e la salute dei lotti allevati. Ad esempio la trota, specie d'acqua fredda, richiede per la riproduzione e l'allevamento delle prime fasi larvali, temperature comprese tra 6-12°C. Il carattere intensivo dell'allevamento, talvolta molto elevato, ne determina anche una discreta sensibilità verso la maggiore incidenza e diffusione di malattie.

**La piscicoltura intensiva in acque marine**, condotta in vasche e bacini a terra e in gabbie in aree marino costiere e offshore, ha un grado di sensibilità ai cambiamenti climatici apparentemente meno elevato. Nel caso della piscicoltura a terra, trattandosi di impianti localizzati lungo la costa, i fattori di impatto più influenti sono il rischio di alluvioni e inondazioni e la variazione dei parametri fisico-chimici dell'acqua, nonché la qualità delle acque. Per gli allevamenti in gabbie, in modo particolare quelli localizzati in aree offshore, il maggiore impatto sarà determinato dall'aumento della frequenza degli eventi meteo marini estremi che possono causare danni strutturali agli allevamenti, con conseguente rischio di fughe degli animali allevati nell'ambiente naturale e effetti di inquinamento genetico, nonché perdite economiche. La maricoltura in gabbie, allevamento intensivo aperto in un ambiente naturale marino costiero, può rappresentare un rischio per la trasmissione di agenti patogeni verso gli individui selvatici.

Fattori ed effetti di cambiamento		Impatti	Misure strutturali di adattamento
Aumento della temperatura delle acque superficiali	Superamento del <i>range</i> di tolleranza termica	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Riduzione della crescita</li> <li>· Impatto sulla salute e sulla sopravvivenza delle specie allevate e delle popolazioni naturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Adattamento dei cicli produttivi</li> <li>· Adattamento dei protocolli di allevamento e di alimentazione</li> <li>· Adeguata selezione dei siti per l'allevamento</li> <li>· Identificazione di nuove specie per l'allevamento</li> <li>· Selezione genetica di <i>strain</i>-resistenti</li> </ul>
	Riduzione della concentrazione di ossigeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Riduzione della crescita e della sopravvivenza</li> <li>· Aumento della suscettibilità alle malattie</li> <li>· Sviluppo di organismi dannosi/tossici</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Selezione di altri siti per l'allevamento;</li> <li>· Riduzione della densità in allevamento;</li> <li>· Ottimizzazione dell'alimentazione</li> <li>· Incremento della disponibilità di prodotti sanitari e profilattici</li> </ul>
	Eutrofizzazione e fioriture di alghe tossiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mortalità massiva</li> <li>· Aumento dei rischi sanitari nel consumo di molluschi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Miglioramento dei sistemi di trattamento delle acque;</li> <li>· Sviluppo di sistemi di allerta e di monitoraggio</li> </ul>
	Incidenza e diffusione di malattie	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Maggiore incidenza di patologie e comparsa di nuove malattie</li> <li>· Estensione dei range di diffusione di parassiti e patogeni</li> <li>· Difficoltà di diagnosi, profilassi e controllo</li> <li>· Mortalità massive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sviluppo di misure di biosicurezza, piani di monitoraggio e sistemi di allerta;</li> <li>· Misure di prevenzione delle malattie e profilassi con prodotti alternativi;</li> <li>· Selezione genetica di <i>strain</i>-resistenti</li> </ul>
	Cambiamenti fenologici	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alterazione delle fasi migratorie e del ciclo riproduttivo di specie ittiche</li> <li>· Riduzione del reclutamento naturale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Utilizzo di seme artificiale;</li> <li>· Tutela delle aree di <i>nursery</i> naturali;</li> <li>· R&amp;D per completare il ciclo produttivo in cattività</li> </ul>
Acidificazione	Problemi di calcificazione dei bivalvi; alterazioni nello sviluppo morfologico nei pesci	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Riduzione del reclutamento naturale di molluschi e giovanili di specie ittiche</li> <li>· Riduzione della disponibilità di seme e novellame per l'avvio dei cicli di allevamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Approvvigionamento di seme artificiale per molluschi e pesci</li> <li>· Adattamento delle tecniche di manipolazione e allevamento dei molluschi</li> </ul>
Innalzamento del livello del mare	Perdita di zone umide	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Riduzione/scomparsa di aree naturali per attività di piscicoltura estensiva e molluschicoltura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Interventi di ingegneria idraulica</li> </ul>

	Infiltrazioni saline	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Riduzione della disponibilità di acqua dolce</li> <li>· Acque ipersaline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Allevamento di specie eurialine</li> <li>· Sistemi di trattamento delle acque</li> <li>· Scelta di nuovi siti per l'allevamento</li> </ul>
	Inondazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Danni alle infrastrutture</li> <li>· Perdita dei lotti allevati</li> <li>· Impatto ecologico e genetico degli <i>escapee</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Miglioramento tecnologico delle strutture</li> <li>· Adozione di sistemi di prevenzione delle fughe</li> <li>· Allevamento di specie indigene</li> <li>· Stipula di polizze assicurative per gli impianti</li> </ul>
<b>Eventi climatici estremi</b>	Mareggiate, alluvioni ondate di caldo estivo/freddo invernale	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Danni alle infrastrutture</li> <li>· Perdita dei lotti allevati;</li> <li>· Impatto ecologico e genetico degli <i>escapee</i></li> <li>· Mortalità massive dovute a stress</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Miglioramento tecnologico delle strutture</li> <li>· Adozione di sistemi di prevenzione delle fughe</li> <li>· Allevamento di specie indigene</li> <li>· Stipula di polizze assicurative per gli impianti</li> </ul>
<b>Precipitazioni e stress idrico</b>	Qualità e disponibilità di acqua dolce	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Limitazioni del prelievo e ritenzione di acqua</li> <li>· Variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche</li> <li>· Insorgenza di malattie e mortalità</li> <li>· Riduzione della capacità produttiva</li> <li>· Scomparsa di zone umide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Uso più efficiente delle acque dolci</li> <li>· Implementazione di sistemi di trattamento delle acque reflue, incluse quelle d'acquacoltura</li> <li>· Allevamento di specie a crescita rapida</li> <li>· Sviluppo di sistemi di acquacoltura multitrofica;</li> <li>· Implementazione della gestione idraulica nelle zone umide</li> </ul>

Tabella 2.14: Effetti dei cambiamenti climatici, relativi impatti e possibili misure strutturali di adattamento per l'acquacoltura in Italia.

<b>MOLLUSCHICOLTURA</b>				
	Mitilicoltura Flottante/Fisso	Venericoltura sul fondo	Ostricoltura in sospensione	
Aumento della temperatura media dell'acqua	+++ ■	++ ■	+++ ■	
Riduzione concentrazione di ossigeno	++ ■	+++ ■	++ ■	
Variazioni di salinità	++ ■	+ ■	++ ■	
Stratificazione delle acque	++ ■	++ ■	++ ■	
Acidificazione delle acque	++ ■	+ ■	++ ■	
Bloom di alghe tossiche	+++ ■	+++ ■	+ ■	
Incidenza e diffusione di malattie	+++ ■	++ ■	+++ ■	
Ondate di calore estivo/gelo invernale	+++ ■	+++ ■	+++ ■	
Eventi estremi	+++ ■	+++ ■	+++ ■	
<b>VULNERABILITA'</b>	<b>A</b> ■	<b>A</b> ■	<b>A</b> ■	
<b>PISCICOLTURA</b>				
	Intensivo acqua dolce	Estensivo (valli, lagune, stagni costieri)	Intensivo a terra acqua salata	Intensivo in mare acqua salata
Aumento della temperatura media dell'acqua	++	++	+	+

	■	■	■	■
Riduzione concentrazione di ossigeno	+ ■	++ ■	+ ■	+ ■
Variazioni di salinità	+ ■	++ ■	+ ■	- ■
Stratificazione delle acque	- na ■	++ ■	- ■	+ ■
Acidificazione delle acque	- na ■	++ ■	+ ■	+ ■
Incidenza e diffusione di malattie	++ ■	++ ■	++ ■	++ ■
Ondate di calore estivo/ gelo invernale	++ ■	+++ ■	+ ■	+ ■
Mareggiate	- na ■	+ ■	+ ■	+++ ■
Inondazioni e alluvioni	+++ ■	+++ ■	++ ■	+ ■
Stress idrico	+++ ■	+ ■	++ ■	- na ■
<b>VULNERABILITA'</b>	<b>M</b> ■	<b>A</b> ■	<b>M</b> ■	<b>B</b> ■

**GRADO DI IMPATTO:** na non attribuibile; - trascurabile; + basso; ++ medio; +++ alto)

**PROBABILITÀ:** ■ poco probabile ■ probabile ■ molto probabile

**CONFIDENZA:** ■ bassa ■ media ■ alta ;

**VULNERABILITÀ:** B= bassa; M= media; A=alta

*Tabella 3.14: Stima della vulnerabilità della molluschicoltura e della piscicoltura agli specifici fattori di impatto indotti dai cambiamenti climatici in funzione dei sistemi produttivi.*

Una stima qualitativa della vulnerabilità dei diversi sistemi d'acquacoltura ai fattori di impatto indotti dai cambiamenti climatici è riportata su base geografica in Figura 3.14. L'analisi ha tenuto conto della sensibilità dei principali sub-settori di produzione, delle tipologie di allevamento e dei cicli di produzione e della capacità adattativa. E' stata elaborata una mappa dove sono rappresentati gli impianti presenti sul territorio nazionale e il grado di vulnerabilità stimato. La figura evidenzia come la maggiore vulnerabilità ricada nelle regioni Veneto, Emilia-Romagna e Friuli, che rappresentano i principali poli produttivi dell'acquacoltura nazionale.

La localizzazione degli impianti di molluschicoltura che risultano più vulnerabili, coincide proprio con il Nord Adriatico, l'area del Mediterraneo più vulnerabile ai cambiamenti climatici (Philippart et al., 2011; Torresan et al., 2012). Evidente è anche la criticità mostrata dagli impianti di piscicoltura d'acqua dolce, essenzialmente trosculture, localizzate sempre nelle regioni settentrionali, e che rappresentano la seconda voce produttiva dell'acquacoltura nazionale dopo la molluschicoltura.

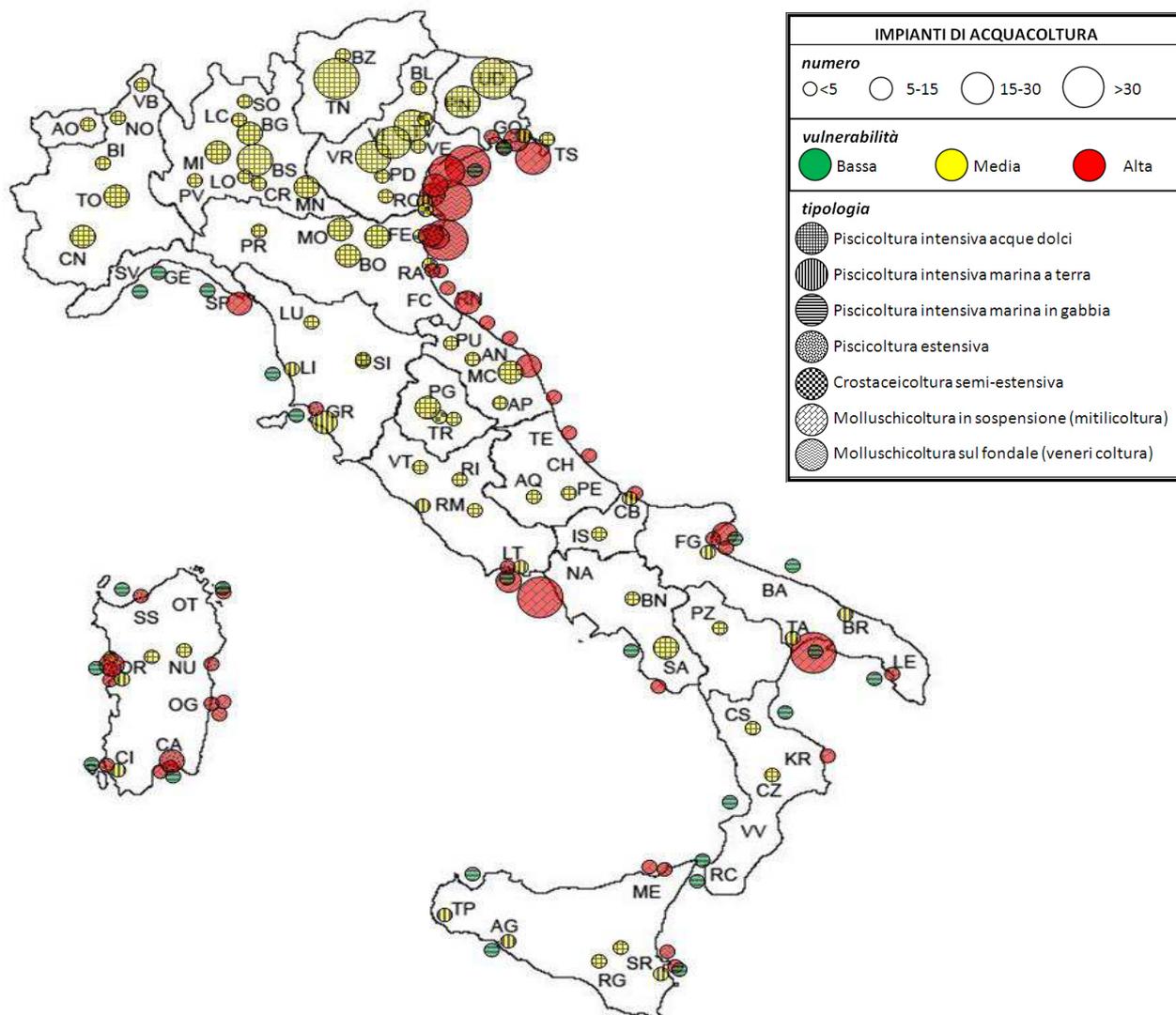


Figura 3.14: Analisi su base geografica della vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi produttivi in acquacoltura.

## Verso l'individuazione di azioni di adattamento

Sebbene gli studi sugli effetti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura siano solo agli inizi, è emersa con evidenza la necessità di pianificare strategie volte a ridurre la vulnerabilità ambientale e economica di questo settore in risposta ai cambiamenti che si potranno verificare (De Silva e Soto, 2009). Anche per l'acquacoltura, come è avvenuto in altri settori produttivi, devono essere messe in agenda misure finalizzate ad aumentare l'abilità di prevedere gli impatti del cambiamenti climatici sui diversi comparti produttivi, ad adattare e trasformare le previsioni in decisioni e per

assicurare che le azioni di adattamento individuate non interagiscano in modo negativo su altri ecosistemi e servizi.

Gli strumenti esistenti su cui basare le azioni di adattamento sono i seguenti:

- l'integrazione dell'acquacoltura nella gestione integrata della fascia costiera<sup>230</sup> e nella strategia di pianificazione dello spazio marittimo (Commissione Europea (2013)-COM (2013) 133 final).
- le nuove politiche d'indirizzo per lo sviluppo dell'acquacoltura (Commissione Europea (2013). COM (2013) 229 final) che promuovono la pianificazione territoriale dell'acquacoltura, al fine di ridurre i conflitti intersettoriali legati all'uso degli spazi e i rischi connessi con l'inquinamento lungo le zone costiere;
- la recente risoluzione della Commissione Generale della Pesca nel Mediterraneo della FAO sull'identificazione di aree prioritarie per attività d'acquacoltura definite "Allocated Zone for Aquaculture" (FAO-GFCM, 2012), uno strumento di governance a livello mediterraneo per pianificare il futuro sviluppo dell'acquacoltura, considerando anche i cambiamenti climatici;
- il Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca 2014-2020 (FEAMP) uno strumento finanziario dove le misure per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici potranno ricevere un sostegno finanziario sul territorio nazionale (Commissione Europea (2013) - SWD (2013) 299 final).

---

<sup>230</sup> Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:22009A0204\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:22009A0204(01)).

## Bibliografia

- Alborali L. (2006). Climatic variations related to fish diseases and production. *Veterinary Research Communications*, 30, issue 1 Supplement, 93–97. doi: 10.1007/s11259-006-0019-7.
- API (2011). Gli attori delle produzioni di acquacoltura. In: *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani*, capitolo 5. Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali Roma. 367-376.
- Battaglione S., Carter C., Hobday A.J., Lyne V., Nowak B. (2008). Scoping study into adaptation of the Tasmanian salmonid aquaculture industry to potential impacts of climate change. *National Agriculture and Climate Change Action Plan: Implementation Programme Report*. 84 pp, Tasmanian Aquaculture and Fisheries Institute, Hobart.
- Baumann H., Talmage S.C., Gobler C.J. (2012). Reduced early-life growth and survival in a fish in direct response to increased carbon dioxide, *Nature Reports Climate Change*. 01/2012, 2:38-41. doi: 10.1038/nclimate 1291.
- Callaway R., Shinn A.P., Grenfell S.E., Bron J.E., Burnell G., Cook E., Crumlish M., Culloty S., Davidson K., Ellis R.P., Flynn K.J., Fox C., Green D.M., Hays G.C., Hughes A.D., Johnston E., Lowe C.D., Lupatsch I., Malham S., Mendzil A.F., Nickell T., Pickerell T., F. Rowley A.F., S. Stanley M.S., Tocher D.R., Turnbull J.F., Webb G., Wootton E., Shields R.J. (2012). Review of climate change impacts on marine aquaculture in the UK and Ireland, *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*. 22, 3, 389–421. doi: 10.1002/aqc.2247.
- Cataudella S., Spagnolo M. (2011). *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani*. Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali. Roma.
- CIESM. (2008). Impacts of acidification on biological, chemical and physical systems in the Mediterranean and Black Seas. In: *CIESM Workshop Monographs 36*, 124 pp.
- Cigliano M., Gambi M.C., Rodolfo-Metalpa R., Patti F.P., Hall-Spencer J.M. (2010). Effects of ocean acidification on invertebrate settlement at volcanic CO<sub>2</sub> vents. *Marine Biol*. 157, 2489-2502. doi: 10.1007/s00227-010-1513-6. Springer Verlag.
- Commissione delle Comunità Europee (2009). COM (2009) 147def. Libro Bianco. L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:it:PDF>
- Commissione Europea (2013). COM (2013) 133 final. Pianificazione dello spazio marittimo e la gestione integrata delle zone costiere. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0133:FIN:IT:PDF>.
- Commissione Europea (2013). COM (2013) 229 final. Strategic Guidelines for the sustainable development of EU aquaculture. [http://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture/official\\_documents/com\\_2013\\_229\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture/official_documents/com_2013_229_en.pdf).
- Commissione Europea (2013). SWD (2013) 131. Documento di lavoro dei servizi della Commissione. Sintesi della valutazione d'impatto. Documento di lavoro della Commissione che accompagna la Comunicazione Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2013:0131:FIN:IT:PDF>.
- Commissione Europea (2013). SWD (2013) 299 final. Principles and recommendations for integrating climate change adaptation considerations under the 2014-2020 European Maritime and Fisheries Fund operational programmes. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/docs\\_autres\\_institutions/commission\\_europeenne/swd/2013/0299/COM\\_SWD\(2013\)0299\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/swd/2013/0299/COM_SWD(2013)0299_EN.pdf).
- Cucco A., Sinerchia M., Lefrançois C., Magni P., Ghezzi M., Umgieser G., Perilli A., Domenici P. (2012). A metabolic scope based model of fish response to environmental changes. *Ecological Modelling* 237, 132–141. doi:10.1016/j.ecolmodel.2012.04.019.

- De Silva S.S., Soto D. (2009). Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. In: Cochrane K., De Young C., Soto D., Bahri T. (Eds) *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper, 530, 151–212. FAO, Rome.
- De Silva S.S. (2012). Climate change impacts: challenges for aquaculture. In: *Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010. Farming the Waters for People and Food*, R.P. Subasinghe, J.R. Arthur, D.M. Bartley, S.S. De Silva, M. Halwart, N. Hishamunda, C.V. Mohan & P. Sorgeloos, Eds., Phuket, Thailand. 75–110. FAO, Rome and NACA, Bangkok.
- De Vico G., Carella F. (2012). *Argomenti di patologia comparata dei Molluschi*. Loffredo Editore. 351 pp.
- De Young C., Soto D., Bahri T. Brown D. (2012). Building resilience for adaptation to climate change in the fisheries and aquaculture sector. FAO-OECD Workshop Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. <http://www.fao.org/docrep/017/i3084e/i3084e00.htm>.
- EEA (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. EEA Report No 12/2012. <http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012>.
- FAO (2010). Climate change and aquaculture: opportunities and challenges for adaptation and mitigation <http://www.fao.org/docrep/meeting/019/k7582e.pdf>.
- FAO (2011). Trend and issue of marine and brackish Mediterranean aquaculture. GFCM:CAQ/VII/2011/2. [http://151.1.154.86/GfcmWebSite/CAQ/7/GFCM\\_CAQVII\\_2011\\_2-e.pdf](http://151.1.154.86/GfcmWebSite/CAQ/7/GFCM_CAQVII_2011_2-e.pdf).
- FAO (2012). World fisheries and aquaculture: status, issues and needs. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1012, Thirtieth Session Rome, Italy, 9-13 July 2012, 13-24*. <http://www.fao.org/cofi/28868-08d89e67cab4794708d710de7bc4428cc.pdf>.
- FAO-GFCM (2012). Resolution GFCM/36/2012/1 on guidelines on allocated zones for aquaculture (AZA). [http://www.faosipam.org/GfcmWebSite/docs/RecRes/RES-GFCM\\_36\\_2012\\_1.pdf](http://www.faosipam.org/GfcmWebSite/docs/RecRes/RES-GFCM_36_2012_1.pdf).
- Ferrari I. (2011). I cambiamenti climatici. Gli effetti sulle zone umide: problemi di ricerca e gestione.. In: *Contributi per la tutela della biodiversità delle zone umide*, ISPRA Rapporto 153/2011: 291-297.
- Franco A., Fiorin R., Malavasi S., Franzoi P., Torricelli P. (2003). Spatial and temporal variation in reproductive and somatic investment of *Zosterisessor ophiocephalus* (Pisces Gobiidae) in the Venice Lagoon. *Biologia Marina Mediterranea* 10, 152-158.
- Frommel A.Y., Maneja R., Lowe D., Malzahn A.M., Geffen A.J., Folkvord A., Piatkowski U., Reusch T.B.H., Clemmesen C. (2012). Severe tissue damage in Atlantic cod larvae under increasing ocean acidification. *Nature Climate Change*. doi: 10.1038/nclimate 1324.
- Gazeau F., Gattuso J.P., Dawber C., Pronker A.E., Peene F., Peene J., Heip C.H.R., Middelburg J.J. (2010). Effect of ocean acidification on the early life stages of the blue mussel (*Mytilus edulis*). *Biogeosciences Discussions* 7, 2927-2947. doi:10.5194/bgd-7-2927-2010.
- Ghittino C. (2011). Produzione, consumo e potenziali rischi zoonosici negli organismi acquatici. Aggiornamento sulle zoonosi alimentari e professionali del settore ittico.
- Hinder S.L., Hays G.C., Edwards M., Roberts E.C., Walne A.W., Gravenor M.B. (2012) Changes in marine dinoflagellate and diatom abundance under climate change. *Nature Climate Change*, 2, 271–275. doi: 10.1038/nclimate1388. ISMEA-IPSOA. (2011). REF 2011: acquacoltura, ortaggi, ovinocaprini, vino. Report Economico finanziario Vol III, 1-95.
- King H. R., Pankhurst N. W. (2007). Additive effects of advanced temperature and photoperiod regimes and LHRHa injection on ovulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Aquaculture* 273, 729–738.

- Levinton J., Doall M., Ralston D., Starke A., Allam B. (2011). Climate change, precipitation and impacts on an estuarine refuge from disease, *PLoS ONE* 6(4), e18849. <http://www.plosone.org>. doi: 10.1371/journal.pone.0018849.
- Lorentzen T. (2008). Modelling climate change and the effect on the Norwegian salmon farming industry, *Natural Resource Modeling* 21, 416-435. doi: 10.1111/j.1939-7445.2008.00018.x.
- Maltese C., Bovo G. (2007). Encefalopatia e retinopatia virale. *Ittiopatologia*, 4, 93-146.
- Marcogliese D.J. (2008). The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals, *Rev Sci Tech.* 27,467-484.
- Marcos-Lopez M., Gale P., Oidtmann B.C, Peeler E.J. (2010). Assessing the Impact of Climate Change on Disease Emergence in Freshwater Fish in the United Kingdom, *Transboundary and Emerging Diseases*, 57, 293-304. doi: 10.1111/j.1865-1682.2010.01150.x.
- Marino G., Livi S. (2011). Valori delle zone umide: la biodiversità, i servizi ecosistemici e i valori socio-economici. L'acquacoltura e le zone umide. In: *Contributi per la tutela della biodiversità delle zone umide*. ISPRA Rapporto 153/2011, 147-160.
- Marques A., Nunes M.L., Moore S., Strom M. (2010). Climate change and seafood safety: human health implications, *Food Research International* 43, 7, 1766-1779.
- Melaku Canu D., Solidoro C., Cossarini G., Giorgi F. (2010). Effect of global change on bivalve rearing activity and the need for adaptive management, *Climate Research* 42, 13-26. doi: 10.3354/cr00859.
- Merino G., Barange M., Blanchard J.L., Harle J., Holmes R., Allen I., Allison E.H., Badjeck M.C., Dulvy N.K., Holt J., Jennings S., Mullan C., Rodwell L.D. (2012). Can marine fisheries and aquaculture meet fish demand from a growing human population in a changing climate?, *Global Environmental Change* 22, 795-806. Doi: 10.1016/j.gloenvcha.2012.03.003.
- Meyhoff Fry J. (2012). Carbon footprint of Scottish suspended mussels and intertidal oysters. SARF, 55 pp.
- Nilsson G.E., Dixon D.L., Domenici P., McCormick M.I., Sørensen C., Watson S.A., Munday P.L. (2012). Near-future carbon dioxide levels alter fish behaviour by interfering with neurotransmitter function. *Nature Climate Change*, 2, 201-204. doi: 10.1038/nclimate1352.
- Orr J.C., Fabry V.J., Aumont O., Bopp L, Doney S.C., Feely R.A., Gnanadesikan A., Gruber N., Ishida A., Joos F., Key R.M, Lindsay K., Maier-Reimer E., Matear R., Monfray P., Mouchet A., Najjar R.G., Plattner G.K., Rodgers K.B., Sabine C.L., Sarmiento J.L., Schlitzer R., Slater R.D., Totterdell I.J., Weirig M.F., Yamanaka Y., Yool A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms, *Nature* 437, 681-686. doi:10.1038/nature04095.
- Pankhurst N. W., King H. R. (2010). Temperature and salmonid reproduction: implications for aquaculture, *Journal of Fish Biology*, 76, 69-85. doi: 10.1111/j.1095-8649.2009.02484.x.
- Philippart C.J.M., Anadón R., Danovaro R., Dippner J.W., Drinkwater K.F., Hawkins S.J., Oguz T., O'Sullivan G., Reid P.C. (2011). Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, 52-69. doi: org/10.1016/j.jembe.2011.02.023.
- Pörtner H.O., Farrell A.P. (2008). Physiology and climate change, *Science*, 322, 690-692. doi: 10.1126/science.1163156.
- Prioli G. (2012). Situazione delle produzioni nazionali e prospettive per il futuro. In: *Atti del I° Convegno Nazionale Società Italiana di Ricerca Applicata alla Molluschicoltura*, Università di Teramo.

- Prioli G. (2008). La molluschicoltura in Italia. In: A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20-24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO, 159-176.
- Range P., Chicharo M.A., Ben-Hamadou R., Piló D., Matias D., Joaquim S., Oliveira A.P., Chicharo L. (2011). Calcification, growth and mortality of juvenile clams *Ruditapes decussatus* under increased pCO<sub>2</sub> and reduced pH: variable responses to ocean acidification at local scales? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 396, 177–184.
- Rosa R., Marques A., Nunes M.L. (2012). Impact of climate change in Mediterranean aquaculture, *Reviews in Aquaculture* 4, 163-177. doi: 10.1111/j.1753-5131.2012.01071.x.
- Sims D.W., Wearmouth V.J., Genner M.J., Southward A.J., Hawkins S.J. (2004). Low temperature-driven early spawning migration of a temperate marine fish, *Journal of Animal Ecology*, 73, 333-341. doi: 10.1111/j.0021-8790.2004.00810.x.
- Somero G. N. (2010). The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine 'winners' and 'losers', *The Journal of Experimental Biology*, 213, 912-920. doi: 10.1242/jeb.037473.
- Torresan S., Critto A., Rizzi J., Marcomini A. (2012). Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: the case study of the North Adriatic Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2347-2368. doi:10.5194/nhess-12-2347-2012.
- Turolla E. (2008). La venericoltura in Italia. In: A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20-24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO, 177-188.
- Vaquer-Sunyer R., Duarte C.M. (2011). Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms, *Glob. Change Biol.*, 17, 1788-1797. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02343.x.
- Viaroli P., Marinov D., Bodini A., Giordani G., Galbiati L., Somma F., Bencivelli S., Norro A., Zaldívar Comenges J.M. (2007). Analysis of clam farming scenarios in Sacca di Goro lagoon, *Transitional Water Monographs*, 1, 71-92. doi: 10.1285/i18252273v1n1p71.
- Zucchetta M., Cipolato G., Pranovi F., Antonetti P., Torricelli P., Franzoi P., Malavasi S. (2012). The relationships between temperature changes and reproductive investment in a Mediterranean goby: Insights for the assessment of climate change effects. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 101, 15-23.

# Zone costiere

## Sintesi

La zona costiera, e i servizi ecosistemici a essa associati, si configurano come il punto di incontro e di forte interconnessione non solo della “terra con il mare”, ma anche di dinamiche naturali e dinamiche antropiche, su cui i cambiamenti climatici agiscono sinergicamente e simultaneamente attraverso influenze esterne sia “marine” che “terrestri”.

Il capitolo fornisce una sintesi delle conoscenze relative agli impatti di processi naturali specifici delle zone costiere (aumento del livello del mare e variazioni delle caratteristiche generali dello stato del mare), per poi esaminare gli impatti, potenzialmente inducibili dai cambiamenti climatici, sui servizi ecosistemici forniti dalla zona costiera agli esseri umani e ai sistemi socio economici. Viene valutata la vulnerabilità delle aree costiere, con particolare riferimento alle aree urbane e fornita una sintesi dell'attuale quadro normativo rilevante.

## Introduzione

L'Unione Europea ha recentemente elaborato un documento specifico dedicato ai cambiamenti climatici in ambiente marino sia, costiero che di mare aperto, con una particolare attenzione al tema dell'adattamento (EU, 2013). La specifica attenzione riservata al mare, ed in particolare alle zone ed agli ambienti costieri, ne sottolinea l'importanza strategica, ambientale economica e sociale. Questo capitolo tratta dei processi ambientali soggetti potenzialmente alle variazioni climatiche con esclusivo riferimento alle zone costiere, ed integra quindi i contributi dedicati all'ambiente marino ed alla pesca. La trattazione riprende in particolare alcune delle problematiche esplicitamente citate dal documento EU (riscaldamento e acidificazione delle acque marine, variazione del livello del mare e erosione costiera), ma tratta anche, in un contesto più ampio di quello strettamente ecologico (e con esclusivo riferimento alle zone costiere), le conseguenze che processi ambientali modificati climaticamente, potrebbero avere sulla fornitura dei cosiddetti “beni e servizi ecosistemici”, tentando quindi di integrare le considerazioni di tipo strettamente ambientale con considerazioni di natura economica e sociale con un riferimento esplicito anche alle problematiche di natura giuridica ed a quelle pertinenti ai grandi agglomerati urbani delle zone costiere.

## **Beni e servizi ecosistemici nella zona costiera: sensitività ai cambiamenti climatici**

### *Beni e servizi ecosistemici: una definizione*

I sistemi socio economici sono strutturalmente sostenuti dalle funzioni e dalla dinamica degli ecosistemi naturali, che forniscono “beni” (cibo, materie prime e prodotti farmaceutici) essenziali e indispensabili al loro sviluppo e alla loro articolazione.

In aggiunta a quanto sopra, gli ecosistemi naturali forniscono anche essenziali “servizi” assolutamente indispensabili agli esseri umani e ai loro sistemi socio-economici. Il range di servizi ecosistemici d'immediata rilevanza per i sistemi socio-economici è molto ampio e la lista riportata qui sotto (Daily, 1997) ha puro valore esemplificativo:

- Depurazione di acqua e aria;
- Mitigazione di inondazioni e siccità;
- Detossicazione e decomposizione di rifiuti;
- Moderazione delle escursioni termiche;
- Supporto alle differenti culture;
- Capacità ricreativa, estetica e intellettuale.

Il “*Millennium Ecosystem Assessment*” (MEA, 2005a; Beaumont et al., 2007), ha suddiviso gli Ecosystem services in quattro grandi categorie generali (Figura 1.15):

1. Servizi di “fornitura” (Provisioning. ad es. energia, acqua e cibo);
2. Servizi di “supporto” (Supporting. ad es. produzione primaria e cicli biogeochimici);
3. Servizi di “Regolazione” (Regulating. ad es. regolazione del clima);
4. Servizi “Culturali” (Cultural ad es. attività ricreative e di tempo libero).

Buona parte di questi servizi sono forniti ai sistemi economici “gratuitamente” e, in loro “assenza”, o in corrispondenza di una loro significativa alterazione, la loro sostituzione avrebbe (teoricamente) un costo (Costanza et al., 1997).

Nel seguito di questa trattazione viene adottata la definizione di “Ecosystem Services” elaborata dal “*Millennium Ecosystem Assessment*” (MEA, 2005a), pertanto sono definiti come “servizi ecosistemici” tutti quei benefici che gli esseri umani ottengono dagli ecosistemi.

### ***La zona costiera: una definizione***

Per definizione di “zona costiera” si adotta qui quella fornita dal “*Mediterranean Protocol on Integrated Coastal Zone Management*” (2008):

*“Si definisce come zona costiera la regione geomorfologica, a cavallo della linea di riva, nella quale le interazioni fra gli elementi terrestri e marini avvengono internamente a sistemi ecologici complessi, formati da elementi biotici e abiotici, e in continua coesistenza e interazione con la comunità umana e le sue attività socio economiche”.*

Una definizione di questo tipo, includendo elementi propriamente ecologici ed elementi propriamente socio-economici, trascende quindi una visione strettamente ecologica, ma la “zona costiera” è qui intesa come un sistema di strette interazioni fra dinamiche naturali e antropiche. Una definizione di questo tipo potrebbe ovviamente essere applicata a qualunque “zona” caratterizzata da interazioni fra componenti naturali e antropiche, ma le zone costiere costituiscono sicuramente una “zona” dove la componente naturale è molto produttiva e di conseguenza molto produttrice di “beni” e fornitrice di “servizi” ecosistemici. Non a caso le zone costiere sono le zone maggiormente abitate del pianeta: all'incirca la metà della popolazione del pianeta vive entro i 200 km di distanza dal mare (Hinrichsen, 1998).

### Zona costiera e cambiamenti climatici

La zona costiera, e i servizi ecosistemici a essa associati, si configura quindi come il punto di incontro e di forte interconnessione non solo della “terra con il mare”, ma anche di dinamiche naturali e dinamiche antropiche, su cui i cambiamenti climatici agiscono sinergicamente e simultaneamente attraverso influenze esterne sia “marine” che “terrestri”.

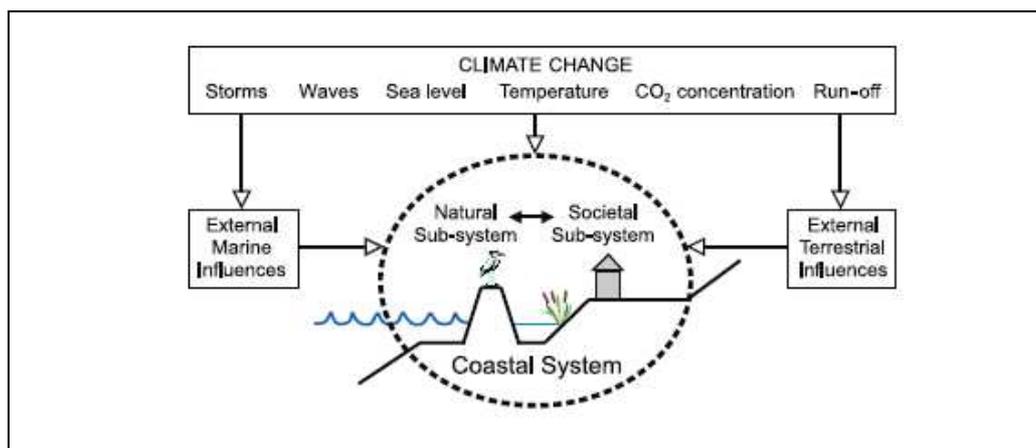


Figura 1.15: Sistemi costieri e variazioni climatiche. Azione attraverso influenze esterne di origine marina e terrestre (Fonte: Nicholls et al., 2007).

La Figura 1.15 (Nicholls et al., 2007) sintetizza graficamente in maniera efficace quanto sopra riportato a proposito della definizione di zona costiera, vale a dire un sistema costituito da componenti naturali e socio-economiche soggette a influenze sia marine che terrestri, attraverso le quali i cambiamenti climatici esercitano la loro azione. La figura riporta come principali processi modificabili dalle variazioni climatiche un ampio campione di processi prevalentemente fisico-chimici, che spaziano dall'aumento di temperatura, alla variazione del livello del mare o alla variazione delle condizioni dello stato del mare o di apporto fluviale. A questi vanno aggiunte possibili variazioni di tipo ecosistemico indotte, per via diretta o indiretta, dai processi citati. Molte di queste possibili variazioni sono trattate in specifici capitoli di questo documento e a esso si farà

riferimento. Si è però ritenuto opportuno sviluppare l'analisi di processi fisici tipicamente costieri quali la variazione del livello del mare e le possibili variazioni dello stato del mare in funzione dei cambiamenti climatici; argomenti che non possono essere ignorati, trattando delle zone costiere. Il principale scopo di questo capitolo rimane comunque una valutazione della sensibilità e della vulnerabilità dei servizi ecosistemici tipici della zona costiera ai cambiamenti climatici, le possibili opzioni di gestione e la definizione dell'attuale quadro normativo.

### ***I servizi ecosistemici costieri sensibili ai cambiamenti climatici***

In questa sezione sono elencati e descritti i principali servizi ecosistemici delle zone costiere (Molnar et al., 2009), raggruppati secondo le quattro categorie definite da MEA (2005a), sottolineandone l'importanza e la possibile sensibilità ai cambiamenti climatici. Per comporre questa sezione si è fatto riferimento a specifici capitoli contenuti nel presente rapporto tecnico, in particolare al capitolo che discute i fattori fisico chimici che veicolano l'impatto della variabilità climatica sull'ecosistema marino, in modo da collegare i servizi ecosistemici costieri a specifiche caratteristiche ambientali e/o socio economiche. Inoltre, a scopo di sintesi, una tabella riporta, per ciascun servizio, le principali caratteristiche e l'importanza per le zone costiere.

#### ***Servizi di supporto (Support)***

Servizi ecosistemici di supporto particolarmente rilevanti per la zona costiera, dipendono principalmente dalle caratteristiche dell'ecosistema marino che svolge appunto i due importanti servizi relativi al ciclo dei nutrienti e della produzione primaria (si veda a questo riguardo il capitolo "Ecosistemi Marini" di questo rapporto).

##### ***Ciclo dei nutrienti***

Il mantenimento, la conservazione e il rinnovo degli stock di sali nutritivi dell'oceano sono un servizio fondamentale fornito dall'ecosistema marino (MEA 2005c). In particolare nella zona costiera un accumulo di nutrienti può determinare processi acuti di eutrofizzazione (Vollenveider, 1992; Cloern, 2001) e anossia (Zhang et al., 2010).

Eutrofizzazione e sviluppo di aree marine anossiche sono due processi strettamente legati fra loro e dipendenti anche dal secondo servizio ecosistemico di supporto che è qui considerato (produzione primaria). La capacità e l'efficienza del sistema marino costiero di riciclare efficientemente nutrienti dipendono essenzialmente da due fattori:

1. l'apporto di sostanze nutritive di origine continentale in mare,
2. la struttura e la dinamica chimico fisica del mare costiero.

In una gestione integrata e sostenibile bisogna tenere presente anche il fattore positivo indotto dall'apporto di sostanze nutritive e la produzione primaria. Infatti le fioriture microalgali, che si verificano in periodi in cui la temperatura dell'acqua raggiunge bassi valori (inverno, primavera), sono sostenute prevalentemente da *Diatomee* e non destano particolare preoccupazione, anzi, sono

importanti in termini produttivi, in quanto svolgono un importante ruolo nell'innescare della catena alimentare, essenziale processo di crescita per i prodotti della pesca e della maricoltura.

Rabalais et al. (2009) riportano la possibilità che l'apporto di sostanze nutritive (in assenza di appropriate strategie gestionali) nel mare costiero continui ad aumentare a causa dell'aumento di popolazione e delle attività industriali e agricole.

Per quanto riguarda l'Adriatico centro-settentrionale, area sensibile per i problemi di eutrofizzazione in quanto risente degli apporti del bacino padano in cui sono concentrate attività industriali, densità urbanistica, intensiva attività agro-zootecnica, gli apporti dei nutrienti sono stati oscillanti negli ultimi 20 anni. Nelle Figure 2.15 e 3.15 sono riportate le medie geometriche annuali rispettivamente del fosforo totale e del DIN (somma determinazioni azoto nitrico, nitroso, ammoniacale) rilevate nel lungo periodo (1983 – 2011).

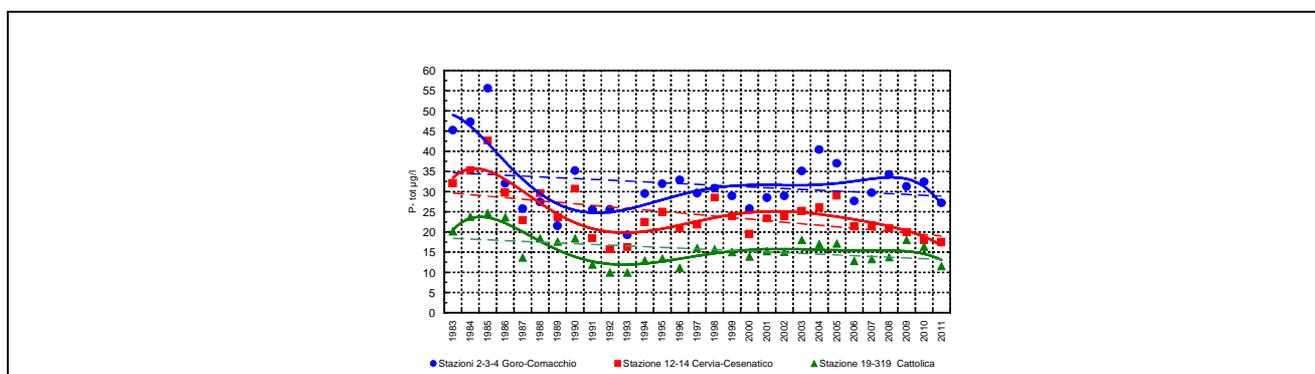


Figura 2.15: Medie geometriche annuali per trend evolutivo del fosforo totale in tre aree della costa emiliano romagnola (periodo 1983-2011) (Fonte: ARPA Emilia-Romagna, 2012).

In tutte e tre le aree esaminate si è verificata, nel lungo periodo, una diminuzione delle concentrazioni del fosforo totale, corrispondente a una diminuzione dei carichi di circa il 30%, mentre per quanto riguarda le forme azotate il trend è in aumento.

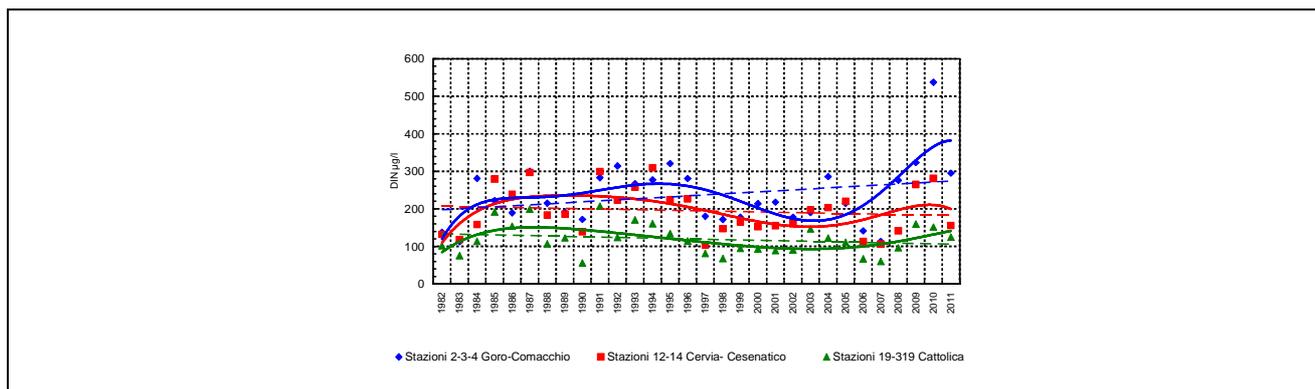


Figura 3.15: Medie geometriche annuali per trend evolutivo del DIN in tre aree della costa emiliano romagnola (periodo 1982-2011) (Fonte: ARPA Emilia-Romagna, 2012).

Analoga distribuzione dei dati è osservabile ovviamente con le concentrazioni medie annuali di clorofilla "a" indicatore trofico delle acque riportate in Figura 4.15.

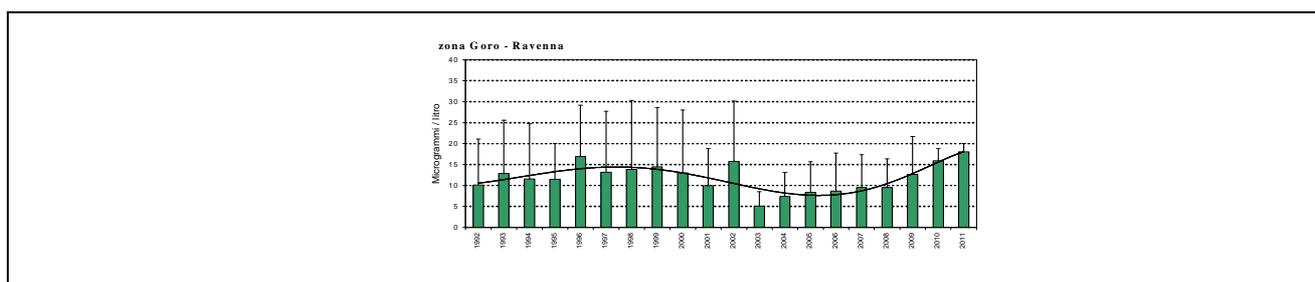
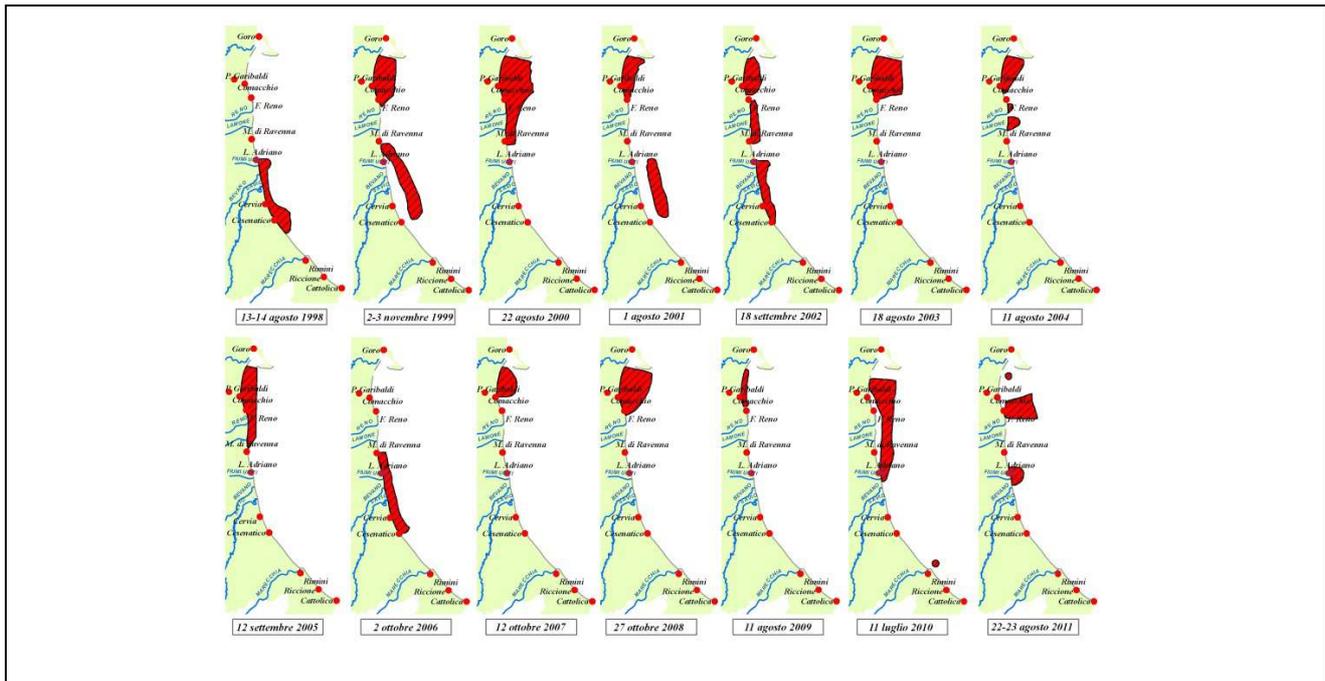


Figura 4.15: Medie annuali concentrazione clorofilla "a" periodo 1992 – 2011 (Figura 1.4 Medie geometriche annuali per trend evolutivo del DIN in tre aree della costa emiliano romagnola (periodo 1982-2011) (Fonte: ARPA Emilia-Romagna, 2012).

Come riportato precedentemente, una delle conseguenze dei processi di eutrofizzazione è la formazione di condizioni di carenza di ossigeno (ipossia) e/o di assenza di ossigeno (anossia) nelle acque di fondo. Gli areali interessati sono molto vasti e variabili, estendendosi da qualche decina a centinaia di km<sup>2</sup>.



**Figura 5.15:** Mappe di distribuzione della massima estensione annuale delle condizioni anossiche (concentrazione di ossigeno disciolto inferiore a 1 mg/l) delle acque di fondo da costa fino a 20 km al largo (1998 - 2011) (Fonte: ARPA, 2013).

In Figura 5.15 si riportano le mappe di aree ipossiche/anossiche che si sono verificate nel lungo periodo nel tratto di mare costiero fino a 20 km al largo prospiciente la costa emiliano-romagnola. Sono molti i fattori che concorrono alla formazione di tali condizioni. Aree interessate da durature situazioni di anossia o da costanti condizioni di ipossia severa, possono vedere completamente modificata la bionomia bentonica, con diminuzione di biomassa e biodiversità oltre a creare seri danni alle attività di pesca.

La moria di organismi adulti produce di per sé un danno ambientale, ma un danno maggiore è dato dalla perdita di organismi in fase larvale (uova, stadi giovanili), la cui carenza indebolisce la consistenza delle generazioni future. La ciclicità e l'estensione dei fenomeni anossici, colpendo indiscriminatamente sia gli organismi adulti sia le forme giovanili, rischia di essere tale da comportare un serio ed irreversibile impoverimento degli stock di alcune specie.

Simultaneamente, il processo di global change determinato dall'immissione di combustibili fossili in atmosfera, determina un aumento globale delle temperature atmosferiche e degli strati superficiali dell'oceano. Temperature elevate e una maggiore stratificazione dell'oceano costiero, sono due processi che teoricamente possono aumentare ed esasperare gli effetti negativi dovuti all'eutrofizzazione e alla formazione di condizioni anossiche, alterando i cicli biogeochimici del mare costiero, con conseguenze sul secondo servizio ecosistemico di supporto qui considerato (la produzione primaria) e sui servizi di fornitura e regolazione descritti più sotto.

### Produzione primaria

Le aree marine costiere, sebbene costituiscano in estensione solo il 7% dell'oceano globale costituiscono un ecosistema molto produttivo, poiché contribuiscono con il 14-30% della produzione primaria dell'oceano globale (Gattuso et al., 1998). Inoltre, unitamente con le aree di transizione (lagune, sacche, ecc...) possiedono caratteristiche idonee e sono aree riconosciute nel possedere elevate funzioni per deposizione, nursery e reclutamento di molte specie. Tali processi presentano una elevata variabilità stagionale, risentono pesantemente di repentine variazioni meteorologiche e sono estremamente sensibili alle pressioni antropiche (apporto microinquinanti, costruzione infrastrutture difesa costa, porti, ecc...).

Servizio	Descrizione	Importanza costiera	Sensibilità ai cambiamenti climatici
<b>Ciclo dei nutrienti</b>	Riduzione, conservazione e rinnovo dello "Stock" di sali nutritivi nel mare attraverso processi e flussi biogeochimici.	La disponibilità di sali nutritivi è un prerequisito di "supporto" fondamentale per tutti gli altri tipi di servizi, dalla produzione primaria alla regolazione del clima.  La capacità degli ecosistemi costieri di mantenere in equilibrio il rinnovo dei nutrienti evita processi disfunzionali quali eutrofizzazione e anossia.	Alterazioni dei cicli biogeochimici del mare costiero, indotte da alterazioni fisico-chimiche della struttura e della dinamica dell'ecosistema marino (legate ai cambiamenti climatici), altererebbero il servizio di supporto "Produzione primaria" e anche il servizio di regolazione "trattamento dei rifiuti".
<b>Produzione Primaria</b>	Produzione di energia chimica, sotto forma di composti organici, dall'energia elettromagnetica (radiazione solare), attraverso il processo di fotosintesi.	Qualunque forma di vita sulla Terra dipende direttamente o indirettamente dalla produzione primaria. Le zone costiere comprendono l'ecosistema marino maggiormente produttivo.	Alterazioni del Servizio si rifletterebero in cascata sui servizi di "fornitura", modificando le risorse disponibili per le attività alieutiche e di acquacoltura ad anche sui servizi di Regolazione del clima.

Tabella 1.15: I principali servizi ecosistemici di supporto svolti dalle zone costiere.

Enfatizzare eccessivamente l'importanza di questo servizio ecosistemico è francamente difficile sia a livello locale (costiero) che globale. Per quanto ovvio, va ribadito che praticamente ogni forma di vita sulla Terra dipende, direttamente o indirettamente, dalla produzione primaria. Di

conseguenza ogni alterazione (qualitativa e/o quantitativa) del processo di produzione primaria nell'area marina costiera comporta inesorabilmente variazioni significative anche in altri servizi. Anche in questo caso i processi di riscaldamento globale impattanti sulle aree marine costiere (ad es. aumento di temperatura e variazione nelle caratteristiche spazio temporali della stratificazione verticale dell'oceano), avrebbero significative conseguenze sulla dinamica spaziale e temporale dei processi di produzione primaria costiera. A questo si deve aggiungere che possibili variazioni di circolazione atmosferica (si vedano i capitoli relativi alla variabilità climatica presente e passata) potrebbero modificare (rinforzandoli o attenuandoli) i processi di upwelling costiero (Bakun, 1999), responsabili per una significativa fertilizzazione di ampie zone costiere. Variazioni nelle caratteristiche di questo importantissimo servizio di supporto fornito dalle aree costiere avranno in particolare un forte impatto sull'importante servizio di fornitura descritto qui sotto.

### *Servizi di fornitura (Provisioning)*

#### **Cibo**

La fornitura di cibo (attraverso pesca e/o acquacoltura) è uno dei servizi più importanti forniti dai sistemi marini e, come descritto sopra, fortemente dipendente dal servizio di supporto "produzione primaria" (Pauly e Christensen, 1995).

In aggiunta a variazioni indotte sulla pesca dalle variazioni nelle caratteristiche della produzione primaria, Roessig et al. (2004) riportano possibili variazioni nella distribuzione di popolazioni ittiche dovute a (relativamente piccole) variazioni di temperatura o di ossigeno, insieme a possibili variazioni nei pattern di distribuzione e migrazione dovute a variazioni nel sistema di circolazione generale dell'oceano.

Servizio	Descrizione	Importanza costiera	Sensibilità ai cambiamenti climatici
<b>Cibo</b>	Ogni tipo di cibo ottenuto da attività alieutiche o di acquacoltura	Importante settore economico per le zone costiere globali e per numerose zone costiere italiane	Servizio estremamente sensibile alle alterazioni indotte dai cambiamenti climatici sulle strutture e sulla dinamica degli ecosistemi marini

*Tabella 2.15: Il principale servizio ecosistemico di fornitura svolto dalle zone costiere.*

Mac Neil et al. (2010), analizzando le possibili conseguenze del riscaldamento globale atteso sulla base delle attuali osservazioni ed evidenze, riportano come casi teoricamente "plausibili":

- scomparsa di specie commercialmente importanti e conseguente danno economico;
- variazioni qualitative e quantitative nella struttura delle popolazioni ittiche commercialmente importanti, causate dalle ingressioni in acque temperate di specie maggiormente adattate ad alte temperature.

A variazioni sostanzialmente determinate da processi fisici legati alle variazioni di temperatura, si affiancheranno inevitabilmente variazioni legate al processo di “acidificazione” dovuto alle aumentate concentrazioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) disciolta nell’oceano (Orr et al., 2005). Nelle aree marine costiere, processi non legati alla dissoluzione della CO<sub>2</sub> in acqua di mare, quali l’apporto di acque fluviali maggiormente acide dell’acqua di mare o l’ossidazione di sostanza organica di origine continentale possono ulteriormente sostenere e amplificare il processo di acidificazione (Hoffmann et al., 2010).

Le principali conseguenze di un mare costiero maggiormente “acido” riguarderanno principalmente e ovviamente tutti quegli organismi marini caratterizzati da strutture di supporto a difesa costituite da elementi calcarei (i cosiddetti “calcifying organisms”). Di conseguenza (Cooley e Doney, 2009) tutte quelle attività basate sulla raccolta di organismi calcarei (molluschi) sono particolarmente a rischio di impatto economico (e di conseguenza sociale).

Una importante componente del servizio ecosistemico costiero di fornitura di cibo è legato alle attività di acquacoltura.

In aggiunta ai sopracitati processi di riscaldamento e acidificazione, Brander (2007) riporta come possibili minacce alle attività di acquacoltura:

- condizioni meteorologiche estreme;
- maggior incidenza di patologie;
- aumento del livello del mare e conflitti d’interesse con la creazione di strutture di difesa costiera.

Una valutazione quantitativa dell’ampiezza di queste condizioni è soggetta a incertezza. Tuttavia la direzione del cambiamento appare abbastanza chiara. E’ comunque fuor di dubbio che variazioni nella distribuzione e nella disponibilità delle risorse ittiche costiere determineranno un impatto (positivo o negativo) sulle comunità e sui sistemi socio economici basati sullo sfruttamento di queste risorse rinnovabili.

### *Servizi di regolazione (Regulating)*

#### *Regolazione del clima*

L'oceano è una componente essenziale del sistema climatico globale. Le sue funzioni di regolazione climatica si esercitano attraverso l'assorbimento/rilascio e la redistribuzione del calore e dei gas atmosferici, effettivamente modulando nel tempo e nello spazio (nel caso della CO<sub>2</sub>), le modificazioni antropiche del clima.

La componente marina delle zone costiere costituisce una parte di questo sistema (Heckbert et al., 2011), che essendo caratterizzato, come detto in precedenza, da livelli elevati di produzione primaria, contribuisce localmente e globalmente alla regolazione del clima, sequestrando e rilasciando CO<sub>2</sub> in atmosfera.

Inoltre, la tradizionale caratteristica "temperata" del clima delle zone costiere costituisce una caratteristica tipica di queste zone che ne delinea e definisce in maniera fondamentale i servizi cosiddetti "culturali" (si veda più sotto).

Servizio	Descrizione	Importanza costiera	Sensibilità ai cambiamenti climatici
<b>Regolazione clima</b>	Mantenimento della composizione chimica dell'atmosfera e del mare da parte degli organismi marini, del ciclo idrologico e dai processi di assorbimento dei gas e di distribuzione del calore	Il clima particolarmente mite delle zone costiere è mantenuto dalla funzione moderatrice del mare che evita oscillazioni estreme.	Alterazioni basate sulla variazione della temperatura sia atmosferica che marina possono avere profondi effetti sui servizi di supporto (ecosistemi marini), e fornitura. Alterazione delle caratteristiche climatiche delle zone costiere può profondamente modificare alcuni servizi culturali (ricreativi e turistici)
<b>Trattamento rifiuti</b>	Rimozione, neutralizzazione, confinamento e diluizione di inquinanti e tossine. Controllo della proliferazione di organismi potenzialmente dannosi	Limitatamente alla capacità ricevente dell'ecosistema costiero la componente marina della zona costiera, le acque costiere esercitano una funzione di depurazione.	Variazioni della struttura chimico, fisica ed ecologica dell'ecosistema marino costiero (temperatura, stratificazione, scarico fluviale) collegate ai cambiamenti climatici, insieme a variazioni antropiche non climatiche degli input di inquinanti possono modificare o esaurire la funzione depuratrice delle acque costiere.
<b>Regolazione rischi</b>	"Assorbimento" ( <i>dampening</i> ) delle alterazioni ambientali	Ecosistemi in equilibrio forniscono protezione da erosioni e inondazioni	Aumento del livello del mare e variazioni nelle condizioni estreme dello stato del mare, agenti su ecosistemi terrestri costieri alterati o eccessivamente antropizzati, possono aumentare i rischi di

			erosione e inondazione.
--	--	--	-------------------------

Tabella 3.15: I principali servizi ecosistemici di regolazione svolti dalle zone costiere.

### **Trattamento dei rifiuti**

L'ecosistema marino costiero effettua un servizio di "trattamento rifiuti", sequestrando e riciclando composti inquinanti. In generale, la capacità di un ecosistema di effettuare questo servizio (MEA, 2005a) dipende dalla sua struttura e stato nonché dalle caratteristiche degli inquinanti (si veda anche quanto detto a proposito del servizio di supporto) "ciclo dei nutrienti".

La concentrazione d'inquinanti è ridotta, al momento dell'immissione nell'ambiente marino, da processi di diluizione o di trasporto avvevativo. Un'ulteriore riduzione è operata da processi di detossicazione (decomposizione microbica di inquinanti organici) e di sequestro (incorporazione nei sedimenti). Quest'ultimo processo riguarda principalmente composti di sintesi difficilmente decomponibili per via enzimatica o microbica. Di conseguenza la tossicità è mantenuta nel tempo.

Essendo i processi di detossicazione degli inquinanti di tipo essenzialmente fisico e/o (bio)chimico, ne consegue che ogni variazione della struttura chimico, fisica ed ecologica dell'ecosistema marino costiero (temperatura, stratificazione e scarico fluviale) collegata ai cambiamenti climatici, insieme a variazioni antropiche non climatiche degli input di inquinanti può modificare o esaurire la funzione depuratrice delle acque costiere. Si è detto che i sistemi socio-economici sono sostenuti da servizi ecosistemici, la cui sostituzione avrebbe (teoricamente) un "costo". Il servizio "trattamento rifiuti" costituisce con buona probabilità il miglior esempio di questo concetto. Il carico (quali/quantitativo) inquinante, in eccesso rispetto alla capacità di depurazione di un ecosistema, è correntemente trattato da depuratori artificiali. Una riduzione di questo servizio da parte dell'ecosistema costiero comporterebbe automaticamente un necessario innalzamento del servizio sostitutivo operato dagli impianti di depurazione, con conseguente maggior costo economico.

Altro aspetto emergente sono i rifiuti prodotti sul territorio e trasportati a mare. Tali componenti (in particolare plastiche, sacchetti, contenitori, ecc...) sono visivamente presenti sia sul litorale, che in mare. Si depositano sul fondale e fluttuano lungo la colonna d'acqua. I processi di degradazione sopra elencati frammentano in pezzi minuscoli tali materiali producendo "microlitter", materiale "simile" al plancton di cui i pesci si nutrono, andando ovviamente a inficiare le loro qualità organolettiche e a incrementare i contenuti di microinquinanti lungo la catena alimentare.

### **Regolazione dei rischi**

Questo servizio dipende dalla capacità delle strutture naturali di mitigare alterazioni ambientali quali ad esempio la perdita di zone costiere dovuta ad azione erosiva del mare o all'aumento del

livello del mare (MEA, 2005a; Beaumont et al., 2007). Le aree costiere globali sono progressivamente soggette al maggior rischio di inondazione (Molnar et al., 2009). Le sezioni 2 e 3 di questo capitolo analizzano in dettaglio e sintetizzano l'attuale stato delle conoscenze con particolare riferimento alla situazione nazionale. Anche in questo caso la sostituzione di strutture difensive naturali con strutture artificiali comporterebbe un maggior costo e genererebbe anche problemi di conflitti di interesse e funzioni rispetto ad altri servizi, quali quello di fornitura cibo (acquacoltura) o quelli "culturali" (estetici e ricreativi).

### *Servizi culturali (Cultural)*

Per servizi culturali sono qui considerati tutti quei benefici non materiali che gli esseri umani ottengono dai sistemi naturali attraverso attività spirituali, estetiche, ricreative. Comprende quindi una vasta gamma di attività (anche molto diverse fra loro), non facilmente valutabili in maniera quantitativa (Ghermandi et al., 2009).

#### *Servizi estetici*

Il valore estetico del paesaggio costiero (e in particolare quello italiano) è assolutamente indiscutibile. Ed è il risultato di un lungo processo durante il quale dinamiche naturali e socio economiche si sono integrate fra loro. L'importanza del servizio estetico è molto grande di per se, ma anche perché da esso ne deriva il servizio di tipo ricreativo e turistico.

#### *Servizi ricreativi e turistici*

I servizi ricreativi e turistici dipendono fortemente dal valore estetico delle zone costiere e dalla qualità ambientale e salubrità delle acque. In questo caso la loro importanza può essere più facilmente quantificata, essendo il turismo una voce importante dell'economia nazionale. La qualità del servizio e il suo valore economico, dipendono, oltre che dalla qualità del servizio estetico, anche dalla qualità di altri servizi, sia di supporto che di fornitura, che complessivamente determinano la fruibilità delle zone costiere.

Entrambi questi servizi "culturali" sono sensibili ai cambiamenti climatici, poiché perdita di valore estetico e/o di fruibilità (e conseguente danno economico) può essere determinata sia da alterazioni ambientali che da misure di adattamento (sostituzione artificiale di servizi ecosistemici naturali).

Servizio	Descrizione	Importanza costiera	Sensibilità ai cambiamenti climatici
Estetico	Ambienti naturali in equilibrio con la pressione antropica costituiscono un "paesaggio" con un	Il valore estetico di numerosi settori delle zone costiere italiane è estremamente importante per ragioni culturali ed	Perdita di valore estetico dovuto ad alterazioni dell'equilibrio ambientale o a misure di adattamento/contenimento, può determinare la perdita di valore estetico, danneggiando anche l'economia legata al

	indubbio e notevole valore estetico.	economiche.	servizio turistico ricreativo.
Turistico e ricreativo	Fruizione turistica e ricreativa degli ambienti Naturali.	Importante per il mantenimento della funzione culturale e per i rilevanti aspetti economici	Alterazioni delle caratteristiche ambientali delle zone costiere dovute a cambiamenti climatici congiuntamente a un'eccessiva pressione antropica possono determinare (insieme alla perdita del valore estetico) importanti danni di tipo economico, essendo il turismo e un'importante voce dell'economia nazionale.

*Tabella 4.15: I principali servizi culturali svolti dalle zone costiere.*

## **Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane**

### *Introduzione*

Fra gli effetti che il riscaldamento globale in corso avrà sulla società umana, il previsto sollevamento del livello marino ricopre un ruolo di fondamentale importanza potendo modificare l'attuale assetto delle coste, dei suoi habitat e, in definitiva, delle attività e delle infrastrutture che contribuiscono al benessere e alla sussistenza sociale. Per prevenire effetti molto dannosi per le coste italiane è bene poter comprendere quali scenari e conseguentemente quali impatti sono attesi per i prossimi decenni.

Ricostruire le diverse componenti che concorreranno a definire le variazioni relative del livello del mare in un dato settore costiero costituisce la base per la programmazione e la difesa del territorio dal cambiamento globale atteso: l'adattamento al clima del futuro.

Com'è noto il livello del mare è sempre stato protagonista di oscillazioni di varie entità e velocità nella storia della Terra. Queste variazioni sono dipese sia da cause climatiche, astronomiche (Antonioli et al., 2004) che, in termini di movimenti relativi, dalla tettonica (Ferranti et al., 2010) e dalla isostasia (Lambeck et al., 2004) i cui tassi mostrano notevoli differenze a livello regionale. Tuttavia, il riscaldamento in atto potrà comportare un'accelerazione senza precedenti negli attuali trend di sollevamento della componente eustatica-sterica (Figura 6.15).

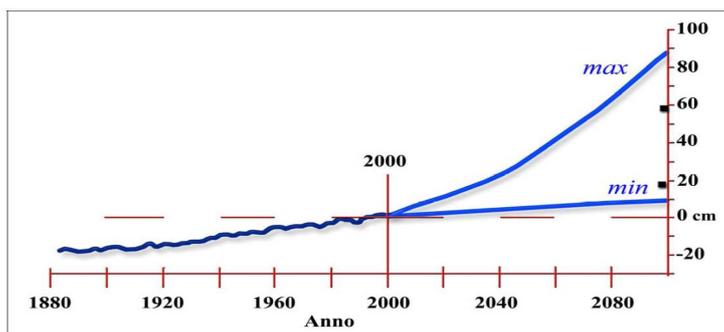


Figura 6.15: Le proiezioni di sollevamento del mare riportate nel rapporto IPCC TAR del 2001 (linea blu) e nel rapporto IPCC AR4 del 2007 (box neri).

Oggi ci troviamo forse al culmine di un lungo periodo interglaciale caldo, che è iniziato circa 9000 anni fa e che ha visto il livello marino sempre sollevarsi, nonostante la radianza solare ( $W/m^2$ ) media sulla superficie terrestre sia diminuita (Figura 7.15).

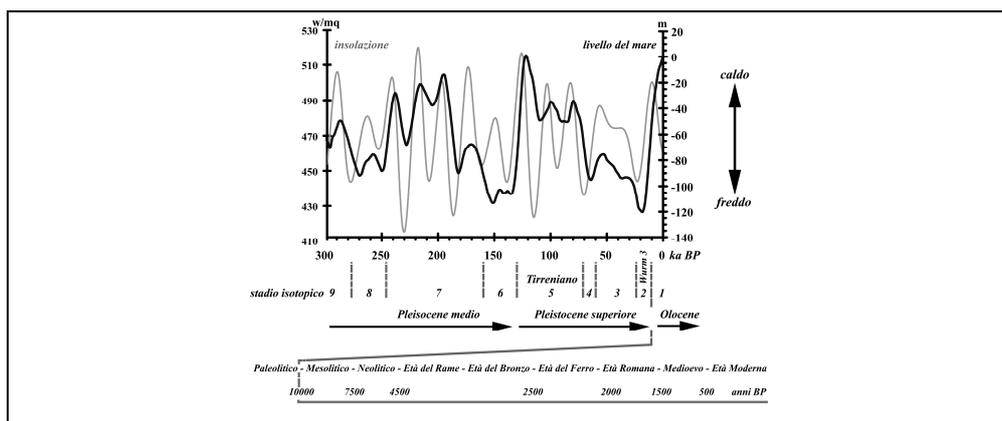


Figura 7.15: Variazioni del livello del mare e dell'insolazione del Pleistocene superiore e dell'Olocene (Fonte: Silenzi et al., 2004).

Seppure sia noto come da circa quattromila anni la fusione dei ghiacci, e quindi il loro contributo all'eustatismo, sia quasi cessato, a causa dei movimenti isostatici nella Fennoscandia (Lambeck et al., 2006) tutte le coste italiane hanno continuato e continueranno a subire passivamente movimenti negativi che appaiono come una risalita relativa del mare.

### Le cause delle variazioni del livello marino

Nel corso delle ere geologiche il livello del mare ha sempre subito delle oscillazioni. Tutte queste oscillazioni possono essere connesse a cause, astronomiche, climatiche e geologiche; si tratta della sommatoria di variazioni che interessano l'intero globo a cui vanno sommate variazioni locali che

differiscono, anche sensibilmente, da settore a settore. Fra le cause geologiche globali vi sono i cambiamenti della forma degli oceani, l'accelerazione nell'espansione delle dorsali oceaniche, il cambiamento nella distribuzione dell'acqua oceanica (variazioni climatiche con formazione o fusione delle coltri glaciali). L'eccentricità dell'orbita della Terra attorno al sole, l'oscillazione dell'obliquità dell'asse di rotazione terrestre e i suoi moti di precessione sono i fattori dominanti le oscillazioni eustatiche fondamentali.

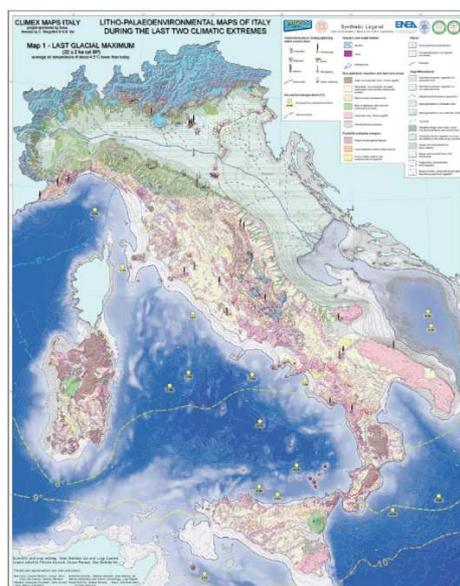
Le variazioni a scala continentale o regionale dipendono principalmente dalle variazioni glacio-idro-isostatiche, dalla tettonica, dalle variazioni nella forza di gravità, dalla subsidenza e, negli ultimi secoli, dalle cause antropiche.

A scala locale sono inoltre possibili variazioni di breve periodo (giornaliero, mensile, annuale) prevalentemente correlate a cause meteomarine e meteorologiche (maree, venti predominanti, variazioni di pressione atmosferica). Queste oscillazioni sono tutt'altro che di lieve entità, e possono comportare innalzamenti del livello del mare anche di alcuni decimetri, come nel caso delle acque alte.

### ***Modificazioni climatiche di lungo periodo***

Le modificazioni climatiche globali che agiscono sulle decine e le centinaia di migliaia di anni sono essenzialmente innescate dalle variazioni periodiche dei parametri dell'orbita terrestre (Milankovitch, 1938; Hayas et al., 1976; Adem, 1989). Sono, infatti, questi che controllano l'intensità dell'insolazione che giunge sulla superficie del pianeta.

Gli effetti delle modificazioni climatiche sulle variazioni del livello marino riguardano principalmente i cambiamenti tra volumi relativi di acqua e ghiaccio, che avvengono per accrescimento o fusione delle coltri glaciali. Le variazioni del livello marino così indotte possono raggiungere i 140 m in ventunmila anni (Figura 8.15).



**Figura 8.15:** *Geomorfologia Italiana durante l'ultimo periodo Glaciale (21.8 ka cal BP) (Fonte: Vai et al., 2004).*

Queste oscillazioni vengono anche definite variazioni glacio-eustatiche (termine di valore storico proposto per la prima volta da Maclaren nel 1842).

Cambiamenti climatici consistenti, come quelli che avvengono nel passaggio da un periodo glaciale a uno interglaciale, comportano anche variazioni di temperatura, di salinità e di pressione dell'acqua oceanica, con relativi cambiamenti di densità e quindi di volume. I cambiamenti di livello marino indotti da una variazione di temperatura sono generalmente limitati (al massimo qualche metro di differenza tra un periodo glaciale e un periodo interglaciale), ma possono essere percepibili (qualche decimetro) se un cambiamento climatico si produce in tempi brevi, come sta accadendo in questi ultimi anni a causa del riscaldamento globale in corso.

### ***Variazioni glacio-idro-isostatiche***

Le variazioni descritte dai cicli di Milankovitch hanno portato 22000 anni fa (massimo acme dell'ultimo periodo glaciale) la Terra a essere ricoperta da enormi coltri glaciali, spesse anche oltre 4000 metri. Nelle nostre regioni, l'estensione dei ghiacci comprendeva una vasta porzione del nord Europa e delle principali catene montuose, quali le Alpi.

La formazione o la fusione delle calotte glaciali induce sulla crosta terrestre movimenti verticali come risposta al carico rappresentato dall'accrescimento delle coltri o dall'alleggerimento dovuto al loro scioglimento. Questi fenomeni agiscono a scala planetaria e, a causa della viscosità del mantello terrestre, perdurano per lungo tempo anche dopo la fine della causa che li ha indotti. Così, per esempio, benché la maggior parte della calotta che ricopriva la Scandinavia durante l'ultimo periodo glaciale sia sparita da oltre 8000 anni, alcune porzioni costiere della Penisola Scandinava continuano a innalzarsi glacio-isostaticamente alla velocità di quasi 20 mm/anno; una costante subsidenza continua a predominare in una vasta regione contigua a quella della calotta, che comprende la maggior parte delle coste del Mediterraneo, Italia inclusa (Lambeck e Johnston, 1995).

Questo effetto, che tende a essere trascurabile verso l'equatore, ma soprattutto sulle coste meridionali Mediterranee, va sotto il nome di glacio-isostasia, ed è stato descritto fra i primi da Farrell e Clarck (1976).

La componente idro-isostatica è invece connessa alle variazioni del fondale marino dovute all'incremento (o decremento) della colonna d'acqua, a sua volta causato della fusione (accrescimento) dei ghiacci in conseguenza del riscaldamento (raffreddamento) globale. Questo effetto produce un massimo valore di subsidenza all'interno dei bacini oceanici, con un conseguente sollevamento delle zone continentali.

L'effetto glacio-idro-isostatico per il Mediterraneo centrale (Lambeck e Johnston, 1995; Lambeck e Bard, 2000), e quindi per la penisola italiana (Lambeck et al., 2004a), si traduce in un processo di subsidenza con tassi variabili da Nord a Sud, con ordini di grandezza compresi tra 0.2 e 0.8 mm\anno (Lambeck et al. 2004a, Antonioli et al., 2007b, Lambeck et al., 2011) che corrispondono alla sommatoria tra la componente glacio- e quella idro-isostatica.

Nel Mediterraneo, infatti, l'effetto principale connesso alla risalita del livello del mare consiste in un abbassamento della superficie del fondale marino durante e dopo la deglaciazione (Lambeck et al., 2004 a).

Una prova di quanto sta accadendo è data dal rinvenimento e dalla misura di reperti archeologici sommersi quali piscine di allevamento di pesci costruite dai Romani 2000 anni fa in buona parte delle coste Mediterranee. Tali marker archeologici, misurati in aree tettonicamente stabili e ben correlati con il livello marino (le peschiere erano realizzate in corrispondenza dell'intervallo di marea) si trovano attualmente nel Tirreno centrale alla quota di circa -1.35 m (Lambeck et al., 2004b) ma alla quota 0 (ancora funzionanti) nel Mediterraneo meridionale (Tunisia, Israele, Anzidei et al., 2012a, b). Il livello eustatico del mare di 2 ka BP era però solo di circa 12 cm più basso dell'attuale.

Appare fondamentale la conoscenza delle variazioni glacio-idro-isostatiche del passato e di quelle attualmente in corso lungo la penisola italiana (Lambeck et al., 2011, Figura 9.15) nel computo delle variazioni relative del livello marino che, a loro volta, dovranno essere rappresentate da curve locali in connessione alle diverse caratteristiche geologiche e reologiche di quel settore. La necessità di considerare la peculiarità di ogni area spiega la difficoltà di avere una singola curva che possa descrivere il fenomeno variazione del livello marino a scala mondiale.



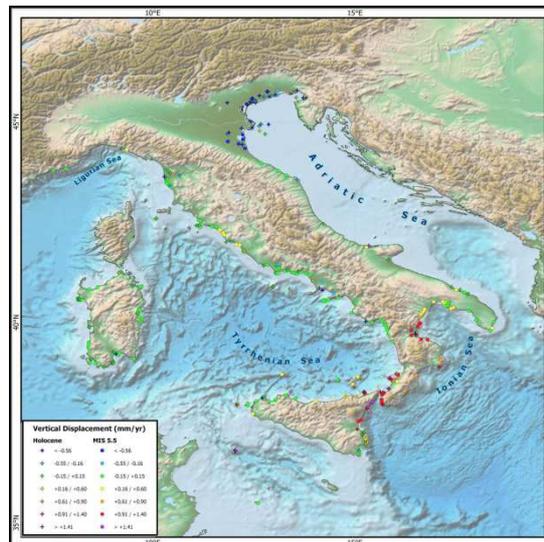
**Figura 9.15:** Attuali tassi di abbassamento isostatico (salita relativa del livello dei mari Italiani (mm/anno) (Fonte: Lambeck et al., 2011).

## Movimenti verticali

A scala locale una componente da tenere presente nel computo delle variazioni relative del livello marino è fornita dall'entità degli eventuali movimenti tettonici, recenti e attivi. E' vero che non si tratta di variazioni dovute a oscillazioni climatiche, ma il loro effetto, nel computo del rischio futuro della costa assume una grande importanza (Pirazzoli, 1991).

Negli studi sui movimenti verticali costieri, lungo le coste del Mediterraneo è stato possibile utilizzare marker geologici e biologici attribuiti all'ultimo periodo interglaciale, lo stadio isotopico 5.5 (denominato anche Tirreniano e datato, come acme caldo, circa 125 ka BP). Durante tale periodo la quota eustatica del livello del mare Mediterraneo era pari a  $+7\pm 1$  m rispetto al livello del mare attuale. Una discussione esaustiva sull'attribuzione altimetrica del massimo eustatico relativo all'ultimo periodo Interglaciale (Tirreniano) è in Nisi et al. (2003a). E' possibile quantificare tale livello stabilendo la differenza tra la quota attuale e l'altezza di forme di deposito e di erosione connesse a quel periodo di alto marino. In altre parole, misurando la differenza fra la quota attuale di affioramento (Z) e quella paleoeustatica (+7 metri), si può quantitativamente definire l'entità media della componente verticale delle dislocazioni degli ultimi 125 ka BP, secondo la relazione  $(Z - 7)/125$  (espressa in mm/anno) (Antonioli et al., 2000; Bordoni e Valensise, 1998; Nisi et al., 2003; Ferranti et al., 2006; Antonioli et al., 2009; Ferranti et al., 2010).

Nella Figura 10.15, vengono riportati i movimenti verticali rilevati per le aree costiere italiane.



**Figura 10.15:** Mappa delle aree a rischio di allagamento del mare lungo le coste italiane (Fonte: Lambeck et al., 2011). I centimetri di sollevamento relativo del mare attesi per il 2100 sono stati calcolati considerando i valori minimi dal Rapporto IPCC AR4(2007) (18 cm) e massimi (140 cm) da Rahmstorf (2007) di sollevamento eustatico e sommandoli con quelli tettonici e isostatici calcolati per le aree in oggetto.

Appare chiaro come estese aree costiere in Toscana, tutta la Sardegna, il Lazio meridionale, nonché porzioni della Sicilia occidentale, possono considerarsi sostanzialmente stabili. Il Friuli, il Veneto e L'Emilia-Romagna sono invece aree in subsidenza tettonica. Fra i principali settori attualmente in sollevamento lungo la penisola italiana vi sono la Calabria e la Sicilia orientale.

Da tali osservazioni si può facilmente dedurre come nelle aree costiere site in zone tettonicamente attive per la presenza di terremoti, vulcani e altri movimenti dovuti alla tettonica delle placche (nel bacino Mediterraneo lo scontro tra Africa ed Europa si manifesta con spostamenti orizzontali dell'ordine di circa 4-6 mm, oppure la subduzione Appenninica che ha velocità sempre nell'ordine di alcuni mm), si instaurino movimenti tettonici di sollevamento o abbassamento i cui tassi oscillano fra -1 mm\anno (Amorosi et al., 2004) e +2.4 mm\anno (Doglioni, 1994; Antonioli et al., 2003; Carminati et al., 2003; Ferranti et al., 2007).

La subsidenza nelle pianure costiere può essere correlata sia a cause naturali (ad es. al costipamento dei sedimenti), sia connessa con le attività antropiche (bonifica idraulica, estrazione di fluidi, sfruttamento degli idrocarburi). A titolo di esempio, l'abbassamento del piano campagna della fascia costiera emiliano-romagnola ha fatto registrare tassi di subsidenza che hanno raggiunto i 70 mm/anno (delta del Po, Carminati e Martinelli, 2002), di cui quelli riconducibili ad attività umane, per estrazione di gas ed emungimento di acqua, sono pari a 10-30 mm/anno (Bonsignore e Vicari, 2000).

## *Le misure attuali e le previsioni sul futuro livello marino*

Come visto, sono molteplici le componenti che concorrono a determinare le variazioni del livello marino, spesso con effetti peculiari di una singola area o regione. Questo determina una grande incertezza nella quantificazione dell'attuale e della futura tendenza del livello degli oceani ed ancor più del Mediterraneo, dove si sovrappongono le difficoltà connesse a valutare la tendenza di un bacino semichiuso con dinamiche idrauliche e idrogeologiche peculiari. Tuttavia, la comunità scientifica internazionale è pressoché unanimemente concorde nell'affermare che l'incremento dei gas serra sta modificando il clima del pianeta in modo tale da innescare una risalita del livello del mare su scala globale. Gli scenari individuati dai modelli per l'ultimo decennio sono stati addirittura superati dai fatti: il mare (a livello globale) è risalito con tassi superiori a quanto ci si attendeva qualche anno fa.

Se si rivolge lo sguardo a 2000 anni fa, si può ricostruire come il livello relativo del mare in questo lasso di tempo, nelle aree tettonicamente stabili del Mediterraneo centrale, sia risalito di circa 1.3/1.4 metri. Di questo sollevamento solo 12 cm sono dovuti allo scioglimento dei ghiacciai mentre il resto è stato causato dal riaggiustamento glacio-idro-isostatici (Lambeck et al., 2004a). Questi 12 cm si sono però aggiunti solo negli ultimi 100 anni circa, come probabile conseguenza del progressivo riscaldamento globale. Così, negli ultimi 2 secoli, da quando sono disponibili misure strumentali e, successivamente, i dati da satellite, il livello del mare mostra di aver subito una risalita media complessiva (isostasia ed eustatismo) di circa 1-1.5 mm/anno. Scendendo nel dettaglio, la media mondiale dei mareografi (centinaia di stazioni in tutto il mondo alle quali è stata sottratta la componente isostatica) mostra, per gli ultimi 50 anni, un valore di 1.8 mm \ anno (Church et al., 2004).<sup>231</sup>

La media globale del sollevamento del livello degli oceani ottenuto dal satellite Topex Poseidon (meno di 10 anni di registrazioni) mostra un trend di 3 mm \ anno (Cazenave e Nerem, 2004); non appare chiaro se tale incremento (rispetto a alla media di 1.8 mm \ anno dei mareografi) sia dovuto a un recente accelerazione o sia associato a una ciclicità decennale.

Le previsioni di quanto si alzerà il livello marino nel prossimo futuro (anno 2100) sono basate sulle ricostruzioni paleoclimatiche, sui dati mareografici, sulle variazioni storiche della temperatura media della Terra, sulle masse di ghiaccio potenzialmente in scioglimento e sull'effetto dell'espansione termica degli oceani connesse al riscaldamento globale.

Il recente rapporto dell'IPCC (IPCC, 2013) mostra come la temperatura media globale potrebbe aumentare nel 2100 fra 1.0° e 3,7°C (valori medi tra le risposte dei modelli) – secondo i diversi scenari di emissione considerati e, quindi, a seconda dei possibili modelli di sviluppo socio-economico mondiale. Anche il livello globale del mare potrebbe sollevarsi, per lo stesso periodo, tra +0.40 e +0.63 metri.

---

<sup>231</sup> I dati mareografici sono scaricabili dal sito <http://www.pol.ac.uk/PSMSL>

Il Mediterraneo, a causa della complessa fisiografia, la presenza di condizioni meteorologiche peculiari, nonché il bilancio idrogeologico negativo (dal mare evapora più acqua di quanta ne arriva dai fiumi) ma soprattutto la soglia di Gibilterra e le anomalie di salinità (Sannino et al., 2009), si comporta diversamente rispetto agli oceani. I dati mareografici mediterranei, comparati con quelli globali, indicano un sollevamento inferiore negli ultimi 100 anni: 1.1mm/anno (Lambeck et al., 2004a) contro 1.8 mm/anno (Church et al., 2004).

Data la complessità dei fenomeni climatici, geologici e tettonici che interessano le coste della Terra, utilizzare per il Mediterraneo soltanto le proiezioni elaborate a livello globale, come, per esempio, quelle fornite nei rapporti IPCC, per definire i futuri rischi di inondazioni marine, è estremamente limitante. È necessario, invece, prendere in considerazione una valutazione comprensiva delle regioni interessate che includa i dati paleoclimatici, i movimenti idro-isostatici differenziali, quelli dovuti a subsidenza o sollevamento, e l'eventuale accelerazione attesa per il futuro in seguito alle variazioni del clima mediante proiezioni climatiche con modelli regionali dell'area mediterranea.

In tal senso, il mareografo è uno strumento di grande utilità per la comprensione del sollevamento relativo del mare a livello locale: tutti i movimenti verticali della costa vengono infatti sommati in un'unica registrazione. Purtroppo lungo le coste italiane pochi sono i mareografi funzionanti da almeno 100 anni (Genova, Trieste, Venezia), i primi due danno un innalzamento medio di circa 13 centimetri, quello di Venezia di circa 24 cm (dovuti alla tettonica e subsidenza). Una recente analisi delle variazioni recenti del livello del mare Mediterraneo è stata condotta da Ulbrich et al (2013) nell'ambito del Progetto Europeo "CIRCE" (Climate Change and impact Research: the Mediterranean Environment; Navarra and Tubiana, 2013a,b, c). L'analisi, che è stata condotta sulla base delle serie storiche mareografiche e sulle osservazioni di altimetria satellitare, ha fornito una stima complessiva di variazione del livello del mare nel corso dei passati 100 anni pari a circa 15 cm.

Il resto della rete mareografica nazionale fornisce comunque dati molto interessanti permettendo la registrazione dei sollevamenti o abbassamenti verticali e, soprattutto, del sollevamento eustatico. Per comprendere quale contributo possono fornire le serie storiche dei più recenti mareografi alla comprensione del sollevamento del livello marino, bisogna osservare che i cicli di carattere non eustatico nel Mediterraneo hanno periodi decennali: per registrare i trend in corso è perciò necessario avere registrazioni di almeno 20 anni. È così auspicabile la fattiva implementazione della rete nazionale (come in essere), con stazioni che ricoprano estensivamente il territorio italiano. Tali dati, infatti, non possono essere sostituiti dalle misure satellitari che sono relative alle variazioni in mare aperto e non costiere, con queste ultime ben più rilevanti per formulare ipotesi di adattamento. I dati mareografici, inoltre, sono particolarmente affidabili anche in aree attive, come comprovano le correlazioni con i dati di mobilità verticale da osservazioni geologiche (long-term) (Antonioli et al., 2007a). Ovviamente, a sua volta, l'interpretazione delle misure mareografiche necessita di essere comparata con i dati geologici, soprattutto quando i movimenti verticali, come nel caso di eventi sismici, hanno periodi di ritorno superiori a quelli di registrazione del dato strumentale.

Per quanto riguarda le proiezioni riguardanti le future variazioni del livello del mare Mediterraneo nel corso del XXI secolo le simulazioni condotte dal Progetto CIRCE (Navarra e Tubiana, 2013 a, b, c) basate sugli scenari IPCC di emissione di CO<sub>2</sub>, forniscono (relativamente al periodo 2021-2050) un innalzamento complessivo del livello del Mare Mediterraneo (dovuto agli effetti sterici) compreso fra 6.6 e 11.6 cm. (Gualdi et al., 2013).

### *Lo stato delle coste*

Le ricerche di carattere interdisciplinare degli ultimi anni hanno mostrato come gran parte delle aree costiere del pianeta (quasi l'80% di tutte le spiagge esistenti) stia subendo fenomeni di erosione. Tale fenomeno è sia connesso alla risalita del livello del mare, dovuta alla fusione delle calotte glaciali, alla subsidenza, e all'espansione termica delle masse oceaniche come conseguenza dei cambiamenti climatici in atto, sia all'uso sconsiderato del territorio costiero operato dall'uomo negli ultimi lustri (distruzione dei sistemi dunali, imbrigliamento dei fiumi, costruzione di opere aggettanti, pulizia delle spiagge e pressione turistica eccessiva, ecc.). L'effetto antropico può così produrre sull'erosione costiera effetti simili, se non addirittura superiori, ai movimenti del mare.

Nei prossimi decenni l'accelerazione recente del sollevamento del livello marino potrebbe essere ancora più rilevante, con effetti devastanti sui sistemi costieri.

Come discusso, il rapporto prodotto dall'IPCC nel 2013 individua scenari dove l'innalzamento marino del prossimo secolo, per sole cause climatiche, potrà superare il mezzo metro rispetto al livello attuale. Le conseguenze di questi fenomeni, tutt'altro che improbabili, sugli ecosistemi e le popolazioni rivierasche sono facili da immaginare: se un innalzamento delle acque di solo un centimetro può comportare l'arretramento della linea di riva anche di 1 metro, il sollevamento marino previsto dal recente rapporto dell'IPCC potrebbe potenzialmente sconvolgere l'assetto costiero di molti paesi del mondo.

Tale rischio, che può essere definito come la "perdita economica, ambientale o sociale attesa in conseguenza della risalita relativa del livello medio del mare" (una review sulle diverse definizioni di rischio applicabili alle coste è contenuta in Silenzi et al., 2003), è la conseguenza dell'interazione tra la presenza di elementi antropici e fenomeni di diversa natura: al riscaldamento globale e all'eustatismo, si uniscono la subsidenza, l'alterazione dei sistemi naturali litoranei, lo smantellamento degli apparati dunali e la realizzazione di opere aggettanti quali i porti. Per comprendere la rilevanza del problema sul territorio nazionale è utile ricordare che degli oltre 7500 km di litorale italiano, il 47% è rappresentato da coste alte e/o rocciose e il 53% da spiagge; di queste ultime il 42% circa è attualmente in erosione, e si tenga presente che molte zone costiere sono diventate soggette ad erosione in conseguenza della realizzazione di opere di difesa che, a partire dal 1907, con la "Legge per la difesa degli abitati dall'erosione marina", hanno alterato gli ambienti e le dinamiche geologiche di molti litorali. Ad esempio la costruzione di porti lungo i litorali sabbiosi ha contribuito a interrompere i flussi sedimentari lungo costa, magnificando l'erosione in alcune aree e comportando l'avanzamento di alcuni tratti di litorale a ridosso di tali strutture.

## ***La valutazione del rischio da ingressione marina***

Seppure il Mediterraneo non sia fra i settori più a rischio per le popolazioni, ha un'alta vulnerabilità degli ecosistemi costieri e subisce un'accelerata erosione dei litorali.

Le ricerche di carattere interdisciplinare degli ultimi anni hanno mostrato come gran parte delle aree costiere del pianeta (quasi l'80% di tutte le spiagge esistenti) stia subendo fenomeni di erosione. Tale fenomeno è sia connesso alla risalita del livello del mare, dovuta allo scioglimento delle coltri glaciali, alla subsidenza, e all'espansione termica delle masse oceaniche come conseguenza del cambiamento climatico in atto, sia all'uso sconsiderato del territorio costiero operato dall'uomo negli ultimi lustri (distruzione dei sistemi dunali, imbrigliamento dei fiumi, costruzione di opere aggettanti, pulizia delle spiagge e pressione turistica eccessiva, ecc.). L'effetto antropico può così produrre sull'erosione costiera effetti simili, se non addirittura superiori, ai movimenti del mare.

Nei prossimi decenni l'accelerazione recente del sollevamento del livello marino potrebbe essere ancora più rilevante, con effetti devastanti sui sistemi costieri.

Come discusso, il rapporto prodotto dall'IPCC nel 2007 individua scenari dove l'innalzamento marino del prossimo secolo, per sole cause climatiche, potrà superare il mezzo il metro rispetto al livello attuale. Le conseguenze di questi fenomeni, tutt'altro che improbabili, sugli ecosistemi e le popolazioni rivierasche sono facili da immaginare: se un innalzamento delle acque di 1 solo centimetro può comportare l'arretramento della linea di riva anche di 1 metro, il sollevamento marino previsto dal report potrebbe potenzialmente sconvolgere l'assetto costiero di molti paesi del mondo. Le coste mediterranee (46000 km) e soprattutto quelle nazionali (7500 km) presentano, in relazione al rischio di allagamento da parte del mare, alcuni fattori negativi rispetto a molte altre aree del mondo:

1. la presenza di limitate escursioni mareali (mediamente 30-40 cm con l'unica eccezione del nord Adriatico dove si superano i 100 cm) ha consentito un pericoloso avvicinamento alla linea di riva del tessuto urbano e di qualsiasi attività antropica;
2. lungo le coste mediterranee è ormai chiaro che gli effetti del sollevamento eustatico sono magnificati dai movimenti isostatici, tettonici e di subsidenza antropica; tale effetto viene ulteriormente amplificato dalla presenza di un certo numero di aree costiere depresse, cioè già oggi sotto il livello del mare.

In controtendenza rispetto al sollevamento globale degli oceani, appare invece mitigante l'attuale tasso eustatico (senza quello isostatico e tettonico) di risalita dei mari italiani (circa 1.1 mm\anno, Lambeck et al., 2004b): questo infatti è minore rispetto a quello globale (1.8 mm\anno, Church et al., 2004).

Nella mappa delle aree costiere italiane potenzialmente a rischio (Lambeck et al., 2011, Fig 8) vengono sommati i contributi eustatici, isostatici e tettonici. La previsione per il 2100 tiene conto di un range di valori eustatici minimi (quelli presentati dal rapporto IPCC AR4 (IPCC, 2007),

scenario BI, 180 mm) e massimi (da Rmashtoff 2007, 1400 mm) Utilizzando lo scenario B1 il contributo isostatico e tettonico costituisce la maggiore quantità della proiezione al 2100, nel secondo caso (Rmashtoff 2007) le proiezioni al 2100 sono dominate dal segnale climatico. Tale mappa è basata su un Modello di Elevazione Digitale (Digital Elevation Model - DEM) a 20 metri, e si può osservare come le zone che presentano le problematiche maggiori, cioè con molti km<sup>2</sup> di superficie intorno a quota zero, si trovano soprattutto nel Nord Adriatico. Sono comunque molte le aree nel nostro Paese con coste basse già oggi a rischio di essere allagate nei prossimi 100 anni (coste Tirreniche e Ioniche per un totale di circa 4500 km<sup>2</sup>) (Figura 11.15).

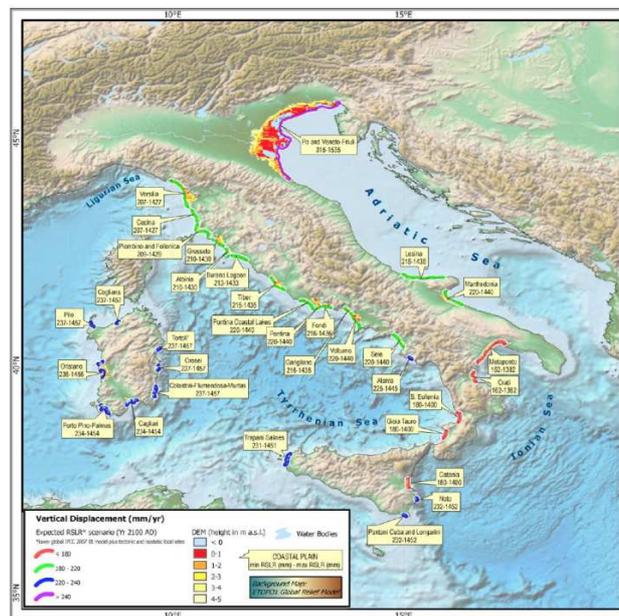


Figura 11.15: I movimenti verticali, espressi in mm/anno, sulle coste italiane ottenuti utilizzando diversi marker Tirreniani, e Olocenici. (Fonte: Lambeck et al., 2011).

## Considerazioni conclusive

La comunità scientifica internazionale è ormai unanimemente d'accordo nel considerare i cambiamenti climatici del pianeta connessi all'alterazione degli equilibri naturali da parte dell'uomo. Tale riscaldamento avrà conseguenze anche sul mare, aumentandone il livello e la frequenza degli eventi estremi. Ciò, molto verosimilmente, potrà provocare l'accelerazione dei processi erosivi e notevoli danni, in termini economici e di qualità della vita, alle popolazioni rivierasche.

La peculiare conformazione geografica rende l'Italia, con oltre 7500 km di coste e numerose pianure costiere, particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici. E' necessario adattare il

territorio al clima del futuro: in ambito costiero ciò potrà trarre vantaggio da una pianificazione territoriale in grado di tener conto dei diversi gradi di rischio.

Le Scienze della Terra forniranno un contributo fondamentale per la valutazione di quelle componenti che devono essere considerate per determinare con realistica approssimazione i possibili scenari di sollevamento del mare in una località, ovvero: eustatismo, espansione termica, distribuzione delle masse d'acqua, movimenti verticali, glacio-idro-isostasia, subsidenza (geologica e antropica).

## **Dinamica dei litorali ed eventi estremi**

### *Introduzione*

I cambiamenti climatici potrebbero avere gravi effetti sulle coste a causa dell'aumento del livello del mare e dei cambiamenti di frequenza e/o intensità dei fenomeni temporaleschi. Ciò comporterebbe minacce per gli ecosistemi, le infrastrutture e gli insediamenti, il turismo e la salute umana. Gli habitat e gli ecosistemi costieri di Baltico, Mediterraneo e Mar Nero sono quelli maggiormente a rischio.

Le tempeste marine sono una componente fondamentale dell'ambiente marino in quanto sono responsabili dell'evoluzione della linea di costa e sono una causa ricorrente dei danni e hanno, in generale, un notevole impatto sull'ambiente marino e costiero. Più in generale devono necessariamente essere considerate nella strategia di gestione delle aree costiere.

Una corretta valutazione del clima ondoso, cioè delle frequenze di eventi per classi di intensità, direzione e periodo, e delle tempeste (condizioni estreme) è alla base di una corretta pianificazione degli interventi da realizzare per la protezione costiera. Lo studio e l'analisi della evoluzione della linea di costa prevede uno studio delle condizioni ondose, sia nelle caratteristiche medie che per quanti riguarda gli eventi estremi.

In questo contesto, le onde del mare governano le dinamiche dei processi, sia in mare aperto sia in zone costiere, vi è, quindi, la necessità di determinare la misura in cui i cambiamenti climatici potrebbero influenzare la frequenza e l'intensità degli eventi estremi (storminess). Così, la previsione di cambiamenti di stato d'onda è di importanza cruciale per le decisioni relative all'adattamento climatico per la valutazione del livello di rischio nella progettazione delle strutture marine.

Sommandosi ai fenomeni di innalzamento del mare, gli eventi estremi determineranno una maggiore vulnerabilità delle coste, dovuta in parte alla modifica della relazione tra livello del mare e livello topografico delle coste, con conseguenti allagamenti sia da parte del mare, sia da parte delle foci dei fiumi per una maggiore difficoltà di scaricare l'acqua dei fiumi in mare.

### *Variazioni di storminess e clima ondoso dovuti ai cambiamenti climatici*

Durante i periodi storici, tempeste su larga scala e variazioni di temperatura sono stati in gran parte considerati indipendentemente l'una dall'altra, ma le proiezioni mostrano un rapporto più stretto.

Le analisi dei possibili cambiamenti climatici sono basate su quattro scenari, convenzionalmente denominati A1, A2, B1 e B2 per lo sviluppo economico (A) e la tutela ambientale (B) a scala globale (1) e regionale (2).

L'analisi delle onde marine (Lionello et al., 2007) mostra come i cambiamenti della circolazione atmosferica e dei venti alla superficie del mare concorrano a ridurre l'intensità di future mareggiate alle coste italiane con una diminuzione sia dei valori medi sia estremi.

Le simulazioni a scala regionale degli scenari A2 e B2 (anni 2070 – 2100) effettuate con il modello RegCM (Regional Climate Model), utilizzate anche per un'analisi dell'attività ciclonica, di onde e inondazioni costiere, per quanto riguarda l'intera regione europea, hanno evidenziato come i cambiamenti climatici siano maggiori in Nord Europa dove si registra un'intensificazione dell'attività ciclonica nella stagione invernale e una sua diminuzione in quella estiva; mentre, nella regione Mediterranea si registra una tendenza generale alla riduzione in autunno e primavera e alla diminuzione dei cicloni estremi in aprile e agosto, ma un incremento a marzo (Lionello et al., 2010c).

Le previsioni di mareggiate estreme (storminess) per il bacino del Mediterraneo non sono univoche: si prevede un generale incremento di eventi di questo genere per tutta l'Europa, anche se alcune fonti parlano di una decremento della frequenza verso la parte orientale del Mediterraneo (Busuioc, 2001), ma anche di un incremento della storminess per parti dell'Adriatico, dell'Egeo e del Mare Nero (Guedes Soares et al., 2002).

Recentemente sono stati effettuati degli studi per valutare la frequenza e l'intensità dei cicloni nella regione del Mediterraneo utilizzando il modello HadAM3P del Centro Hadley (Regno Unito) in tre regioni di significativa attività ciclonica, (il Golfo di Genova, il Sud Italia e Cipro). I risultati dello studio hanno dimostrato che le frequenze dei cicloni diminuiranno nel corso del periodo considerato (2071-2100) in inverno, primavera e autunno. Questa diminuzione può essere attribuita all'estensione verso nord della cintura subtropicale (Muskulus e Jacob, 2005), conseguente a uno spostamento verso nord dello stormtrack (Lionello et al., 2002). Come dichiarato dagli autori dello studio in oggetto, i risultati futuri dovrebbero essere interpretati con cautela.

Per quanto riguarda le tempeste e le mareggiate nel nord dell'Adriatico, i dati mostrano una grande variabilità inter-annuale, ciò suggerisce tempeste progressivamente più miti durante la seconda metà del XXI secolo (Lionello et al., 2010a). In futuro, le simulazioni di scenario (Lionello et al., 2003) suggeriscono una maggiore frequenza delle tempeste intense per lo scenario B2, ma non per lo scenario A2 (IPCC, 2007). Probabilmente, queste differenze non sono l'effetto dei cambiamenti climatici, ma della variabilità multi-decennale del clima.

Gli studi condotti sulle simulazioni di questi eventi estremi non forniscono un'evidente intensificazione né un'attenuazione delle tempeste marine (Lionello et al., 2010a, Lionello et al., 2010b).

I risultati di un recente studio condotto da Benetazzo et al. (2012) mostrano che, relativamente all'attuale livello globale, è probabile che la gravità delle onde del mare Adriatico diminuisca del 5% entro la fine del XXI secolo. Inoltre, le variazioni di altezza d'onda non si verificheranno uniformemente in tutto l'Adriatico, tali variazioni sono dovute a variazioni del vento climatico locale. Le differenze, tuttavia, tra il presente e il futuro, relative all'altezza d'onda significativa (Hs) sono piccole e comparabili con l'incertezza associata con eventi estremi. Pertanto, non vi è alcuna prova convincente che testimoni il verificarsi di tempeste di entità maggiori in scenari futuri né che le tempeste nel Nord Adriatico siano suscettibili ai cambiamenti climatici.

### *Vulnerabilità costiera nelle regioni italiane e mitigazione: studi e piani costa*

E' già stato evidenziato come quasi l'80% di tutte le spiagge esistenti siano in erosione (le spiagge costituiscono il 40% di tutte le coste mondiali; Bird, 2000): ciò è connesso sia alla risalita del livello del mare, all'azione delle onde generate dal vento, ma anche all'uso non rispettoso del territorio costiero. L'effetto antropico può produrre sull'erosione costiera danni molto significativi.

In Tabella 5.15 sono riportate le estensioni delle coste in tutte le regioni costiere italiane, e le percentuali delle coste basse in erosione, percentuale che varia dal 13% in Friuli Venezia Giulia, a un significativo 91% in Molise.

Regione	Estensione della costa (km)	Coste basse (km)	Tratti in erosione (km; %)
Liguria	466	94	31 (33)
Toscana	442	199	77 (39)
Lazio	290	216	117 (54)
Campania	480	224	95 (42)
Calabria	736	692	300 (43)
Sicilia	1623	1117	438 (39)
Sardegna	1897	459	195 (42)
Basilicata	56	38	28 (74)
Puglia	865	302	195 (65)
Molise	36	22	20 (91)
Abruzzo	125	99	50 (50)
Marche	172	144	78 (54)
Emilia Romagna	130	130	32 (25)
Veneto	140	140	25 (18)
Friuli-Venezia	111	76	10 (13)
Totale Italia	7569	3952	1681 (42)

**Tabella 5.15:** Estensione dei tratti costieri bassi e sabbiosi lungo le regioni italiane. La percentuale sull'intero territorio delle spiagge attualmente in erosione è significativamente alta: oltre il 42%. I dati sono tratti dal libro sullo stato dei litorali italiani (Fonte: Aucelli et al., 2006).

Il protocollo di Kyoto, oltre ad individuare come fondamentale la riduzione delle emissioni di gas serra, suggerisce ai governi mondiali di intraprendere delle adeguate politiche di adattamento (ridurre gli impatti attraverso la prevenzione degli effetti negativi dei cambiamenti climatici in atto e futuri).

Sulle coste tali indicazioni si traducono nella pianificazione del territorio in relazione al sollevamento del mare (rischi lenti, 50 – 100 anni) e all'intensificarsi degli eventi di rischio (rischi veloci, 5 – 15 anni).

Il Mediterraneo presenta un'alta vulnerabilità degli ecosistemi costieri e subisce un'accelerata erosione dei litorali.

Alcuni studi per la valutazione della vulnerabilità costiera per scenari di emissione al 2100 hanno interessato, negli ultimi anni, i settori costieri della Toscana settentrionale (Mar Ligure; Silenzi et al., 2002 e 2003; Nisi et al., 2003b), della pianura Pontina (Lazio, Mar Tirreno; Parlagreco et al., 2007a) e dell'area della foce del fiume Sangro (Abruzzo, Mar Adriatico; Parlagreco et al., 2006). Correlati ai rischi veloci vi sono studi effettuati in Veneto (Fontolan et al., 2001), Emilia-Romagna (Simeoni et al., 2003a e risultati del progetto MICORE), Sicilia e Campagna (Progetto Interreg IIC MESSINA<sup>232</sup>), Abruzzo (Progetto SI.CO.RA).

Studi, effettuati lungo la fascia costiera emiliano-romagnola, hanno evidenziato come la componente subsidenza antropogenica magnificherà il computo del sollevamento relativo del livello marino, comportando un effetto sull'arretramento della linea di riva: rispetto al 15% di territorio che si trovava sotto il livello del mare già alla fine degli anni '80, nel 2020 le aree depresse potrebbero raggiungere il 48% dell'intera fascia costiera (Simeoni et al., 2003b). Attualmente questi approcci metodologici sono stati applicati in siti pilota nell'ambito del progetto italiano FISR VECTOR (Vulnerabilità delle Coste e degli ecosistemi marini italiani ai cambiamenti climatici e loro ruolo nei cicli del carbonio mediterraneo)<sup>233</sup>; il progetto interessa la Laguna di Grado e Marano in Friuli, i fiumi Torbido, Amusa, Allaro e Precariti in Calabria, il Fiume Sele in Campania, il fiume Ombrone in Toscana) e nell'ambito del progetto europeo InterregIIIc Beachmed-e MedPlan (Lazio meridionale ed Emilia-Romagna).

### *La situazione italiana della pianificazione della costa*

In Italia la situazione della pianificazione costiera è ancora molto contraddittoria e frammentata tra le diverse competenze dello Stato, delle Regioni, dei Comuni.

La legge 31 dicembre 1982 n.979, che disponeva un "Piano mercantile generale di difesa del mare e delle coste", redatto dal Ministero della Marina d'intesa con le Regioni, avrebbe dovuto segnare una svolta importante nella gestione delle politiche di tutela dell'ambiente marino e costiero. Purtroppo al momento si può solo lamentare il ritardo nell'uscita del Piano, di cui si è ancora in attesa. Un altro contenuto della legge, ovvero, l'individuazione delle aree di riserva marina, ha invece avuto un progressivo sviluppo attuativo, almeno per quel che riguarda l'istituzione delle riserve stesse, mentre più problematico appare l'avvio delle singole gestioni.

---

<sup>232</sup> [www.interreg-messina.org](http://www.interreg-messina.org).

<sup>233</sup> <http://vector.conismamibi.it/>.

Relativamente al territorio costiero emerso, al di là della generica individuazione della fascia costiera dei primi 300 metri come bene da sottoporre a vincolo paesaggistico, fissata dal Decreto Galasso, non esistono in Italia, contrariamente a quanto succede in altri Paesi, indirizzi o misure di tutela attiva che permettano di contrastare la sempre crescente domanda di trasformazione del suolo costiero.

Analogamente l'occupazione progressiva del demanio marittimo può essere ricondotta, al di là dei diffusi fenomeni di abusivismo, alla mancanza di efficaci criteri di gestione orientati alla tutela dell'uso pubblico e degli spazi sensibili. Il recente mutamento del quadro giuridico, che ha comportato il passaggio delle principali competenze sulla costa dallo Stato alle Regioni, comporta l'individuazione del livello regionale come ottimale per l'attuazione di politiche di pianificazione e gestione integrata della costa, la prima che ha dato avvio a queste politiche approvando il piano costa è stata la Regione Liguria.

Attualmente la gestione del territorio costiero in Italia avviene con modalità profondamente diverse, con strumenti di pianificazione spesso in conflitto tra loro e indicazioni, a volte, concretamente poco cogenti.

Tra le regioni costiere, dieci dispongono di strumenti di pianificazione estesi all'intero territorio regionale; sette regioni costiere hanno uno specifico Piano di difesa delle coste e solo l'Emilia - Romagna e le Marche hanno un Piano di gestione integrata della fascia costiera approvato.

Nel 2009 la regione Puglia ha adottato il Piano Regionale delle Coste (PRC), quale strumento normativo e tecnico operativo di disciplina delle attività e degli interventi su tutta la costa regionale, sino allora trattati essenzialmente mediante lo strumento dei POR per interventi in emergenza e locali.

La Liguria ha pubblicato il Piano di tutela dell'ambiente marino costiero ispirato a principi della Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC)<sup>234</sup>. La Basilicata ha in programma la redazione del Piano regionale delle aree costiere, anche con istituzione dell'osservatorio regionale della costa e la Sicilia ha avviato le procedure per il Piano delle coste regionale.

Le restanti regioni hanno o in programma la redazione di piani specifici o solo programmi di intervento di difesa della costa e Piani Operativi Regionali (POR), che si limitano a definire un elenco di opere di difesa da realizzare su brevi tratti di costa.

L'attuale quadro della pianificazione costiera in Italia non è ovunque ancora espressione della prospettiva più ampia introdotta dalla GIZC.<sup>235</sup>

---

<sup>234</sup> Nella locuzione inglese: Integrated Coastal Zone Management (ICZM).

<sup>235</sup> [www.isprambiente.it](http://www.isprambiente.it).

Degni di nota sono i progetti Europei finalizzati alla valutazione che hanno coinvolto le Regioni italiane il cui obiettivo è stato quello di valutare gli impatti dei fattori agenti sulle coste attuali, e successivamente di stabilire la sensibilità ai cambiamenti climatici.<sup>236</sup>

#### La zona costiera Nord-Adriatica

Da quanto esposto, la zona costiera nord-adriatica emerge come la zona costiera dei mari italiani potenzialmente più sensibile ai cambiamenti climatici. Infatti, la combinazione di fattori edafico-geomorfologico (ridotta profondità del bacino, forti scarichi fluviali) e demografici (forte popolamento delle aree costiere, rende i servizi ecosistemici forniti dal mare costiero particolarmente importanti e soggetti a variazioni climaticamente indotte.

Le conseguenze delle variazioni climatiche indotte su tale area possono essere così riassunte:

- La riduzione dello scarico fluviale, insieme ad una aumentata stratificazione verticale della colonna d'acqua (conseguenze climatiche) e ad una riduzione degli apporti fluviali di sali nutritivi, potrebbe contribuire ulteriormente al processo di *oligotrofizzazione* delle zone costiere adriatiche.
- Tali processi da un lato contribuiscono sicuramente a mitigare fenomeni di eutrofizzazione, ma, congiuntamente al progressivo riscaldamento delle acque superficiali, possono determinare un aumento di eventi estremi quali la comparsa massiccia di mucillagini.
- La scarsa elevazione delle aree costiere rende la zona costiera particolarmente esposta alle variazioni del livello del mare, i cui effetti potrebbero essere potenzialmente aggravati da una maggiore frequenza di condizioni di mare agitato.

## Vulnerabilità delle zone costiere ai cambiamenti climatici

Le aree costiere sono sistemi complessi dinamici e multi-funzionali in cui si compiono funzioni economiche, residenziali, di trasporto e ricreative fondamentali per la popolazione, e in cui si trovano rilevanti fonti di alimenti, materie prime, risorse naturali e paesaggistiche (Commissione Europea, 2000). Sulla zona costiera, inoltre, insistono notevoli conflitti di interesse in merito all'uso e alla gestione delle risorse (ad es. aree residenziali, turismo balneare, aree protette, attività di pesca, zone industriali). Pertanto, complessivamente, in questi ambienti insistono diverse pressioni di natura antropica (ad es. aumento dell'edificazione, inquinamento ambientale, perdita di habitat e biodiversità) i cui effetti negativi possono essere esaltati dalle conseguenze dei cambiamenti climatici.

---

<sup>236</sup> [www.responsesproject.eu](http://www.responsesproject.eu), [www.coastance.eu](http://www.coastance.eu), [www.beachmed.it](http://www.beachmed.it), [www.micore.eu](http://www.micore.eu).

Diversi studi autorevoli svolti a livello internazionale negli ultimi anni (Parry et al., 2007; IPCC 2013) confermano la sostanziale vulnerabilità delle aree costiere nel prossimo secolo rispetto a diversi impatti dei cambiamenti climatici (ad es. mareggiate, inondazioni, erosione costiera e intrusione del cuneo salino) e spingono le autorità costiere a intraprendere misure di adattamento, da inserire all'interno di strategie di GIZC.

A livello internazionale esiste un'ampia gamma di definizioni del concetto di vulnerabilità. Il numero e il significato di tali definizioni è in continua crescita e riflette l'evolversi di diverse discipline che si occupano dello studio degli impatti connessi ai cambiamenti climatici e ai pericoli naturali. In particolare, è possibile identificare principalmente due filoni di ricerca: la comunità scientifica che si occupa della riduzione del rischio connesso ai disastri naturali (Disaster Risk Reduction -DRR) e la comunità scientifica di riferimento per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Mentre il filone legato al DRR ha storicamente posto maggior enfasi nella definizione del concetto di rischio (come funzione di pericolo, esposizione e vulnerabilità, UN-ISDR, 2005 e 2009); il filone dell'adattamento si è concentrato maggiormente sul concetto di vulnerabilità (come funzione della natura e dell'intensità del cambiamento climatico contro cui un sistema è esposto, della sua sensitività e capacità di adattamento (Klein, 2004; Parry et al., 2007). Solo recentemente, da quando gli impatti dei cambiamenti climatici sono stati messi al centro delle varie agende politiche e di ricerca scientifica, è cominciato un processo d'integrazione tra questi due filoni di ricerca, che è ben visibile nella recente pubblicazione dell'IPCC sugli eventi climatici estremi (IPCC, 2012) dove la vulnerabilità è definita come "la tendenza o predisposizione a essere avversamente colpiti" da un pericolo legato al cambiamento. In tutti i casi, tuttavia, si può riconoscere una natura multi-dimensionale del concetto di vulnerabilità che fa riferimento a un'ampia gamma di aspetti fisici, ambientali e socio-economici. Pertanto, gli studi di vulnerabilità richiedono generalmente l'adozione di approcci multi-disciplinari basati sull'identificazione di diversi indicatori che rappresentano le differenti proprietà del sistema esaminato (Fussel, 2007).

A livello internazionale esistono differenti approcci per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere ai cambiamenti climatici. Tale eterogeneità riflette principalmente la grande variabilità fisica e socio-economica dei sistemi costieri analizzati, le differenze negli obiettivi di ciascuno studio e la difformità nella scala spaziale e temporale di analisi. La diversità riscontrata negli studi esaminati, inoltre, riguarda non solo la metodologia e terminologia adottata ma anche le tecniche, gli strumenti e gli scenari impiegati nell'analisi.

Alcuni criteri utili per la valutazione degli studi sulla vulnerabilità costiera ai cambiamenti climatici sono contenuti nel rapporto tecnico pubblicato nel 2011 dall'European Environmental Agency (EEA) (Ramieri et al., 2011). Tra i criteri principali figurano l'utilizzo di più scenari temporali sia di breve che di lungo termine, l'applicabilità a più tipologie di sistemi costieri come le spiagge, le zone umide e gli estuari; la possibilità di valutare separatamente il rischio ecologico, economico e sociale su diversi bersagli (ad es. popolazione, infrastrutture, attività economiche ed ecosistemi naturali) in relazione a molteplici impatti; la possibilità di valutare diversi scenari non solo dal punto di vista della magnitudo e frequenza dei fenomeni legati ai cambiamenti climatici, ma anche considerando le dinamiche economiche e la messa in atto o meno di misure di

adattamento. Inoltre, è importante trovare un compromesso tra la necessità di adottare un metodo completo e affidabile ma allo stesso tempo accessibile, che non richieda eccessive quantità di dati di input, tempo ed esperienza per poter essere utilizzato. Infine, è estremamente rilevante considerare dati sito-specifici nell'analisi (ad es. per valutare come i fenomeni locali di subsidenza possono incidere sull'innalzamento relativo del livello marino), in quanto, l'informazione utile per pianificare misure di adattamento ai possibili impatti dei cambiamenti climatici, può essere ottenuta solo se la valutazione della vulnerabilità del sistema avviene a scala regionale o locale (Fussel et al., 2002). Come rilevato da diversi autori (Klein and Nicholls, 1999; McFadden et al., 2007), infatti, la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere ai cambiamenti climatici a scala regionale può costituire un elemento importante all'interno di strategie per la GIZC e ha come scopo ultimo quello di fornire ai manager le informazioni e le conoscenze necessarie per identificare quali siano i settori di costa maggiormente vulnerabili e avviare o migliorare politiche sostenibili di gestione della costa (Nicholls et al., 2007).

A livello nazionale sono stati svolti diversi studi inerenti alla valutazione della vulnerabilità e dei rischi legati al cambiamento climatico nelle aree costiere. Di seguito si descrivono brevemente alcuni studi degni di nota, presentando le principali metodologie e tecniche impiegate, (ad es. indicatori/indici, strumenti GIS, DSS), gli impatti considerati, la scala di analisi, i dati d'input necessari e quelli di output prodotti.

L'impatto più studiato in relazione ai cambiamenti climatici è l'innalzamento del livello del mare che, a livello nazionale, è ampiamente descritto nello studio di Antonioli e Silenzi (2007), mirato a valutare le conseguenze negative delle variazioni relative del livello del mare sulle pianure costiere italiane. L'obiettivo degli autori è di ricostruire le diverse componenti che definiscono il livello del mare per arrivare alla comprensione dei futuri scenari climatici e morfologici che interesseranno le coste italiane in modo da poter prevenire impatti negativi. Sono considerate sia le cause climatiche, astronomiche e geologiche a scala globale, che gli effetti locali come la subsidenza, la tettonica e le condizioni meteorologiche. Sono altresì considerate le cause antropiche che incidono sul riscaldamento globale, legate al rilascio in atmosfera di gas serra. Grazie al confronto tra gli scenari d'innalzamento del livello del mare, il DEM e l'utilizzo di strumenti GIS, lo studio arriva alla produzione di una mappa nazionale delle aree a rischio d'inondazione. Nelle conclusioni del lavoro è tuttavia fatto riferimento alla necessità di adottare un approccio più dettagliato per i casi di studio specifici, con lo scopo di poter dare un miglior supporto informativo alle autorità che si occupano di gestione delle aree costiere.

Altri studi svolti nel territorio nazionale per l'analisi delle conseguenze associate all'innalzamento del livello marino a scala regionale/locale sono gli studi effettuati da Bondesan et al. (1995), Teatini e Gambolati (1999), Parlagraeco et al. (2007). Lo studio di Bondesan et al., (1995) riguarda l'analisi delle aree costiere a rischio da mareggiate e da inondazioni in relazione all'innalzamento del livello del mare nel Nord-Est italiano. In particolare, gli studiosi si pongono l'obiettivo di valutare il rischio d'inondazione per l'anno 2100 nell'area di studio selezionata che copre 300 km di costa, da Monfalcone a Cattolica, passando per tre regioni (Emilia-Romagna, Veneto e Friuli-Venezia Giulia). Non sono qui considerati esclusivamente gli effetti globali dei cambiamenti climatici, e

quindi le previsioni contenute nei rapporti IPCC riguardanti il livello del mare in futuro, ma è valutata anche la subsidenza locale di origine naturale o antropica. Per il Golfo di Venezia e Trieste sono valutate anche le mareggiate causate da eventi climatici di tempesta. I risultati sono ottenuti raccogliendo e aggregando i dati meteo e mareografici locali - attuali e di eventi passati - con gli scenari di innalzamento del livello del mare prodotti dall'IPCC nel 1992 (Wigley e Raper, 1992) al fine di produrre informazioni sugli eventi estremi di mareggiata nel futuro. Tali informazioni sono poi integrate con dati relativi alla litologia, geomorfologia e uso del suolo, al fine di fornire una stima del rischio inondazione alla quale sarà sottoposto il tratto di costa considerato nell'anno 2100. I risultati ottenuti hanno messo in luce come, in base agli scenari considerati, molte delle lagune esistenti potranno essere abbandonate nel corso del secolo.

Lo studio di Teatini e Gambolati (1999) è mirato all'analisi degli impatti dei cambiamenti climatici, degli eventi di tempesta e della subsidenza nelle coste dell'Adriatico. In quest'analisi si valuta l'evoluzione morfodinamica delle coste del Nord-Adriatico in relazione all'innalzamento del livello del mare, agli eventi di mareggiata e alle onde da loro causate, al trasporto dei sedimenti lungo il litorale e alla subsidenza costiera. Nello studio sono utilizzati modelli riguardanti la subsidenza, i livelli attesi di innalzamento marino nel futuro e la tipologia delle onde legate alle forti tempeste. Il Sistema di Supporto per l'Analisi di Risorse Geografiche (GRASS) è un GIS di pubblico dominio utilizzato per combinare le analisi numeriche con il DEM. In questo modo, partendo dai profili batimetrici, dalla cartografia topografica e considerando gli indici socio economici, quali le informazioni demografiche e di utilizzo del suolo, si arriva alla produzione di mappe di rischio sia per lo scenario attuale, sia per quello dell'anno 2100, in accordo con le previsioni espresse nei rapporti IPCC del 1992 (Wigley e Raper, 1992).

Parlagreco et al. (2007) si pongono come obiettivo quello di conoscere la vulnerabilità allo stato attuale e futuro delle coste abruzzesi in relazione ai cambiamenti climatici per permettere di calibrare strategie di adattamento e di mitigazione del rischio in un'ottica di prevenzione e non di emergenza. Questo permetterebbe minori costi e perdite di beni oltre che una maggiore efficacia delle misure attuate. Nello studio si considerano come effetti fisici/ambientali dell'innalzamento relativo del livello del mare l'inondazione e l'erosione costiera, la variazione del rapporto frequenza/intensità degli eventi estremi, l'innalzamento della falda, l'intrusione del cuneo salino e la variazione delle caratteristiche biologiche degli ecosistemi marini costieri. Come prima cosa è stata calcolata la carta degli scenari per l'anno 2100 inserendo nel DEM l'aliquota d'innalzamento relativo del livello del mare previsto che è pari a 78 cm dopo aver considerato anche la subsidenza. In questo modo sono stati individuati tutti i settori costieri che potenzialmente si troveranno a un livello superiore o inferiore a tale aliquota nell'anno 2100. Il rischio di esondazione fluviale e la sua zonazione nel sito pilota sono stati ottenuti utilizzando le carte del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA; scala 1:10.000). La metodologia per la determinazione della suscettibilità da innalzamento del livello del mare si basa sull'utilizzo di sistemi GIS e sull'assegnazione di pesi e punteggi ai diversi parametri predisponenti l'ingressione marina e la zonazione dell'area di studio. Dalla sovrapposizione in ambiente GIS dei vari settori territoriali omogenei con la carta degli scenari futuri sono prodotte le Carte di Suscettibilità verso l'ingressione marina e le Carte di Suscettibilità

Integrata rispetto anche ai fenomeni di esondazione fluviale per il sito "Foce del Sangro" allo scenario di predizione 2100. I risultati finali hanno mostrato come nel prossimo futuro vi sarà una continua diminuzione delle capacità di fronteggiare gli eventi erosivi da parte del sistema litoraneo abruzzese.

Per quanto riguarda l'analisi dei possibili impatti associati agli eventi di mareggiata, a livello nazionale è possibile citare lo studio di Jemenez (2009) che considera la vulnerabilità geomorfologica della costa alle tempeste per tre casi di studio, tra cui quello italiano della spiaggia di Lido di Dante in Emilia-Romagna. In questo studio sono analizzati separatamente i due possibili effetti di inondazione ed erosione della costa indotti dalle mareggiate e per ognuno sono dapprima calcolate le componenti legate alla magnitudo della tempesta e poi le componenti legate alle caratteristiche dei recettori per poi essere integrate in un unico indice di vulnerabilità. L'output sarà dato da due indici di vulnerabilità alle mareggiate, uno relativo all'erosione e l'altro all'inondazione. Oltre ai fattori caratterizzanti la spiaggia come la granulometria o la pendenza e ai dati meteo locali, sono utilizzati modelli di probabilità di onde estreme mentre non vi è l'utilizzo di strumenti GIS con la conseguente assenza di una traduzione in mappe dei risultati ottenuti.

Infine, Valpreda e Simeoni (2003) valutano la suscettibilità delle coste italiane all'erosione costiera senza considerare l'effetto indotto dai cambiamenti climatici globalmente in atto. L'area di studio considerata è la costa tra Bradano e Basento, in Basilicata. Per arrivare alla previsione della regressione costiera che caratterizzerà i prossimi 30 anni sono separatamente valutati il trend dei movimenti della linea di costa degli ultimi 30 anni e le caratteristiche della spiaggia che possono influenzare il processo quali la granulometria, l'ampiezza, l'elevazione dal mare e la pendenza. Il risultato finale è una stima quantitativa della suscettibilità costiera con una suddivisione in quattro classi. I possibili effetti dell'erosione costiera nel prossimo futuro, secondo questo studio, sono la regressione della linea di costa con la conseguente perdita di habitat naturali, la scomparsa delle dune e il declino delle pinete a causa della salinizzazione delle acque dolci. Tali effetti potrebbero tuttavia essere peggiori includendo nell'analisi i possibili scenari legati ai cambiamenti climatici.

In aggiunta agli studi finora descritti, l'analisi svolta da Torresan et al. (2012) ha l'obiettivo specifico di valutare la vulnerabilità delle aree costiere ai cambiamenti climatici a scala regionale. Tale studio adotta un approccio di Analisi Multi-Criteriale (AMC) su base spaziale, che considera molteplici impatti legati ai cambiamenti climatici (inondazione dovuta all'innalzamento del livello del mare e alle mareggiate ed erosione costiera) su diversi recettori sia naturali che antropici (ad es. spiagge, zone umide, aree protette, urbane e agricole). In particolare, lo studio considera in maniera integrata più indicatori di natura socio-economica ed ecologica (ad es. topografia, morfologia della costa, copertura vegetale, presenza di protezioni naturali/artificiali) allo scopo di produrre un indice di vulnerabilità costiera normalizzato in cinque classi qualitative che è calcolato su base spaziale attraverso strumenti GIS ed è stato utilizzato per classificare le aree e i bersagli maggiormente vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici nelle coste del Nord Adriatico.

Considerando che lo studio degli impatti dei cambiamenti climatici richiede un'analisi delle caratteristiche fisiche, ambientali e socio-economiche sito-specifiche del sistema esaminato a scala regionale/locale (Torresan, 2008), un approccio fondamentale su cui basare la valutazione degli impatti e rischi ambientali legati ai cambiamenti climatici nelle aree costiere è l'Analisi di Rischio Regionale (ARR). Recenti tendenze internazionali (Landis e Wieggers, 1997; Landis, 2004), riconoscono nell'ARR la metodologia più appropriata per valutare le diverse componenti che contribuiscono alla determinazione del rischio in differenti località di una stessa regione, classificare l'importanza di queste zone e combinare queste informazioni al fine di predire il rischio relativo tra le diverse sub-aree della regione e fra i diversi fattori di rischio indagati.

A livello regionale gli impatti possono essere dovuti a molteplici combinazioni di stressori e habitat e, al fine di descrivere il rischio relativo a ciascun impatto, ciascun percorso di esposizione deve essere investigato.

Come descritto in Torresan et al. (2007, 2009 e 2010) è stata sviluppata una metodologia di ARR per la stima degli impatti dei cambiamenti climatici nelle aree costiere a scala regionale. Tale metodologia ha come obiettivo principale la prioritizzazione delle aree e dei bersagli a rischio rispetto a diversi scenari di cambiamento climatico al fine di facilitare la definizione di opportune misure di adattamento. La metodologia di ARR è parte di un framework più ampio per la valutazione degli impatti e dei rischi legati ai cambiamenti climatici nelle zone costiere a scala regionale (Torresan et al., 2007). La struttura del framework è composta da tre fasi principali: i) la costruzione degli scenari che ha l'obiettivo di definire gli scenari climatici futuri per l'area di studio esaminata su scala regionale; ii) la valutazione integrata degli impatti e dei rischi che ha l'obiettivo di prioritizzare gli impatti; iii) la gestione del rischio e degli impatti, che è orientata al supporto delle strategie di adattamento per la riduzione dei rischi e degli impatti nelle zone costiere, in conformità con i principi della GIZC.

Il framework e la metodologia di ARR sono implementati all'interno del sistema di supporto alle decisioni DESYCO (DEcision support SYstem for COastal climate change impact assessment), il cui obiettivo principale è migliorare la conoscenza degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ambienti costieri alla scala regionale per fornire ai pianificatori e ai decisori informazioni appropriate per la definizione di strategie di adattamento. Le componenti principali di DESYCO sono un geodatabase contenente dati biofisici e socioeconomici dell'area di studio, scenari multi-scala derivati dalle simulazioni prodotte da modelli numerici esterni al DSS, il Modello di Rischio Relativo che integra tecniche di AMC per l'applicazione della metodologia di ARR.

I principali output ottenibili da DESYCO comprendono: i) mappe di Esposizione, che rappresentano le aree potenzialmente esposte a un dato pericolo associato ai cambiamenti climatici (ad es. aree inondate dall'innalzamento del livello del mare); ii) mappe di Suscettibilità che rappresentano su base spaziale il grado con cui i recettori sono sensibili ai diversi pericoli in relazione a molteplici fattori fisici/ambientali; iii) mappe di Rischio che permettono l'identificazione e la prioritizzazione delle aree e dei bersagli a rischio nell'area considerata; iv)

mappe di Danno che forniscono una stima relativa delle potenziali perdite a livello sociale, economico e ambientale.

L'adozione di una metodologia di ARR all'interno di una strategia di gestione integrata della fascia costiera consente di valutare il rischio associato a diversi impatti legati ai cambiamenti climatici su una stessa unità di esposizione e di classificare la severità del rischio su base spaziale al fine di definire le priorità d'intervento e valutare le misure di adattamento più appropriate. Per questo motivo, il DSS DESYCO è stato applicato nell'ambito di diversi progetti nazionali e internazionali (ad es. CMCC-FISR, CANTICO, CLIM-RUN, PEGASO) al fine di valutare la vulnerabilità costiera ai cambiamenti climatici. Inoltre, è stato recentemente riconosciuto dall'European Environmental Agency come uno dei tre strumenti più promettenti per eseguire l'analisi di vulnerabilità costiera ai cambiamenti climatici a scala Europea (Ramieri et al., 2011) e offre la possibilità di essere applicato in diversi casi di studio, rappresentando così uno strumento molto utile a livello nazionale per la definizione di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.

## Impatto delle variazioni climatiche sulle aree urbane costiere

### Cambiamenti climatici e aree urbane

La vulnerabilità specifica delle aree costiere urbanizzate ai cambiamenti climatici si può definire da tre grandezze: la loro esposizione (il grado in cui saranno esposti agli impatti), la loro sensitività (il grado in cui funzioni urbane sono situate in aree a potenziali interessate da impatti) e la loro capacità di adattamento (il grado in cui saranno capacità di reagire e adattarsi alle nuove condizioni dettate dai cambiamenti climatici) (Figura 12.15).

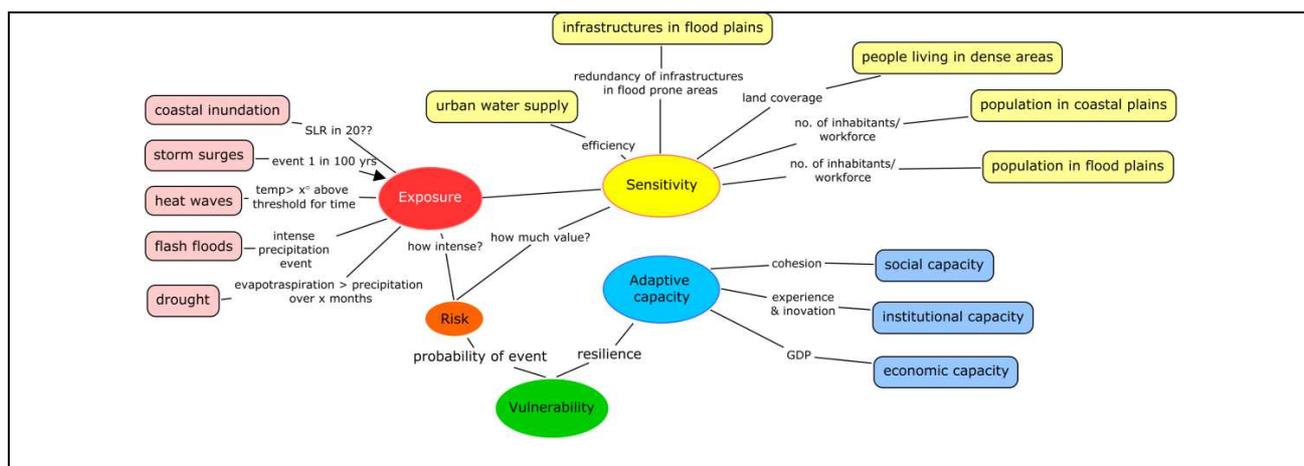


Figura 12.15: Cambiamenti Climatici, impatti, sui sistemi urbani (Fonte: Breil e Johnson, 2012).

Per le città e gli insediamenti costieri, l'innalzamento del mare e un probabile intensificarsi di eventi estremi provoca potenziali impatti, di cui quello dell'allagamento temporaneo (in seguito ad

un evento estremo, in concomitanza a un evento di esondazione fluviale nell'area della foce) o permanente di aree urbane vicine alla costa, e il deteriorarsi di risorse idriche disponibili per intrusione salina.

La sensitività delle aree urbane a questi tipi di impatti è definita soprattutto dalle presenze umane che definiscono le aree urbane, e dalla concentrazione di strutture e infrastrutture di valore economico diretto e di importanza strumentale per l'economia locale, regionale o nazionale. Considerando che la maggior parte delle metropoli mondiali è situata in aree costiere, e il loro alto grado di sensitività ed esposizione, l'allagamento costiero e la vulnerabilità delle aree urbane a questo impatto hanno rappresentato, sin dall'inizio delle discussioni sugli impatti dei cambiamenti climatici, l'impatto più importante in termini economico e sociale. A livello globale si stima che il 13% della popolazione mondiale vive in aree con un'elevazione di meno di 10 metri sopra il livello del mare (McGranahan et al., 2007). Le stime di queste grandezze possono variare in funzione del modello digitale di elevazione (DEM) impiegato (Lichter et al., 2011), che hanno accuratèzze verticali diverse. Il tasso di urbanizzazione in Italia supera di gran lunga quello della media mondiale ed anche quella europea: si stima che più del 75% della popolazione italiana viva in zone (ISTAT, 2009) con importanti concentrazioni di aree urbanizzate lungo le aree costiere. ISPRA (2009) stima, infatti, su base di dati ISTAT; che circa un terzo del 30% della popolazione italiana vive in prossimità delle coste, concentrati su un territorio di 43.000 km<sup>2</sup>, che corrisponde a circa il 13% del territorio nazionale<sup>237</sup>.

In alcune regioni costiere italiane più del 45% dalla linea di costa compresa entro 1 km dal mare risulta urbanizzata (EEA, 2006). Come in quasi tutti i paesi mediterranei, la densità abitativa nelle zone costiere è maggiore che nel resto del paese, contribuendo a forti tendenze di irrigidimento delle linee costiere tramite strutture protettive che tutelano le aree urbanizzate dai processi erosivi in atto.

Oltre la presenza umana che definisce la particolare sensitività delle aree urbane, la loro dotazione di infrastrutture rappresenta un ulteriore elemento di sensitività. Le infrastrutture del sottosuolo insieme, alle linee di comunicazione in zone di pianura costiera possono rappresentare elementi di particolare criticità per eventi estremi ed inondazioni da mareggiate. Esse dovranno essere valutate sia per la loro esposizione diretta (esposizione degli utenti) che indiretta (impatti da eventuali interruzioni temporanei o permanenti per la vita sociale ed economica) ad allagamenti.

---

<sup>237</sup> Nell'ambito dell'annuario ambientale, ISPRA definisce l'indicatore "URBANIZZAZIONE COSTIERA NEI 300 M DALLA RIVA" come popolazione residente in comuni che "l'insieme dei comuni che affacciano direttamente sul mare e sulle lagune e di quelli che hanno almeno parte del territorio compreso nella fascia dei 300 metri dalla riva." L'indicatore è stato aggiornato solo al 2009 (ISPRA, 2009).

### **L'adattamento ai cambiamenti climatici a New York (USA)**

La pianificazione per l'adattamento ai cambiamenti climatici a **New York** ha preso inizio nell'ambito della redazione del piano di sostenibilità della città (PlaNYC), che ha identificato l'adattamento ai cambiamenti climatici uno dei dieci obiettivi di sostenibilità. La pianificazione viene portata avanti da una taskforce interdisciplinare che mira soprattutto alla protezione delle infrastrutture urbane, e riceve supporto da un panel di esperti di cambiamento climatico (New York City Panel on Climate Change - NPCC) per assicurare che le decisioni prese siano basate su solide fondamenta scientifiche e su una comprensione piena di impatti e adattamento. Il panel ha analizzato eventi estremi attesi e il loro impatto sulle infrastrutture al fine di sviluppare un quadro di gestione del rischio per la pianificazione dell'adattamento. Il panel ha fornito proiezioni climatiche e sviluppato strumenti di pianificazione per guidare stakeholders nel processo di definizione delle strategie di adattamento e ha esaminato l'impatto del quadro istituzionale e legislativo sulle decisioni legate ad infrastrutture. Il risultato di queste attività è stato riassunto in un documento strategico inteso come strumento di guida per le valutazioni di vulnerabilità specifiche di infrastrutture critiche, la creazione di piani di adattamento e la definizione di un quadro legislativo per l'adattamento (Rosenzweig et al., 2010).

Gli elementi che caratterizzano la sensibilità specifica di aree urbane costiere a impatti dei cambiamenti climatici, riguardano la mancanza di "fasce protettive" come possono essere rappresentate da spiagge, fasce di dune o zone umide costiere, in grado di attenuare l'impatto di mareggiate, in quanto molte aree urbane costiere hanno un fronte acqua direttamente esposto verso il mare; che spesso è connesso a un alto valore culturale, turistico e sociale; oppure viene utilizzato per usi produttivi o di trasporto (ad es. aree portuali). Le aree urbane costiere comprendono anche molte aree di centri storici urbani (come i centri storici di Genova e Venezia, riconosciuti come World Heritage Sites), e rappresenteranno un elemento di esposizione a impatti da innalzamento del mare molto particolare e importante. L'intrusione salina negli acquiferi costieri è già una realtà in molte aree costiere italiane (EEA, 2006) ed è destinata ad aggravarsi con l'innalzamento del livello del mare e la riduzione della precipitazione, ponendo potenzialmente nuovi problemi per l'approvvigionamento idrico.

Per valutare l'**esposizione** delle singole aree urbane costiere ai cambiamenti climatici sono da tenere conto, oltre del rischio da isole urbane di calore, i rischi di inondazione sia da acqua continentale o di fiume, specialmente in aree di delta come lungo la costa emiliano-romagnola, di flash floods (inondazioni improvvise dovute a eventi meteorologici, rotture di dispositivi di protezione) sia da inondazione dal mare (EEA, 2012). In relazione a questi rischi di inondazione, la misura relativa dell'innalzamento del mare (relative sea level rise) (Nicholls et al., 2008) per le maggiori aree costiere italiane sarà una grandezza da tenere conto. Questi fenomeni saranno di particolare importanza per le zone urbane delle coste del nordovest dell'Adriatico e per il nord-est della Sicilia, dove gli effetti combinati tra abbassamento, dovuti a processi di subsidenza antropogenica e naturali, sia in senso di innalzamento, dovuto a processi tectonici porteranno ad un maggiore innalzamento relativo del livello del mare. Per una valutazione delle sensibilità specifiche di singole aree urbane, questi valori sono da tenere in considerazione insieme a quelli

risultanti dagli scenari climatici in termini di innalzamento del livello medio del mare e di frequenza e intensità di eventi estremi costieri.

Oltre le condizioni di vulnerabilità fisiche comuni a tutte le zone costiere (elevazione della costa, tendenza all'erosione, condizioni geologiche, tendenze alla subsidenza, condizioni oceanografiche, disponibilità di zone di "setback" per dare spazio all'espansione del mare), la vulnerabilità delle aree urbane situate in ambito costiero è definita da ulteriori livelli di vulnerabilità di tipo fisico, economico e sociale. In relazione alla particolare vulnerabilità sociale, sono da considerare le popolazioni con meno risorse economiche e sociali come maggiormente vulnerabili (UN-Habitat, 2011). Nei piani di adattamento urbano realizzati in Europa sono considerati come fasce sociali particolarmente vulnerabili inoltre persone con handicap, con scarsa conoscenza della lingua, persone che vivono da sole o che non dispongono di una efficiente rete sociale, e, spesso legato a redditi bassi, con una inadeguata copertura assicurativa. Il piano per l'area Londinese constata che la concentrazione di persone da considerarsi particolarmente vulnerabili in questo senso, vivono addirittura più frequentemente nelle aree più a rischio di inondazione dal mare (GLA, 2011). Schauser et al. (2010) aggiungono a questi fattori socioeconomici i fattori di tipo istituzionale, come la mancanza norme urbanistiche che contribuisce al crescere della vulnerabilità di singole aree urbane. Questo argomento riguarda le aree urbanizzate effettivamente prive di strumenti di pianificazione, ma anche quelle dotate di strumenti, ma non in grado di proteggere aree di espansione urbana esposte a livelli crescenti del mare, mareggiate o inondazioni, o dove manca la capacità di dotare aree urbane già esistenti di adeguati misure di protezione. Un problema particolare legato alla vulnerabilità istituzionale riguarda la divergenza di orizzonti temporali in gioco; che è diverso per la pianificazione urbana, di norma concepita per tempi medi (10 anni), per la realizzazione di grandi infrastrutture (30 anni o più) e quelli dell'innalzamento del livello del mare, che è un impatto che si svilupperà in un tempo particolarmente lungo e destinato a persistere anche se concentrazioni di gas serra nell'atmosfera dovessero stabilizzarsi o diminuire.

In molti casi, infrastrutture per la protezione costiera avranno un impatto dirompente incrementando la già concorrenza per spazio e risorse nel sistema insediativo esistente, e la capacità (politica e finanziaria) di amministratori locali di gestire processi di crescita e trasformazione urbana in vista di futuri rischi sarà determinante per la vulnerabilità futura delle aree urbane costiere (Schauser et al., 2010). L'attuale dibattito sul futuro della legge speciale per Venezia potrebbe essere un anticipo di conflitti a venire sulla destinazione di risorse tra infrastrutture per la protezione e investimenti nella manutenzione urbana.

Un tentativo di quantificare il rischio costiero a livello municipale riguardo all'erosione, è stato presentato da uno studio di ISPRA nel 2007 (Dacquino et al., 2007), ma anche questo approccio, che copre tutte i tratti costieri Italiani, è basato su forti approssimazioni e non permette una quantificazione, per esempio, della sensitività delle aree urbane interessate e dei valori economici e sociali interessati.

### *Valori economici a rischio*

Le stime europee e nazionali basate su approcci modellistici volte a definire potenziali danni nelle aree costiere (Bosello, 2012) sono limitati alla considerazione di perdita di terreno per erosione e inondazione permanente, intrusione salina e migrazione, ma non tengono conto di valori specifici legati alla presenza di aree urbanizzate nelle zone esposte. Stime di queste grandezze per l'insieme delle zone costiere italiane, oppure per le sole aree urbane italiane, non esistono se non a piccole realtà locali, per esempio per Cesenatico (De Vries et al., 2011).

La capacità di adattare i sistemi urbani è l'ulteriore fattore definivo che definisce vulnerabilità. Nell'ambito europeo ed extraeuropeo si stanno attualmente sviluppando processi di progettazione di adattamento. La conoscenza specifica a livello locale dei rischi specifici e la capacità di pianificazione è in parte già presente nei comuni italiani e dovrebbe venire integrata da conoscenze scientifiche su impatti attesi, come nel caso di New York, che si è dotato di un panel di esperti climatici a supporto delle attività di pianificazione. Anche la città di Londra si è avvalsa di proiezioni climatiche regionalizzate fornite dall'agenzia nazionale DEFRA (GLA, 2010). Questo aspetto di supporto da parte delle scienze climatiche non va però sopravvalutato, in quanto non è in grado di ridurre del tutto le incertezze implicite alle future trasformazioni, che vanno invece affrontate con strategie che si basano su principi di precauzione e di strategie flessibili di gestione integrata del rischio.

Le politiche urbane richieste per ridurre la vulnerabilità e aumentare la capacità di rispondere agli impatti dai cambiamenti climatici sono in molti casi in grado di produrre effetti sinergici (Ligeti et al., 2007). Essi comprendono, in relazione all'inondazione costiera, l'adattamento della rete di infrastrutture, aumentando la loro capacità di resistere ad eventi estremi e aumentare la ridondanza per ridurre i danni da eventuali interruzioni (Rosenzweig et al., 2010); nonché la rivisitazione delle politiche di approvvigionamento idrico in relazione ai rischi di sovra-utilizzo delle falde acquifere costiere. In relazione alle aree a rischio di inondazione, diversi piani (Londra, Tunisi, New York) constatano che non sarà possibile rinunciare all'urbanizzazione di tutte le aree di potenziale esondazione; per quelle a rischio e per le aree già urbanizzate questi piani suggeriscono di provvedere nuove tipologie edilizie in grado di resistere alle inondazioni e strategie per aumentare la sicurezza di edifici esistenti (GLA, 2010; Egis BCEOM International / IAU-IDF / BRGM, 2011; Rosenzweig et al., 2010). A livello istituzionale, sistemi di allerta e obblighi assicurativi saranno potenzialmente parte delle misure di adattamento in quanto capaci di aumentare la capacità delle aree urbane di prepararsi e di tornare a livelli normali di attività dopo eventi estremi.

## **Il quadro politico e normativo sulla gestione delle zone costiere e l'impatto dei cambiamenti climatici**

*L'attuale quadro normativo nazionale in materia di protezione della biodiversità e delle risorse marine*

Il complesso processo di tutela dell'ambiente marino (inteso quale area comprensiva di tratti di costa e della zona acquee antistante), è strettamente legato alla problematica connessa alla cosiddetta gestione integrata delle zone costiere, da tempo avviata in sede internazionale e comunitaria e, solo recentemente, anche in ambito nazionale.

In particolare, secondo quanto previsto dalla Raccomandazione relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa (2002/413/CE)<sup>238</sup> del 30 maggio 2002, dalla Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino 2008/56/CE<sup>239</sup>, dal Protocollo sulla gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo della Convenzione di Barcellona<sup>240</sup>, nonché, da ultimo, dalla Carta di Siracusa sulla Biodiversità<sup>241</sup>, firmata il 24 Aprile 2009 nell'ambito del G8 Ambiente, l'Italia è chiamata a predisporre una **Strategia Nazionale per la gestione integrata delle zone costiere** (Strategia GIZC). La predisposizione di una Strategia GIZC costituisce, infatti, attualmente un efficace strumento di governance delle zone marino-costiere. Le principali azioni implementate negli ultimi anni dall'Italia attengono prioritariamente alla ricerca e alla protezione della biodiversità e delle risorse marine.

L'Italia è parte contraente della Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare (UNCLOS) del 1982, ratificata con la Legge n. 689/1994; essa ha ratificato inoltre la Convenzione per la Protezione dell'Ambiente Marino e delle Regioni Costiere del Mediterraneo (Convenzione di Barcellona) del 1976, nonché il relativo Protocollo sulle Aree Particolarmente Protette e sulla Diversità Biologica nel Mediterraneo (Protocollo SPA & Biodiversità) e il relativo Protocollo per la Protezione del Mar Mediterraneo contro l'inquinamento derivante da fonti e attività terrestri (Protocollo LBS) (Tellarini, 2008).

L'istituzione delle aree marine protette avvenuta con l'entrata in vigore della Legge n. 979 del 31 dicembre 1982 "Disposizioni per la difesa del mare"<sup>242</sup>, e della Legge n. 394 del 6 dicembre 1991 "Legge quadro sulle aree protette"<sup>243</sup> ha segnato una tappa fondamentale nel progresso normativo per la difesa dell'ambiente marino in Italia.

---

<sup>238</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:148:0024:0027:IT:PDF>.

<sup>239</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:164:0019:0040:IT:PDF>.

<sup>240</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:034:0019:0028:IT:PDF>.

<sup>241</sup> [http://www.g8italia2009.it/static/G8\\_Allegato/Carta\\_Siracusa,2.pdf](http://www.g8italia2009.it/static/G8_Allegato/Carta_Siracusa,2.pdf).

<sup>242</sup> Le aree naturali marine protette, comunemente definite aree marine protette, ai sensi dell'art. 25 della Legge n. 979/1982 consistono in riserve naturali marine costituite da ambienti marini, dati dalle acque, dai fondali e dai tratti di costa prospicienti che presentano un rilevante interesse per le caratteristiche naturali, geomorfologiche, fisiche, biochimiche con particolare riguardo alla flora e alla fauna marine e costiere e per l'importanza scientifica ecologica, cultura educativa ed economica che rivestono. Esse si suddividono in tre macrozone di diverso grado di tutela: 1) Zona A, di tutela e riserva integrale, in cui è interdetta qualsivoglia attività, ad esclusione solo delle attività di studio, ricerca e valorizzazione dell'area; 2) Zona B, di riserva generale, dove sono consentite solo le attività compatibili con l'ambiente marino e che vi incidono con un limitatissimo impatto ambientale, a titolo di esempio, sono permesse le attività subacquee compatibili con l'ambiente marino, la balneazione, l'accesso e la navigazione delle sole imbarcazioni autorizzate; 3) Zona C, di riserva parziale, dove sono consentite oltre le attività di cui alla Zona B, anche le attività di pesca sportiva seppur con una serie di prescrizioni mentre è assolutamente vietata la pesca subacquea. L'elenco delle aree marine protette è aggiornato periodicamente dalla Direzione per la Protezione della Natura del MATTM.

<sup>243</sup> Diversamente, la normativa contenuta nella Legge n. 394/1991 ha comportato la riorganizzazione dei soggetti istituzionalmente incaricati a vigilare sulle aree marine protette, trasferendo sostanzialmente le funzioni di controllo dal Ministero della Marina Mercantile (soppresso) e dalla Consulta per la difesa del mare al MATTM. La Legge n. 394/1991 ha inoltre avuto il pregio di ampliare le funzioni dell'Ispettorato centrale per la difesa del mare riconoscendo il diritto di potersi avvalere delle Capitanerie di

Ulteriore strumento giuridico di protezione dell'ambiente marino e, di conseguenza, delle zone costiere è quello dell'istituzione delle cosiddette zone di protezione ecologica oltre il limite esterno del mare territoriale, approvata con la Legge 8 febbraio 2006, n. 61<sup>244</sup>(Tellarini, 2010); recentemente il Decreto del Presidente della Repubblica n. 209 del 27 ottobre 2011, entrato in vigore il 1° gennaio 2012, ha provveduto a istituire la zona di protezione ecologica del Mediterraneo nord-occidentale, del Mar Ligure e del Mar Tirreno.

### ***La politica comunitaria in materia di gestione integrata delle zone costiere e di adattamento ai cambiamenti climatici***

L'analisi del quadro normativo comunitario in materia di gestione integrata delle zone costiere e di adattamento ai cambiamenti climatici risulta complesso e articolato.

In base a quanto disposto dall'Allegato I della Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo del 27 settembre 2000, con il termine gestione integrata delle zone costiere (GIZC) s'intende il "processo dinamico, interdisciplinare e interattivo inteso a promuovere l'assetto sostenibile delle zone costiere".<sup>245</sup>

Le modalità di attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa sono disciplinate dalla successiva Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2002; in particolare, tale Raccomandazione riconosce esplicitamente la necessità di tutelare il patrimonio ambientale, economico, sociale, culturale e anche ricreativo delle zone costiere, nonché di preservare la biodiversità di queste ultime dal pericolo rappresentato dai cambiamenti climatici, nonché dallo sfruttamento non regolamentato delle risorse delle zone costiere. È stata quindi individuata la necessità, per la prima volta, di ricorrere a un approccio strategico negli Stati membri per lo sviluppo sostenibile delle zone costiere tramite la protezione dell'ambiente e l'ecosistema costiero, il riconoscimento del pericolo effettivo che i cambiamenti climatici possono comportare sull'innalzamento del livello del mare e sull'erosione del litorale costiero, l'adozione di

---

porto. Inoltre, ai sensi dell'art. 19 della predetta normativa è stata attribuita la facoltà al Ministero dell'Ambiente, di poter affidare la gestione delle aree marine protette ad enti pubblici, istituzioni scientifiche ed alle associazioni riconosciute.

<sup>244</sup> Tali zone di protezione ecologica si caratterizzano per essere individuate con decreto del Presidente della Repubblica, previa deliberazione del Consiglio dei Ministri, su proposta del MATTM di concerto con il MAE, sentito il MiBACT. L'istituzione delle zone di protezione ecologica è finalizzata a prevenire e reprimere l'inquinamento marino delle navi, comprese le piattaforme off-shore, piuttosto che impedire il danno ambientale derivante dallo sfruttamento dei fondali marini, ed, altresì, a proteggere la biodiversità, l'ecosistema marino ed il patrimonio culturale rinvenuto nei suoi fondali. Il controllo delle zone di protezione ecologica è affidato alle Autorità italiane. Quest'ultime sono competenti ad eseguire i controlli, ed applicare le sanzioni previste per la violazione della normativa del diritto nazionale, del diritto comunitario e del diritto delle Convenzioni internazionali in vigore di cui l'Italia è parte contraente. La particolarità della predetta normativa è che essa è applicabile alle navi, nazionali, comunitarie ed extracomunitarie, che attraversino le zone di protezione ecologica.

<sup>245</sup> La gestione integrata delle zone costiere comprende una variegata serie di operazioni riassumibili nella "raccolta di informazioni, pianificazione, assunzione di decisioni, gestione e monitoraggio dell'attuazione", avvalendosi della compartecipazione di tutte le parti interessate al fine di determinare gli strumenti idonei al perseguimento degli obiettivi di "carattere ambientale, economico, culturale e ricreativo nei limiti imposti dalle dinamiche naturali" delle zone costiere. Diversamente, con il termine integrato s'intende l'unione non solo dei predetti obiettivi, ma degli strumenti e delle modalità operative necessari per il loro perseguimento. Appare, quindi, evidente che la gestione integrata comunitaria delle zone costiere non può prescindere da una corretta sinergia tra le Autorità nazionali e quelle comunitarie.

misure di protezione del litorale e la predisposizione di un sistema sociale per la cultura, la conservazione e la promozione delle zone costiere.

La Raccomandazione GIZC invita gli Stati membri costieri a formulare strategie nazionali per attuare la gestione integrata, anche attraverso il coordinamento e la cooperazione tra Paesi vicini e nell'ambito di mari regionali. Essa impone una profonda considerazione della valutazione globale all'interno dei singoli Stati membri degli strumenti normativi e delle Autorità amministrative finalizzati alla gestione delle zone costiere, alla luce del fatto che ciascuno Stato membro è dotato di peculiarità specifiche che devono essere necessariamente mappate e comprese per essere utilizzate quale strumento di perseguimento dell'obiettivo comunitario per la gestione condivisa delle zone costiere. Conseguentemente, solo tramite l'individuazione degli strumenti operativi nei singoli Stati membri è possibile procedere a una strategia nazionale in stretta sinergia con la politica comunitaria.

Nell'ambito della Raccomandazione GIZC gli Stati membri erano stati invitati a riferire alla Commissione in merito ai risultati ottenuti nell'attuazione della raccomandazione, con particolare riferimento alla formulazione di una strategia nazionale finalizzata a promuovere la gestione integrata delle zone costiere entro la fine di febbraio 2006; alcuni Stati membri, tra cui l'Italia, non hanno fatto pervenire entro tale data alcun contributo (si veda, al riguardo, la Comunicazione della Commissione del 7 giugno 2007 - Relazione al Parlamento europeo e al Consiglio: Valutazione della gestione integrata delle zone costiere – GIZC – in Europa).

Nell'ambito del quadro normativo comunitario il pilastro ambientale della politica marittima integrata è costituito dalla Direttiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla strategia per l'ambiente marino.

Tale fonte normativa comunitaria ha avuto il pregio di istituire un quadro sulla strategia da adottare nei singoli Stati membri per conseguire o mantenere un buono stato ecologico dell'ambiente marino entro il 2020. Più precisamente, tale Direttiva ha assunto l'obiettivo di proteggere e preservare l'ambiente marino, prevenirne il degrado ovvero di ripristinare gli ecosistemi marini nelle zone danneggiate, nonché di prevenire e ridurre l'inquinamento, garantendo la preservazione della biodiversità marina, il suo ecosistema, la salute umana e l'utilizzo consapevole delle risorse del mare. In particolare, sulla base di quanto disposto dalla sopraccitata Direttiva gli Stati membri sono tenuti a perseguire la tutela dell'ecosistema marittimo tramite un approccio ecosistemico e di cooperazione ogniqualvolta vi sia la condivisione anche solo parziale di una regione o sotto regione marina. Le attività marittime non sono poi espressamente determinate nella Direttiva, ma il loro utilizzo deve essere monitorato e influenzato al fine di conseguire un buono stato ecologico.

Infine, ulteriore importante tassello nel mosaico della normativa comunitaria per la gestione integrata delle zone costiere e di adattamento ai cambiamenti climatici è da individuarsi nella Comunicazione della Commissione del 25 novembre 2008 (Tabella di marcia per la pianificazione dello spazio marittimo: definizione di principi comuni nell'UE), la quale predispose una tabella di marcia per la Pianificazione dello Spazio Marittimo (PSM), come strumento fondamentale per la

politica marittima integrata, in quanto la PSM svolge un ruolo importante nel mitigare fenomeni, quali cambiamenti climatici, aumento della temperatura dell'acqua, frequenza di fenomeni meteorologici estremi, promuovendo un uso efficiente dello spazio marittimo e dell'energia rinnovabile e un adattamento efficace in termini di costo all'impatto del cambiamento climatico nelle zone marittime e nelle acque costiere.

Più precisamente, la suindicata Comunicazione ha il pregio di disporre dei principi comuni per la pianificazione dello spazio marittimo nell'UE, nonché di richiedere una gestione degli spazi marittimi basata sul tipo di attività previste o esistenti e sul loro impatto ambientale. La PSM interessa attività che si svolgono sul fondale marittimo, nella colonna d'acqua, sulla superficie, tenendo conto che la compatibilità degli usi e le esigenze di gestione di una determinata regione marittima potrebbero variare nel corso del tempo. Il processo di pianificazione deve essere sufficientemente flessibile in modo da reagire ai cambiamenti continui e consentire la revisione dei piani, nonché deve perseguire una coerenza fra la pianificazione del territorio (comprese le zone costiere) e i sistemi di pianificazione dello spazio marittimo.

Il Libro Bianco del 1° aprile 2009 (L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo) raccomanda un'azione dell'UE e degli Stati membri per individuare le soluzioni tese a migliorare le politiche esistenti e sviluppare misure per combattere la perdita di biodiversità e i cambiamenti climatici in maniera integrata e per formulare linee guida su come affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla gestione dei siti Natura 2000; raccomanda, altresì, un'azione volta a garantire che le problematiche dell'adattamento nelle zone costiere e marine siano prese in considerazione nell'ambito della politica marittima integrata, nell'attuazione della direttiva quadro sulla strategia marina e nella riforma della politica comune della pesca, nonché a formulare linee guida europee sull'adattamento nelle zone costiere e marine.

### *Verso la predisposizione di una Strategia Nazionale per la gestione integrata delle zone costiere e lo sviluppo di ulteriori priorità di intervento*

Prima del 2006 alcune Regioni italiane hanno adottato degli strumenti riconducibili alla GIZC: l'Emilia-Romagna (con il DGR n. 645 del 20 gennaio 2005 ha attuato una procedura completa di adozione della GIZC su scala regionale)<sup>246</sup>, le Marche (2005), la Liguria (2002); altre Regioni, come il Lazio, hanno condotto attività di sperimentazione dell'approccio GIZC (2001). L'attuazione di

---

<sup>246</sup> La Regione Emilia-Romagna, con l'apertura di un Comitato Istituzionale ed intersettoriale con le province di Rimini, Ravenna, Ferrara e Forlì-Cesena ed i Comuni di Rimini, Goro, Codigoro, Comacchio, Ravenna, Cervia, Cesenatico, Gatteo, Svignano sul Rubiconde, San Mauro Pascoli, Belluria-Igea Marini, Rimini, Riccione, Misano Adriatico e Cattolica, è stata la prima regione a partorire un piano di gestione integrata delle zone costiere finalizzato al perseguimento dell'obiettivo comune dello sviluppo sostenibile. Tale piano prevede diversi punti di intervento finalizzati a: a) migliorare il sistema fisico costiero, tracciando i fattori di rischio e predisponendo strategie di difesa; b) ridurre i carichi inquinanti, anche tramite la gestione razionale delle risorse idriche ed il monitoraggio delle medesime; c) tutelare lo sviluppo portuale, incidendo con controlli approfonditi sui rischi del trasporto marittimo; d) valorizzare gli habitat, la biodiversità ed il paesaggio; e) promuovere il turismo; f) tutelare la pesca e l'acquacoltura; g) sviluppare un sistema integrato per la gestione dei rifiuti derivanti dalla zootecnica con il potenziamento della qualità delle produzioni tipiche dell'agricoltura protetta; h) predisporre nuovi strumenti per l'aumento di energia pulita, anche tramite il potenziamento del solare ed il ricorso all'energia eolica; i) migliorare il servizio della mobilità tramite un'armonizzazione del sistema insediativo residenziale ed infrastrutturale produttivo.

strategie di gestione integrata delle zone costiere può assumere importanza anche ai fini della Pianificazione dello Spazio Marittimo (PSM).

Fino al 2006 l'Italia non aveva ancora adottato, né stava provvedendo a farlo, una Strategia Nazionale GIZC, né tantomeno stava provvedendo a sviluppare strumenti assimilabili a una Strategia Nazionale GIZC, pur in presenza di esempi positivi di GIZC a livello regionale e locale. Ciò, tuttavia, ha portato a un approccio settoriale della problematica della GIZC, con una conseguente sovrapposizione delle norme giuridiche che hanno generato competenze frammentarie e la mancanza di un coerente quadro strutturato e di adeguati strumenti di pianificazione e programmazione.

Si deve tenere presente che le coste italiane sono caratterizzate da una ricca biodiversità, vulnerabile e sottoposta a una pressione antropica crescente, con una percentuale di edificazione delle coste in costante aumento, i cui effetti negativi sono accentuati dalle conseguenze dei cambiamenti climatici; inoltre, sulle zone costiere insistono più interessi in apparente contrasto tra loro, individuabili negli insediamenti urbani, porti, aree dedicati al turismo balneare, aree protette, attività di pesca, zone industriali.

Attualmente molte Regioni italiane sono in una fase di definizione dello strumento GIZC, mentre altre sono in fase di aggiornamento o modifica dello strumento GIZC adottato prima del 2006. A livello nazionale, il Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare ha predisposto un programma di lavoro per definire la redazione della Strategia Nazionale per la gestione integrata delle zone costiere.

Il "Piano nazionale generale in materia di difesa del mare e delle coste dagli inquinamenti e di tutela dell'ambiente marino", previsto dalla Legge n. 979/1982 e destinato a garantire un coordinamento degli interventi, secondo criteri di programmazione e con la previsione di eventi potenzialmente pericolosi e interventi necessari a delimitarne gli effetti e contrastarli, avrebbe dovuto essere adottato dall'allora Ministro della Marina Mercantile, di intesa con le Regioni, ma a oggi non è stato ancora adottato.

Ai fini di un'efficace e coerente politica di gestione integrata dell'area costiera è richiesto il coordinamento di tutti i livelli decisionali e l'integrazione con le diverse politiche, coerentemente con i vigenti principi dell'organizzazione istituzionale, in particolare, con il principio di sussidiarietà.

Un importante risultato per lo sviluppo di un modello di gestione integrata delle zone costiere è stato raggiunto con l'adozione della "Strategia Nazionale per la Biodiversità" del 2010, che ha posto tra i suoi principali obiettivi la predisposizione di una politica integrata del mare e delle zone costiere, tramite *in primis*, il perseguimento della ratifica del Protocollo sulla gestione integrata della fascia costiera e marina della Convenzione di Barcellona, prevedendo, inoltre, il recepimento della Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino (Direttiva 2008/56/CE), essendo quest'ultima finalizzata a tutelare l'ambiente marino e le zone costiere, tramite la

conservazione della biodiversità marina e costiera e lo sviluppo eco-compatibile delle politiche economiche di settore<sup>247</sup>.

Potrà assumere, infatti, rilevante importanza la ratifica, non ancora attuata, da parte dell'Italia del Protocollo sulla gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo del 2008 (entrato in vigore il 23 marzo 2011) nell'ambito della Convenzione di Barcellona, nonché del Protocollo "Off-shore" (anch'esso entrato in vigore il 23 marzo 2011), la cui adesione da parte dell'UE (avvenuta con decisione del Consiglio del 17 Dicembre 2012) potrebbe incoraggiare la sua ratifica anche da parte di altri Stati membri della Convenzione di Barcellona, come l'Italia, favorendo in tal modo il raggiungimento di un buono stato ecologico delle acque del Mediterraneo, obiettivo ultimo della Direttiva quadro 2008/56/CE sulla strategia per l'ambiente marino.

L'attuazione di un processo di sviluppo costiero, secondo i principi e gli obiettivi della GIZC, deve svolgersi attraverso il rafforzamento di strumenti di coordinamento istituzionale e l'integrazione tra i diversi settori, oltre che attraverso meccanismi presenti già consolidati, come la Conferenza Stato-Regioni e le conferenze dei servizi.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha attivato una collaborazione istituzionale complessiva in materia di GIZC, attraverso il coinvolgimento delle Regioni e degli Enti locali in ordine alla pianificazione e gestione delle zone costiere, finalizzata alla definizione della Strategia GIZC, nonché alla predisposizione di Piani/Programmi o Linee guida per la Strategia GIZC. È evidente che solo tramite l'apertura di un tavolo tra l'Amministrazione centrale e le Amministrazioni periferiche sarà possibile conseguire una *governance* condivisa della gestione integrata delle zone costiere.

In conclusione, esistono già alcune priorità di intervento:

- a) progressione del processo di attuazione in Italia della Pianificazione dello Spazio Marittimo (PSM), che tenga conto dello spazio marittimo e della GIZC, al fine di contribuire alla promozione dello sviluppo e dell'attuazione di una Politica Marittima Integrata (PMI);
- b) ratifica e applicazione del Protocollo GIZC della Convenzione di Barcellona, nonché del Protocollo Offshore della Convenzione di Barcellona;
- c) elaborazione e attuazione della Strategia Nazionale per la gestione integrata delle zone costiere (Strategia GIZC).
- d) conseguimento del buono stato delle acque marino-costiere entro il 2015, secondo quanto previsto dal Testo Unico in materia ambientale, approvato con D.Lgs. n. 152/2006, nonché

---

<sup>247</sup> La Strategia Nazionale per la Biodiversità si è altresì assunta l'impegno: a) di perseguire l'uso razionale e sostenibile delle risorse dell'ambiente marino e delle zone costiere, anche tramite il monitoraggio e l'adeguamento delle politiche della pesca, nel pieno rispetto del Regolamento CEE 1967/06, al fine di garantire la tutela dell'ecosistema del bacino Mediterraneo; b) di costituire un network delle aree marine protette nel Mediterraneo per aumentare lo standard di tutela della protezione della Biodiversità, nonché il rafforzamento degli strumenti volti a contrastare lo sfruttamento eccessivo delle risorse acquatiche e delle zone costiere.

piena attuazione della Direttiva 2008/56/CE per conseguire il buono stato ecologico dell'ambiente marino entro il 2020;

- e) rafforzamento del sistema delle aree marine protette, attraverso l'istituzione di nuove aree marine protette, il completamento della Rete Natura 2000, l'istituzione di ulteriori ed eventuali zone di protezione ecologica: le aree marine protette costituiscono uno strumento strategico per il conseguimento dello sviluppo sostenibile dell'ambiente marino e costiero. Su quest'ultimo aspetto occorre sottolineare come la vulnerabilità degli ecosistemi marini ai cambiamenti climatici costituisca indubbiamente un grave limite alla sostenibilità dello sviluppo, in quanto gli effetti dei cambiamenti climatici si ripercuotono su tutte le dimensioni della sostenibilità dello sviluppo (ambientale, economica, sociale)<sup>248</sup> (Tellarini, 2012).

## **Elementi per una valutazione economica degli impatti e dell'adattamento nelle zone costiere**

L'analisi costi benefici degli interventi di protezione costiera contro inondazioni ed erosione per l'Italia è proposta sia da alcuni studi condotti con modelli ingegneristici su scala mondiale e/o europea sviluppati nell'ambito di progetti del 6 programma quadro, ma che offrono una elevata risoluzione spaziale e quindi anche la possibilità di risalire al dato nazionale complessivo, che da alcune ricerche condotte a livello locale. Tra i primi ci sono i risultati del progetto PESETA i cui dati per l'Italia sono stati resi disponibili da una recente pubblicazione (Bosello et al., 2012). Lo studio PESETA quantifica i costi diretti conseguenti erosione e inondazione delle coste nel caso di inazione così come quelli derivanti da un "ottimo" livello di protezione". Lo strumento di indagine è il modello DIVA (McFadden et al., 2007; Vafeidis et al., 2008) applicato agli scenari A2 e B2 dell'IPCC. DIVA è un modello ingegneristico che integra aspetti geografici (fornisce una buona rappresentazione spaziale delle zone costiere arrivando al dettaglio di pochi chilometri) e socio economici (fornendo informazioni su popolazione e "valore" delle zone costiere), con un modulo di adattamento che stima i costi degli interventi di protezione riferiti alla costruzione di dighe e al ripascimento spiagge.

Le simulazioni di DIVA stimano, a seconda dello scenario climatico analizzato, i costi complessivi dell'adattamento per l'Europa in un range tra i 41 e gli 800 milioni di Euro nel 2020 e i 246 e i 2350 milioni di Euro nel 2080. Il danno evitato nel 2080 varia invece tra i 1120 e i 37683 milioni di Euro, evidenziando quindi un alto rapporto benefici costi per gli interventi di protezione costiera.

---

<sup>248</sup>Gli interventi in ambito politico ed amministrativo, operanti su livelli diversi (internazionale, nazionale, territoriale), dovranno essere rivolti al rafforzamento del legame ecologico e socio-economico tra le aree marine protette e le più vaste aree marine e costiere circostanti; allo sviluppo di sistemi di *governance* idonei a garantire l'inserimento delle aree marine protette nel concetto più ampio di gestione integrata delle coste; all'implementazione ed al rafforzamento di appropriati strumenti di pianificazione e gestione delle aree marine protette, al fine della creazione di un sistema coerente e sostenibile di aree marine protette.

Per l'Italia, DIVA stima in caso di innalzamento del livello del mare compatibile con lo scenario A2 dell'IPCC, una perdita di aree costiere pari allo 0.6% della superficie nazionale totale. La protezione ottimale, quella in cui cioè i costi di protezione sono inferiori al valore delle aree che si perderebbero in sua assenza, richiederebbe la messa in sicurezza di quasi il 97% delle aree a rischio, e comporterebbe una spesa complessiva pari allo 0.006% del PIL.

Una versione aggiornata del modello DIVA è stata utilizzata anche nell'ambito del progetto FP7 CIRCE. Lo scenario climatico è l'A1B dell'IPCC: la perdita di zone costiere per l'Italia al 2050 in caso di inazione.<sup>249</sup> è stimata nello 0.7% della superficie nazionale totale. I costi economici indiretti, quantificati come impatti sul PIL derivanti dalla perdita di infrastrutture costiere e improduttività dei suoli agricoli sono valutata in un - 0.18%.

Tra gli esempi di confronto costi benefici dell'adattamento su scala locale si cita il caso della pianura di Fondi nel Lazio (Gambarelli e Gorla, 2004) e le difese a mare tramite sistema di dighe mobili in corso di attuazione a Venezia (progetto MOSE). Nel primo caso si tratta di uno studio che riguarda ipotetici scenari di intervento necessari a fronteggiare l'innalzamento del livello del mare conseguente il cambiamento climatico, mentre nel secondo caso ci si riferisce a un progetto in corso già finanziato che sarebbe stato posto in essere indipendentemente dagli stressor climatici, ma per fronteggiare il fenomeno delle "acque alte" che periodicamente affliggono la città lagunare.

Lo studio per la pianura di Fondi riguarda un'area di 6000 ha, di cui (nel 2002) 1150 già sotto il livello del mare, un segmento di costa di circa 12 Km e una popolazione di circa 30000 abitanti con un reddito pro capite annuo di circa 13000 Euro. Inizialmente è proposta una approfondita valutazione delle attività a rischio attraverso un'attenta analisi del contesto socio-economico interessato. Risulta che nel caso di inazione, in 100 anni le perdite cumulate oscillerebbero tra un minimo di 131 e un massimo di 270 milioni di Euro. Due diverse opzioni di intervento sono poi considerate: la prima prevede il potenziamento dei sistemi esistenti che favoriscono il recupero dei terreni allagati (ad es. miglioramento dell'efficienza scolante delle fognature, ridisegno del sistema di irrigazione e canalizzazione), la seconda prevede invece una difesa più attiva attraverso ricostituzione-ripascimento di dune esistenti, innalzamento di alcune aree e relativo abbattimento e ricollocazione di quelle abitazioni che non possono essere utilmente protette. Nel primo caso i costi oscillerebbero tra i 50 e i 100 milioni di Euro, quindi ben al di sotto dei danni evitati. Nel secondo caso i costi totali quantificabili che però non include i costi di elevazione in quanto non disponibili, variano tra i 45 e i 65 milioni di Euro. In entrambi i casi i costi della protezione sono inferiori ai benefici. Tuttavia lo studio evidenzia anche come costi relativamente certi e da sostenersi nell'immediato, debbano confrontarsi con un flusso di benefici dilazionato nel tempo e quindi per sua natura incerto. Nell'analisi rimangono pertanto alcuni elementi ineliminabili di soggettività. Ci si riferisce in particolare alla lunghezza del periodo nel quale sono calcolati i benefici e soprattutto alla scelta del tasso di attualizzazione degli stessi. Più lungo il periodo considerato e più basso il tasso di attualizzazione, tanto più l'aspetto benefici prevale su quei costi.

---

<sup>249</sup>Il progetto CIRCE non considera invece i costi degli eventuali interventi di protezione costiera.

Risultati analoghi, ma su scala molto maggiore, sono riportati dallo studio di impatto ambientale (SIA)<sup>250</sup> relativo al sistema di dighe mobili per la protezione della città di Venezia. Questo, (tralasciando gli interventi accessori sul contesto urbano) comporterebbe un costo di 1.9 miliardi di Euro per l'attuazione e un costo di circa 9.3 milioni di Euro all'anno per la manutenzione. I benefici di tale intervento su 60 anni (10 di realizzazione del progetto e 50 di esercizio) sono invece stimati in un range tra gli 1.5 e i 3.4 miliardi di Euro secondo il tasso di attualizzazione (5% o 3% rispettivamente) e delle ipotesi sui costi utilizzate. Anche nel caso di un'opera di grandi dimensioni come il Mose, costi sostenuti nel presente e quindi accertati/accertabili si confrontano con un flusso di benefici dilazionato nel tempo futuro. Oltre all'intrinseca incertezza riguardante i benefici, la scelta del tasso di attualizzazione risulta cruciale nel determinarne il rapporto con i costi. Nello specifico, con un tasso del 5% i benefici appaiono inferiori ai costi, mentre l'opposto si verifica con tasso del 3%

E' comunque interessante rilevare come gli studi, sia a livello macro che micro, tendano a ribadire che gli interventi a difesa delle coste presentano costi inferiori ai benefici. Questi ultimi sono poi tanto più elevati quanto più risulti possibile sfruttare anche a fini turistici l'intervento di protezione stesso. Questo è il tipico caso del ripascimento spiagge che molto spesso consente di preservare o estendere aree soggette a concessione demaniale a forte vocazione turistica. Una interessante analisi in tal senso è proposta dal progetto BEACHMED. Un intervento di ripascimento "tipo" su 1 Km di spiaggia, considerando messa in opera e manutenzione per un periodo di 25 anni (tasso di sconto al 2%) presenta un costo oscillante tra un minimo di 5.3 milioni di Euro per ripascimento protetto da pennelli trasversali, e un massimo di 10.3 milioni di Euro per ripascimento protetto da barriere longitudinali ad alto costo. I benefici di tale intervento sono però quelli di consentire il proseguimento sul Km di spiaggia (ipotizzandone una profondità di 30 m) di un'attività turistica che, limitatamente alle attività balneari, nel 2003 nell'area di riferimento (il Lazio) avrebbe generato un fatturato medio annuo di 0.85 milioni di Euro (ovvero 28.5 Euro al mq). Questo attualizzato sui 25 anni produrrebbe un montante di 16.8 milioni di Euro.

Dagli elementi sinora delineati risulta comunque evidente quanto sia difficile generalizzare un'analisi costi benefici in quanto non solo i fenomeni erosivi o di inondazione costiera hanno caratteristiche del tutto peculiari, ma anche le tipologie di intervento e soprattutto i benefici attesi dagli interventi stessi. Questi dipendono dalle caratteristiche socio, economiche, ambientali delle aree a rischio che sono molto specifiche.

E' infine opportuno sottolineare le evidenti incongruenze tra gli studi sviluppati su scala mondiale come DIVA e quelli su scala locale. I primi, nonostante l'alta risoluzione spaziale, devono necessariamente aggregare o generalizzare le informazioni di costo relative agli interventi di protezione costiera e ne producono pertanto valutazioni che perdono contenuti informativi fondamentali. Ad esempio basta considerare le stime proposte dallo studio DIVA per i costi di

---

<sup>250</sup> [http://www.salve.it/it/sezioni/itermose/allegati/rapporto\\_it/06.htm](http://www.salve.it/it/sezioni/itermose/allegati/rapporto_it/06.htm).

adattamento in Europa nel 2080 per scoprire che sono poco meno del doppio di quelli attribuiti al solo MOSE.

## Bibliografia

Adem J. (1989). On the effect of the orbital variation on the climates from 4000 yr ago to present. *Annales geophysicae*, 7, 599-606.

Amorosi A., Colalongo M.L., Fiorini F., Fusco F., Pasini G., Vaiani S.C. & Sarti G. (2004). Palaeogeographic and palaeoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records. *Global and Planetary Change*, 40, 55-78.

Antonioli F., Baroni C., Camuffo D., Carrara C., Cremaschi M., Frisia S., Giraudi C., Improta S., Magri D., Margottini C., Orombelli G., Silenzi S. (2000). Le fluttuazioni del clima nel corso dell'Olocene, Il Quaternario, *Italian Journal of Quaternary Sciences* 13, 1, 2000, 95-128.

Antonioli F., Leoni G., Margottini C. (2001). The risk of sea flooding in 33 Italian coastal plains. Workshop "Global climate changes during the late Quaternary" *Accademia dei Lincei of Rome, Abstract volume*, pp. 29-34.

Antonioli F., Bard E., Silenzi S., Potter E. K., Improta S. (2004). 215 KYR history of sea level based on submerged speleothems. *Global and Planetary Change*, 43, 57-68

Antonioli F., Auriemma R., Anzidei M., Braitenberg C., Ferranti L., Fontana A., Lambeck K., Monaco C., Maseroli R., Solinas E. (2007a). Recent coastal tectonic movements along the Italian coastline and comparison between long term (geological) and short term (instrumental) relative sea level data. *Topoeurope Congress, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 2-4 Maggio 2007. Volume Abstract*.

Antonioli F., Anzidei M., Auriemma R., Gaddi D., Furlani S., Lambeck K., Orrù P., Solinas E., Gaspari, A., Karinja, S., Kovačić V., Surace L. (2007b). Sea level change during Holocene from Sardinia and northeastern Adriatic from archaeological and geomorphological data. *Quaternary Science Review*.

Antonioli F., Leoni G. (2007c). Mappa Nazionale delle aree a rischio di allagamento da parte del mare. Dossier ENEA per lo studio dei cambiamenti climatici e loro effetti. RT ENEA, 83pp.

Antonioli F., Silenzi S. (2007). Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane. *Quaderni della Società Geologica Italiana*, 2.

Antonioli, F., Ferranti, L., Fontana, A., Amorosi, A.M., Bondesan, A., Braitenberg, C., Dutton, A., Fontolan, G., Furlani, S., Lambeck, K., Mastronuzzi, G., Monaco, C., Spada, G., Stocchi, P. (2009). Holocene relative sea-level changes and vertical movements along the Italian coastline. *Journal of Quaternary International* 221, 37-51.

Anzidei M., Antonioli F., Benini A., Lambeck K., Soussi M. (2011). New insights on the relative sea level change during Holocene along the coasts of Tunisia and Libya from archaeological and geomorphological markers. *Quat. Int.* 232, 1-2, 5-12.

Anzidei M., Antonioli F., Benini A., Lambeck K., Sivan D., Serpellonia E., Stocchig P. (2011). Sea level change and vertical land movements since the last two millennia along the coasts of southwestern Turkey and Israel. *Quat. Int.* 232, 1-2, 13-20.

ARPA (Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente) dell'Emilia-Romagna (2012). Qualità ambientale delle acque marine in Emilia-Romagna, Rapporto annuale 2011. <http://www.perseus-net.eu/assets/media/PDF/deliverables/WP8/1st%20PERSEUS%20Summer%20School,%203-7%20June%202013,%20Constanta%20Romania/832.pdf>

ARPA (Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente) dell'Emilia-Romagna (2013). Annuario dei dati ambientali 2011. [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=4638&idlivello=216](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=4638&idlivello=216)

- Struttura Oceanografica Daphne Aucelli P.P.C., Aminti P.L., Amore C., Artom C., Bellotti P., Bozzano A., Caputo C., Castellini G., Cipriani I.e., Cocco E., Corradi N., D'Alessandro L., Damiani L., Davoli L., De Pippo T., Devoti S., Di Gregorio F., Evangelista S., Ferrari M., Ferri S., Fierro G., Fontolan G., Ginesu S., Giuffrida E., Iannantuono E., Iuliano S., La Monica G.B., Landini B., Mascioli F., Nesci O., Palmentola G., Pranzini E., Pugliese F., Randazzo G., Raffi R., Roskopf C.M., Salvatore M.C., Silenzi S., Simeoni U., Veltri P. (2006). Lo stato dei litorali italiani. Gruppo nazionale per la ricerca sull'ambiente costiero. Studi costieri, 10, 5-112.
- Bakun A. (1990). Global Climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, 247, 198-199.
- Bard E., Hamelin B., Fairbanks R.G. (1990). U/Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados. Sea level during the past 130,000 years. *Nature*, 34, 456– 458.
- Bard E., Hamelin B., Arnold M., Montaggioni L.F., Cabioch G., Faure G., Rougerie F. (1996). Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge. *Nature* 382, 241–244.
- Beaumont N.J., Austen M.C., Atkins J.P., Burdon D., Degraer S., Dentinho T.P., Derous S., Holm P., Horton T., Van Ierland E., Marboe A.H., Starkey D.J., Townsend M., Zarzycki T. (2007). Identification , definition and quantification of goods and services produced by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 253-265.
- Berger A. (1978). Long-term variations of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements. *Quaternary Research*, 9, 139-167.
- Berger A. (1988). Milankovitch theory and climate. *Reviews of Geophysics*, 26, 624-657.
- Berger A., Loutre M.F. & Laskar J. (1992). Stability of the astronomical frequencies over the Earth's history for paleoclimate studies. *Science*, 255, 560-566.
- Bird E.C.F. (2000). *Coastal Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Bondesan M., Castiglioni G. B., Elmis C., Gabbianellis G., Marocco R., Pirazzolift P. A. e Tomasin A. (1995). Coastal Areas at Risk from Storm Surges and Sea – Level Rise in Northeastern Italy. *Journal of Coastal Research* (11 4): pp. 1354-1379.
- Bonsignore F. e Vicari L. (2000). La subsidenza nella Pianura emiliano-romagnola: criticità ed iniziative in atto. Regione Emilia-Romagna, Atti del Convegno “Le Pianure: Conoscenza e Salvaguardia. Il contributo delle scienze della terra”, 8/10 Novembre 1999. pp. 119-121.
- Bordoni P. e Valensise G. (1998). Deformation of 125 ka marine terraces in Italy: tectonics implications. In. Vita-Finzi, eds., *Coastal Tectonic*, Geol. Soc. Spec. Publ., 46: 71-110.
- Bosello F., Nicholls R.J., Richards J., Roson R., Tol R.S.J. (2012). Economic impacts of climate change in Europe: sea-level rise”, *Climatic Change*, 112, 63–81.
- Brander K. (2007). Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Science*, 104, 19709-19714.
- Brander K. (2010). Impact of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, 79, 389-402.
- Breil M., Johnson K. (2012). Conceptualizing Urban Adaptation to Climate Change- Findings from an Applied Adaptation Assessment Framework. *SSRN Electronic Journal*, <http://www.ssrn.com/abstract=2077476>.
- Breil M., Johnson K., Bucchignani E. (2013). An indicator-based assessment of vulnerability to climate change in Italian coastal cities. unpublished.
- Busuioc A. (2001). Large-Scale Mechanisms influencing the Winter Romanian Climate Variability. *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. M. Brunet India and D. Lopez Bonillo. Berlin, Springer: 333 - 344.

- Carminati E., Martinelli G. (2002). Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: the relative impact of natural and anthropogenic causation. *Engineering Geology*, 66, 241–255.
- Carminati E., Doglioni C., Scrocca D. (2003). Apennines subduction-related subsidence of Venice. *Geophys. Res. Lett.* 30, 13, 1717, doi:10.1029/2003GL017001.
- Carminati E., Martinelli G., Severi P. (2003). Influence of glacial cycles and tectonics on natural subsidence in the Po Plain (Northern Italy): Insights from 14C ages. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*, 4, Number 101082, doi:10.1029/2002GC000481.
- Church J.A., White N.J., Coleman R., Lambeck K., Mitrovica J.X (2004). Estimates of the regional distribution of sea-level rise over the 1950 to 2000 period. *J. Climate* 17, 2609– 2625.
- Cooley S.R., Doney S.C. (2009). Anticipating ocean's acidification economic consequences for commercial fisheries. *Environmental Research Letters*, 4, <http://iopscience.iop.org/1748-9326/4/2/024007>.
- Cinner J., McClanahan T., Graham N., Pratchett M., Wilson S., Raina B., (2009). Gear-based fisheries management as a potential adaptive response to climate change and coral mortality. *Journal of Applied Ecology* 46, 724–732.
- Cloern J.E. (2001). Our Evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine ecology Progress series*, 210, 223-253.
- Commissione Europea (2000). Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo sulla Gestione Integrata delle Zone Costiere; una strategia per l'Europa, COM/2000/547.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van der Belt M. (1997). The value of the world ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Crowley T. & Kim K. (1994). Milankovitch Forcing of the Last Interglacial Sea Level. *Science*, 265, 1566-1567.
- Dacquino C., Mandorè S., Vicini, C. (2007). Trend e mappatura del rischio lungo le coste italiane secondo la metodologia del progetto EUROSION.
- Daily G.C. (1997). What are ecosystem services?. In: *Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystems*. (G.C. Daily ed.) island press, Washington D.C., 1-10.
- De Vries W.S., Zanuttigh B., Steendam G.I., Kloosterboer H., Van der Nat A., Graaff H. (2011). Integrating science and policy for creating tools for safer European coasts in a changing climate. In Paper presentation at the 25th ICID European Regional Conference, May 16-20, 2011., Groningen, the Netherlands, [http://www.theseusproject.eu/index.php?option=com\\_ota&module=ref&refid=205242](http://www.theseusproject.eu/index.php?option=com_ota&module=ref&refid=205242).
- Doglioni C., (1994). Foredeeps versus subduction zones. *Geology*, 22, 3, 271-274.
- EEA (2006). The changing faces of Europe's coastal areas, EEA, European Environmental Agency.
- EEA (2012). Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies, Copenhagen: European Environment Agency (EEA).
- Egis BCEOM International / IAU-IDF / BRGM (2011). Phase 2: Plan d'adaptation et de résilience – Tunis.
- Emiliani C. (1954). Depth habitat of some species of pelagic foraminifera as indicated by oxygen isotope ratio. *Am. J. Sci.*, 252, 149-158.
- Emiliani C. (1977). Oxygen isotope analysis of the size fraction between 62 and 250 micrometres in Caribbean cores P6304-8 and P6304-9. *Science*, 198, 1255-1256.

- EU (2000). Communication from the commission to the council and the European Parliament on integrated coastal zone management: a strategy for Europe. COM(2000)547.
- EU (2013). Climate change adaptation, coastal and marine issues. SWD (2013).
- Farrel W.E. & Clark J.A. (1976). On postglacial sea level. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 46, 647-667.
- Ferranti L., Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dai Pra G., Mastronuzzi G., Monaco C., Orru' P., Pappalardo M., Radtke U., Renda P., Romano P., Sanso' P. & Verrubbi V. (2005). Last interglacial sea level high stand markers along the coast of the Italian Peninsula: tectonic implications. *Journal of Quaternary International*, 145-146, 30-54.
- Ferranti L., Monaco C., Antonioli F., Maschio L., Kershaw S., Verrubbi V. (2007). The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, southern Italy: Evidence from raised Late Holocene shorelines. *Journal Of Geophysical Research*, 112, B06401.
- Ferranti L., Antonioli F., Anzidei M., Monaco C., Stocchi P. (2010). The timescale and spatial extent of vertical tectonic motions in Italy: insights from relative sea-level changes studies. *Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition*, ISSN 1441-8142, 36, paper 30.
- Feyen L., Dankers R. (2009). Impact of global warming on streamflow drought in Europe. *Journal of Geophysical Research*, 114(D17116), doi:10.1029/2008JD011438.
- Fontolan G., Bezzi A., Pillon S. & Racca R. (2001). *Rischio da mareggiata - Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione civile*. Venezia, 89 pp.
- Füssel H.M. (2007). Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17:155-167.
- Gambarelli G., Gorla A. (2004). Economic evaluation of climate change impacts and adaptation in Italy, FEEM Note di Lavoro 103.04.
- Gattuso J.P., Frankignoulle M., Wollast R. (1998). Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. *Annual Review of ecology and systematics*, 29, 405-434.
- Ghermandi A., Nunes P.A.L.D., Portela R., Rao N., Teelucksingh S.S. (2009). Recreational Cultural and Aesthetic services from Coastal and Estuarine ecosystems. *Fondazione ENI Enrico Mattei, Nota di Lavoro* 121.2009, 67 pp.
- GLA (2011). *Managing risks and increasing resilience. The Mayor's climate change adaptation strategy*. London: Greater London Authority (GLA), <http://www.london.gov.uk/who-runs-london/mayor/publications/environment/london-climate-change-adaptation-strategy>.
- GLA (2010). *The draft climate change adaptation strategy for London. Public Consultation Draft*. Greater London Authority (GLA), [http://legacy.london.gov.uk/mayor/priorities/docs/Climate\\_change\\_adaptation\\_080210.pdf](http://legacy.london.gov.uk/mayor/priorities/docs/Climate_change_adaptation_080210.pdf).
- Gornitz V., Couch S., Hartig E.K. (2002). Impacts of sea level rise in the New York City metropolitan area. *Global and Planetary Changes* 32, 61- 88.
- Gualdi S., Somot S., May W., Castellari S., Déqué M., Adani M., Artale V., Bellucci A., Breitgang J.S., Carillo A., Cornes R., Dell'Aquila A., Dubois C., Efthymiadis D., Elizalde A., Gimeno L., Goodess C.M., Harzallah A., Krichak S.O., Guedes-Soares C., Carretero-Albiach J., Weisse R., Alvarez-Fanjul E. (2002). A 40 years hindcast of wind, sea level and waves in european waters. Oslo, Norway, pp. 669-675.
- Kuglitsch F.G., Leckebusch G.C., L'Hévéder B., Li, L., Lionello P., Luterbacher J., Mariotti A., Navarra A., Nieto R., Nissen K.M., Oddo P., Ruti P., Sanna A., Sannino G., Scoccimarro E., Sevault F., Struglia M.V., Toreti A., Ulbrich U.,

- Xoplaki E. (2013). Future climate projections. In: Navarra A. and Tubiana L. (Eds). Regional assessment of climate change in the Mediterranean, Vol. 1. Air, sea and precipitation and water., Springer. 53-118.
- Hallam A., Cohen J.M. (1989). The Case for Sea-Level Change as a Dominant Causal Factor in Mass Extinction of Marine Invertebrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, Vol. 325, No. 1228, Evolution and Extinction, pp. 437-455.
- Hayas J.D., Imbrie J., Shackleton N.J. (1976). Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science*, 194, 1121-1131.
- Heckbert S., Costanza R., Poloczanska E.S., Richardson A.J. (2011). Climate regulation as a service from Estuarine and coastal ecosystems..In *Treatise on Estuarine and coastal science. Vol.12: Ecological Economics of Estuaries and coasts*, 199-216.
- Hoffman G.E., Barry J.P., Edmunds P.J., Gates R.D., Hutchins D.A., Kòonger T., Sewell M.A. (2010). The effects of ocean acidification on calcifying organisms in marine ecosystems: An Organism-to-ecosystem perspective. *Annual Review of ecology, evolution and systematics*. 41, 127-147.
- Hinkel, J., Nicholls R.J., Vafeidis A.T., Tol R.S.J., Avagianou T. (2010). Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(7), pp.703–719.
- Hinrichsen D. (1999). *Coastal waters of the world: Trends, Threats and strategies*. Island press, Washington.
- Imbrie J., Hays J.D. Martinson D.G., McIntyre A., Mix A.C., Morley J.J., Pisias N.G., Prell W.L., Shackleton N.J. (1984). The orbital theory of pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine 18O record. In: A.L. Berger et al. (eds), *Milankovitch and Climate, Part 1*, Reidel Pub. Co, 269-305.
- Imbrie J., Boyle E.A., Clemens S.C. et al. (1992). On the structure and origin of major glaciation cycles. 1. Linear responses to Milankovitch forcing. *Paleoceanography*, 7, 701-738.
- Imbrie J., Berger A. & Shackleton N.J. (1993). Role of orbital forcing: a two million year perspective. In: *Global Changes in the Perspective of the Past*. J.A. Eddy & Oeschgereds. Chichester, Wilwy, 263-277.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- ISTAT (2009). *Atlante Statistico dei Comuni*, Roma: ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica), [http://www3.istat.it/dati/catalogo/20061102\\_00/atlante\\_statistico\\_comuni2009.pdf](http://www3.istat.it/dati/catalogo/20061102_00/atlante_statistico_comuni2009.pdf).
- King J., McFarlane G. (2006). A framework for incorporating climate regime shifts into the management of marine resources. *Fisheries Management and Ecology* 13, 93–102.

- Jemenez J.A., Ciavola P., Balouin Y., Armaroli C., Bosom E., Gervais M. (2009). Geomorphic coastal vulnerability to storms in microtidal fleck-limited environments: application to NW Mediterranean & N Adriatic Seas. *Journal of coastal research*, SI 56: pp 1641 – 1645.
- Kleinn R.J.T., Nicholls R.J. (1999). Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. *Ambio*, 28(2), 183-187.
- Lambeck K., Johnston P. (1995). Land subsidence and sea-level change: contributions from the melting of the last great ice sheets and the isostatic adjustment of the Earth. In: Barends, F.J., Brouwer, F.J.J., Schroder, F.H. (Eds.), *Land Subsidence*. Proc. Fifth Int. Symp. Land Subsidence, Balkema, Rotterdam 3– 18.
- Lambeck K., Bard E. (2000). Sea-level change along the French Mediterranean coast since the time of the Last Glacial Maximum. *Earth Planet. Sci. Lett.* 175, 3-4: 202-222.
- Lambeck K., Chappell J. (2001). Sea-level change during the last glacial cycle. *Science*, 292, 679-686.
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A., Silenzi S. (2004a). Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs. *Quaternary Science Reviews*, 23, 1567-1598.
- Lambeck K., Anzidei M., Antonioli F., Benini A., Esposito A. (2004b). Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for modern sea level rise. *Earth and Planetary Science Letter*, 224 563-575.
- Lambeck, K., Purcell, A., Funder, S., Kjær, K., Larsen, E., Mo" ller, P. (2006). Constraints on the late Saalian to early Middle Weichselian ice sheet of Eurasia from field data and rebound modelling. *Boreas* 35, 539-575.
- Lambeck K., Antonioli F., Anzidei M., Ferranti L., Leoni G., Scicchitano G., Silenzi S. (2011). Sea level change along Italian coast during Holocene and a projection for the future. *Quat. Int.* 232,1-2, 250-257.
- Landis W.G., Wieggers J.A. (1997). Perspective: Design Considerations and Suggested Approach for Regional and Comparative Ecological Risk Assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*: Vol. 3, No.3, pp. 287-297.
- Landis W.G. (2004). *Regional Scale Ecological Risk Assessment: using the relative risk model*. CRC Press, pp 320.
- Laskar J. (1999). The limits of Earth orbital calculations for geological time-scale use. *Trans. Roy. Soc. Lond.*, 357, 1735-1759.
- Lichter M., Vafeidis A.T., Nicholls R.J., Kaiser G. (2011). Exploring Data-Related Uncertainties in Analyses of Land Area and Population in the "Low-Elevation Coastal Zone" (LECZ). *Journal of Coastal Research*, 274, pp.757-768.
- Ligeti E., Penney J., Wieditz, I. (2007). Cities preparing for climate change: a study of six urban regions. *The Clean Air Partnership* (Hrsg.). Online verf\ugbarunter: [www.cleanairpartnership.org](http://www.cleanairpartnership.org).
- Lionello P., Baldi M., Brunetti M., Cacciamani C., Maugeri M., Nanni T., Pavan V., Tomozeius R., (2010c). Eventi estremi tendenze attuali e clima futuro sull'Italia. In: Castellari S. and Artale V. (ed.) (2010). *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bononia University Press, 590 pp.
- Lionello P., Bhend J., Buzzi A., Della -Marta P.M., Krichak S., Jansà A., Maheras P., Sanna A., Trigo I.F. (2006). Cyclones in the Mediterranean region: climatology and effects on the environment. In: Lionello P, Malanotte Rizzoli P., Boscolo R. (eds). *Mediterranean climate variability*: Elsevier (Netherlands) Amsterdam 324 – 272.
- Lionello P., Boldrin U., Cogo S., De Zolt S., Giorgi F., Galati M. B.B, Sanna A., Vicentini G. (2008). Cyclone activity, precipitation and marine storminess in the Eastern Mediterranean region: analysis of regional climate Scenario simulations. *Clima Dynamics*, 30, 6 (2008), 657 – 671.
- Lionello, P.; Boldrin, U.; Giorgi, F. (2007). Future changes in cyclone climatology over Europe as inferred from a regional climate simulation. *Climate Dynamics*, 04/2008; 30(6):657-671. DOI: 10.1007/s00382-007-0315-0.

- Lionello P., Cavaleri L., Nissen K.M., Pino C., Raicich F., Ulbrich U. (2010a). Severe marine storms in the Northern Adriatic: Characteristics and trends. *Physics and Chemistry of the Earth* 40-41 (2010) 93–105.
- Lionello, P., Dalan, F., Elvini, E. (2002). Cyclones in the Mediterranean region: the present and the doubled CO<sub>2</sub> climate scenarios. *Climate Research*, 22, 147–159.
- Lionello P., Elvini E., Nizzero A. (2003). A procedure for estimating wind waves and storm-surge climate scenarios in a regional basin: the Adriatic Sea case, *Clim. Research.*, 23: 217-231.
- Lionello P., Galati M.B., Elvini E. (2010b). Extreme storm surge and wind wave climate scenario simulations at the Venetian littoral. *Physics and Chemistry of the Earth* 40-41 (2012) 86–92.
- Marcos M., Jordà G., Gomis D., Calafat F. M. Alvarez Fanju E. (2010). Storm Surge Variations In The Mediterranean Sea Under Climate Change Scenarios. Xx
- McFadden L., Nicholls R.J., Vafeidis A.T., Tol R.S.J. (2007). A methodology for modelling coastal space for global assessments. *Journal of Coastal Research* 23(4), 911–920.
- Maclaren C. (1842).The glacial theory of Professor Agassiz of Neuchatel. *Am. J. Sci.*, 42: 346-365.
- McGranahan G., Balk D., Anderson B. (2007). The risingtide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19(1), pp.17–37.
- MacNeil M.A., Graham N.A.J., Cinner J.E., Dulvy N.K., Loring P.A., Jennings S., Polunin N.C., Fisk A.T., McClanahan T.R. (2010). Transitional states in maine fisheries: adapting to predicted global change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 365, 3753-3763.
- McFadden L., Nicholls R.J., Penning-Roswell E. (2007). *Managing Coastal Vulnerability: an Integrated Approach*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 261.
- McIlgorm A., Hanna S., Knapp G., Le Floc'H P., Millerd F. & Pan M., (2010). How will climate change alter fishery governance? Insights from seven international case studies.*Marine Policy*, 34, 170–177.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment (2005a). *Ecosystem and human well being: Synthesis*. Island pres, Washington, 155 pp.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment (2005b). *Coastal Systems*. In: *Ecosystems and Human well-being: Current state and trends*, Vol.1 (r: Hassan, R. Scholes, N. Ash Eds.), Island Press, Washington, 513-549.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Nutrient cycling*. In: *Ecosystems and Human well-being: Current state and trends*, Vol.1 (r: Hassan, R. Scholes, N. Ash Eds.), Island Press, Washington, 331-353
- Milankovitch M. (1930). *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*. Handbuch der Klimalogie Band 1 Teil a Borntrager, Berlin.
- Milankovitch M. (1938). *Astronomische Mittel zur Erforschung der erdgeschichtlichen Klimate*. Handb. Geoph., 9: 593-698.
- Milankovitch M. (1941). *Kanon der Erdbestrahlungen und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*. Beograd: Koniglich-Serbische Akademie. (New English Translation, 1998: *Canon of Insolation and the Ice Age Problem*. 636 pp. (Hardbound. Alven Global. ISBN 86-17-06619-9).
- Molnar M., Clarke-Murray C., Whitworth J., Tam J. (2009). *Marine and coastal ecosystem services*. David Suzuki Foundation, 102 pp.
- Muller R.A., McDonald G.J. (1997). Glacial cycles and astronomical forcing. *Science*, 277, 215-218.

- Muskulus, M., Jacob, D. (2005). Tracking cyclones in regional model data: the future of the Mediterranean storms. *Adv. Geosci.*, 2, 13–19.
- Navarra A., Tubiana L. (2013a). Regional assessment of climate change in the Mediterranean. Vol. 1: Air, sea and precipitation and water. Springer, Dordrecht, Heidelberg, N.Y. London, 338 pp.
- Navarra A., Tubiana L. (2013b). Regional assessment of climate change in the Mediterranean. Vol. 2: Agriculture, Forests and ecosystem services and people. Springer, Dordrecht, Heidelberg, N.Y. London, 404 pp.
- Navarra A., Tubiana L. (2013b). Regional assessment of climate change in the Mediterranean. Vol. 3: Case studies. Springer, Dordrecht, Heidelberg, N.Y. London, 225 pp.
- Nicholls R.J., Wong P.P., Burkett V.R., Codignotto R.J., Hay J.E., Mc Lean R.F., Ragoonaden S., Woodroffe C.D. (2007). Coastal Systems and low lying areas. In: *Climate change 2007: impacts, Adaptation and vulnerability. Contribution of Working group II to the 4<sup>th</sup> Assessment report of the intergovernmental Panel on Climate change*. M.I. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. Van der Linden. C.E. Hanson (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge UK, 315-356.
- Nicholls R.J., Klein R.J.T., Tol S.J. (2007). Integrating Knowledge for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change. In: *Mc Fadden L. R.J. Nicholls e E. Penning-Rowsell (Eds), Managing Coastal Vulnerability*. Elsevier, The Netherlands, pp. 224-241
- Nicholls, R.J., Wong P.P., Burkett V., Woodroffe C.D., Hay J. (2008). Climate change and coastal vulnerability assessment: scenarios for integrated assessment. *Sustainability Science*, 3(1), pp.89–102.
- Muller R.A., McDonald G.J. (1997). Glacial cycles and astronomical forcing. *Science*, 277, 215-218.
- Nisi M.F., Antonioli F., Dai Pra G., Leoni G., Silenzi S. (2003a). Coastal deformation between the Versilia and the Garigliano Plains (Italy) since the Last Interglacial stage. *Journal of Quaternary Science*, 18, 8, 709-721.
- Nisi M.F., Aminti P., Cipriani L., De Donatis M., Devoti S., Gabellini M., Gallerini G., Pranzini E., Rossi L., Silenzi S. (2003b). La valutazione del Rischio da RSLR in Versilia. *Studi Costieri*, 6, 133-162.
- Orr J.C., Fabry V.J., Aumont O., Bopp L., Doney S.C., Feely R.A., Gnanadesikan A., Gruber N., Ishida A., Joos F., Key R.M., Lindsay K., Maier-Reimer E., Matear R., Monfray P., Mouchet A., Najjar R.G., Plattner G.-K., Rodgers K.B., Sabine C.L., Sarmiento J.L., Schlitzer R., Slater R.D., Totterdell I.J., Weirig M.-F., Yamanaka Y., Yool A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437:681–86
- Parlagreco L., Antonioli F., Devoti S., Leoni G., Montagna P., Orlando L., A. Screpanti, Silenzi S., Verrubbi V. (2006). Geomorphological evolution of the Sangro River coastal area. *ADRIA 2006, International Geological Congress On The Adriatic Area, Urbino, Italy, 19-20 June 2006. (Abstract)*.
- Parlagreco L., Devoti S., Leoni G., Montagna P., Silenzi S. (2007). Variazione della vulnerabilità in una piana costiera del sud pontino (Lazio) in funzione di sei scenari di sollevamento del livello marino per il 2100. *Il monitoraggio costiero mediterraneo, problematiche e tecniche di misura*. Sassari, 4-6 ottobre 2006. Volume degli atti, 29-36.
- Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.) (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 982pp.
- Pauly D., Christensen V. (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374, 255-257.
- Pirazzoli P.A. (1991). *World Atlas of Holocene Sea Level Changes*. Elsevier Oceanography Series, 58.
- Pirazzoli P.A., (2000). Cambiamenti globali e variazione del livello del mare: meccanismi e tendenze evolutive. In: *Mare e Cambiamenti Globali. Aspetti scientifici e gestione del territorio*. Ed. ICRAM. pp. 15-28.

- Rabalais N.N., Turner E.R., Diaz R.J., Justic D. (2009). Globalchange and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of marine sciences*, 66, 1528-1537.
- Rahmstorf S., Cazenave A., Church J. A., Hansen J. E., Keeling R. F., Parker D. E., Somerville R. C. J. (2007). Recent Climate Observations Compared to Projections. *Science*, 316, 709.
- Ramieri E., Hartley A., Barbanti A., Duarte Santos F., Gomes A., Hilden M., Laihonon P., Marinova N., Santini M. (2011). Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. ETC CCA Technical Paper 1/2011, European Environment Agency.
- Roessig J.M., Woodley C.M, Cech Jr. J.J., Hansen L.J. (2004). Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Reviews in FishBiology and Fisheries*. 14, 241-275.
- Rosenzweig C., Solecki W., Hammer S. (eds.) (2010). *Climate Change Adaptation in New York City: Building a Risk Management Response: New York City Panel on Climate Change 2010 Report*, New York.
- Sannino, G., Pratt L., Carillo A. (2009). Hydraulic criticality of the exchange flow through the Strait of Gibraltar, *J. Phys. Oceanogr.*, 39, 2779–2799, doi:10.1175/2009JPO4075.1.
- Santer B.D., Berger A., Eddy J.A., Flohn H., Imbrie J., Litt T., Scheider S.H., Schweingruber F.H., Stuiver M. (1993). How can paleodata be used to evaluate the forcing mechanism responsible for past climate changes? In: *Global Changes in the Perspective of the Past*. Eddy & Oeschger eds. Chichester, Wiley, 343-367.
- Schauser, I., Otto S., Schneiderbauer S., Harvey A., Hodgson N., Robrecht R., Morchain D., Schrandt J.J., Khovanskaia M., Celikyilmaz-Aydemir, Andrea Prutsch G., McCallum S. (2010). Urban regions: Vulnerabilities, Vulnerability assessments by indicators and adaptation options for climate change impacts - Scoping Study, European Topic Center on Air and Climate Change. (disponibile a: [http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs/ETCACC\\_TP\\_2010\\_12\\_Urban\\_CC\\_Vuln\\_Adapt.pdf](http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs/ETCACC_TP_2010_12_Urban_CC_Vuln_Adapt.pdf))
- Shackleton N.J., Opdyke N.D. (1973). Oxygen Isotope and Palaeomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238: Oxygen Isotope Temperatures and Ice Volumes on a 105 Year and 106 Year Scale. *Quat. Res.*, 3, 39-55.
- Shackleton N.J. (1974). Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthonic foraminifera Genus *Uvigerina*: isotopic changes in the ocean during the last glacial. In: *Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pleistocène*, Colloques Internationaux de Centre National de la Recherche Scientifique No. 219. CNRS, Paris, pp. 4-5.
- Shackleton N.J. (1977). The oxygen isotope stratigraphic record of the late Pleistocene. *Phil. Trans. Royal Soc. B*, 280, 169-179.
- Shackleton N.J. (1988). Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quat. Sci. Rev.*, 6, 183-190.
- Silenzi S., Devoti S., Nisi M. F., De Donatis M., Gallerini G., Aminti P., Pranzini E., Rossi L., Gabellini M. (2002). Integrated hazard of Italian coastal plains with respect to relative sea level rise: a case study in Versilia plain. *Littoral 2002, The Changing Coast*, vol. 2, 115-124.
- Silenzi S., Devoti S., Nisi M.F., (2003). La valutazione del rischio da risalita del livello marino sulla costa della Toscana settentrionale. Percorso metodologico. *Studi Costieri*, 6, Tavola 1.
- Silenzi S., Devoti S., Gabellini M., Magaletti E., Nisi M.F., Pisapia M., Angelelli F., Antonioli F., Simeoni U., Tessari U., Gabbianelli G., Schiavi C. (2003a). Sea storm risk assessment in the Ravenna littoral. In: Ozhan E. (Ed), *Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, 7-11 October 2003, Ravenna, Italy, 1-3, 2223-2234.

- Simeoni U., Del Grande C., Gabianelli G. (2003b). Variazioni ed ipotesi evolutive dell'assetto altimetrico del litorale emiliano-romagnolo. *Studi Costieri*, 7, 81-93.
- Teatini G. (1999). The impact of climate change, sea-storm events and land subsidence in the Adriatic.
- Tellarini G. (2008). Profili di tutela dell'ambiente marino nel diritto internazionale e comunitario, Cedam, Padova.
- Tellarini G. (2010). Le procedure di estensione della giurisdizione costiera e l'istituzione di zone di protezione ecologica in Italia. *Diritto dei trasporti*, 4.
- Tellarini G. (2012). Lo sviluppo sostenibile nelle aree marine protette. In: *Aspetti normativi e gestionali delle aree marine protette* (a cura di G. Tellarini), BUP, Bologna.
- Tolika K., Flocas H., Maheras P. (2006). Cyclones in the Mediterranean region: present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P). *Advances in Geosciences*, 7, 9-14.
- Torresan S., Zabeo A., Rizzi J., Critto A., Pizzol L., Giove S., Marcomini A. (2010). Risk assessment and decision support tools for the integrated evaluation of climate change impacts on coastal zones. *International Environmental Modelling and Software Society (IEMSs), International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada*. In David A. Swayne, Wanhong Yang, A. A. Voinov, A. Rizzoli, T. Filatova (Eds.)
- Torresan S., Critto A., Tonino M., Alberighi E., Pizzol L., Santoro F. and Marcomini A. (2009). Climate change risk assessment for coastal management. In: Özhan, E. (Editor), *Proceedings of the Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, 10-14 November 2009, Sochi, Russia, MEDCOAST, Middle East Technical University, Ankara, Turkey* 91-102.
- Torresan S., Critto A., Dalla Valle M., Harvey N., Marcomini A. (2007). A regional risk assessment framework for climate change impacts evaluation in a coastal zone management perspective. In: Özhan, E. (Editor), *Proceedings of the Eighth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, 13-17 November 2007, Alexandria, Egypt, MEDCOAST, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, vol 2, pp.741-752*.
- Torresan S., Critto A., Dalla Valle M., Harvey N., Marcomini A., (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainability Science*, 3: 45-65.
- Torresan S., Critto A., Rizzi J., Marcomini A., (2012). Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: the case study of the North Adriatic Sea. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2347-2368, 2012
- Ulbrich U., Xoplaki E., Dobricic S., Garcia-Herrera R., Lionello P., Adani M., Baldi M., Barriopedro D., Coccimiglio P., Dalu G., Efthymidiadis D., Gaetani M., Galati M. B., Gimeno L., Goodess G. M., Jones P. D., Kuglitsch F. G., Leckebush G., Luterbache J., Marcos-Moreno M., Mariotti A., Nieto R., Nissen K. M., Pettenuzzo D., Pinaridi N., Pino C., Shaw A.G.P., Sousa P., Toreti A., Trigo R. M., Tsimplis M. (2013). Past and current climate changes in the Mediterranean region. In: Navarra A. and Tubiana L. (Eds) *Regional assessment of climate change in the Mediterranean, Vol. 1. Air, sea and precipitation and water.*, Springer. 9-51.
- UN-ISDR (2005). *Hyogo framework for action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*. UNISDR, Geneva.
- UN-ISDR (2009). *Terminology on disaster risk reduction*. UNISDR, Geneva.
- UN-Habitat (2011). *Cities and Climate Change: global report on human settlements, Nairobi: United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat)*.
- Urey H.C. (1948). Oxygen isotopes in nature and in the laboratory. *Science*, 108, 489-496.

Vafeidis A.T., Nicholls R.J., McFadden L., Tol R.S.J., Spencer T., Grashoff P.S., Boot G., Klein R.J.T., (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research* 24(4), 917–924.

Vail P.R. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In Payton C.E., *Seismic stratigraphy – Application to Hydrocarbon Exploration*, A.A.P.G. Memoir, 26, 49-212.

Vai G.B., Cantelli L. (2004). Litho-Palaeoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes two maps 1:1.000.000. Explanatory notes edited by Antonioli F., and Vai G.B., 32° IGC publications.

Valpreda E., Simeoni, U. (2003). Assessment of coastal erosion susceptibility at the national scale: The Italian case. *Journal of Coastal Conservation* 9: 43-48, 2003 © EUCC; Opulus Press Uppsala.

Vollenveider R. (1992). Coastal marine eutrophication: principles and Control. *Science of the total Environment*. Suppl, 1-21.

Wigley T.M.L., Raper, S.C.B. (1992). Implications for climate and sea levels of revised IPCC emissions scenarios. *Nature*, 357, 293-300.

Zhang J., Gilbert D., Gooday A.J., Levin L., Naqvi S.W.A., Middelburg J.J., Scranton M., Ekau W., Peña A., Dewitte B., Oguz T., Monteiro P.M.S., Urban E., Rabalais N.N., Ittekkot V., Kemp W.M., Ulloa O., Elmgrem R., Escobar-Briones E., Van der Plas A.K. (2010). Natural and human induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future developments. *Biogeosciences*, 7 1443-1467.

# Turismo

## Sintesi

L'Italia rappresenta una delle destinazioni preferite dal turismo internazionale. Occupa infatti il quinto posto per numero di arrivi internazionali a livello mondiale, dopo Francia, Stati Uniti, Cina e Spagna. Pur essendo ai primi posti della classifica, l'Italia ha però perso quote di mercato rispetto ad altri Paesi, dato che negli anni 2000 si trovava al quarto posto. Il turismo è fortemente esposto alle conseguenze negative dei cambiamenti climatici. Questo sia in termini diretti, perché lo svolgimento delle attività turistiche richiede favorevoli condizioni climatiche, sia in termini indiretti, perché le mutate condizioni fisiche delle destinazioni possono indirettamente diminuirne l'attrattiva turistica.

Le proiezioni degli impatti diretti dei cambiamenti climatici sul turismo in Italia concordano nell'indicare una diminuzione dell'attrattiva dell'Italia come destinazione internazionale, che si tradurrà in una diminuzione in termini relativi delle presenze turistiche complessive rispetto ad un'ipotetica situazione di assenza dei cambiamenti climatici. Tali impatti saranno diversificati tra le varie regioni italiane. Quelle più plausibilmente colpite potrebbero essere, in ordine decrescente, Sicilia, Lazio, Toscana ed Umbria.

Il turismo invernale dipende in maniera preponderante dalla presenza di un livello affidabile di neve. Le stime attuali prevedono perdite elevate per l'Alto Adige mentre perdite relativamente più contenute avranno luogo in Friuli-Venezia Giulia per il minore peso economico del turismo invernale e in Valle d'Aosta, per la maggiore altitudine media degli impianti sciistici.

Al momento non vi sono stime per i costi dell'adattamento, mentre stime di letteratura inerenti i costi degli impatti sul settore turistico **in Italia al 2050** indicano **perdite che variano dallo 0,25% all'1,05% del PIL.**

## Introduzione

### *Caratteristiche principali della domanda turistica italiana<sup>251</sup>*

L'Italia rappresenta una delle destinazioni preferite dal turismo internazionale. Occupa infatti il quinto posto per numero di arrivi internazionali, a livello mondiale, dopo Francia, Stati Uniti, Cina

---

<sup>251</sup> Per i dati contenuti in questa sezione, si veda: Becheri & Maggiore (2011) – elaborazioni a partire da dati UNWTO e ISTAT, aggiornati al 2011.

e Spagna. Pur essendo ai primi posti della classifica, l'Italia ha però perso quote di mercato rispetto ad altri Paesi, dato che negli anni 2000 si trovava al quarto posto.

In merito all'evoluzione del turismo (domestico e internazionale) negli ultimi decenni, mentre nel 1970 gli arrivi in Italia ammontavano a 37,4 milioni e le presenze a 244 milioni, nel 1990 gli arrivi hanno raggiunto i 59 milioni e le presenze i 252 milioni (il dato non comprende il movimento nelle strutture ricettive non registrate, in quanto non più rilevabile dopo l'abolizione dell'imposta di soggiorno). Nel 2000 gli arrivi sono passati a 80 milioni e le presenze a 339 milioni, per poi raggiungere i 104 milioni di arrivi e i 387 milioni di presenze nel 2011 (ultimo dato disponibile).

Tra il 2000 e il 2011 si è quindi registrata una crescita del 29,6% in termini di arrivi e di un più basso 14,2% in termini di presenze, con una conseguente diminuzione della permanenza media da 4,2 notti a 3,7 notti.

Dando uno sguardo in particolare al mercato internazionale, dai 12,7 milioni di arrivi del 1970 si è passati ai 21,8 del 1990, ai 35 del 2000 e ai 47,5 milioni del 2011, con una crescita del 35,2% tra il 2000 e il 2011. Le presenze straniere hanno invece raggiunto nel 2011 i 176,5 milioni, aumentando del 25,7% rispetto al 2000. È evidente quindi come la componente internazionale sia cresciuta di più rispetto al movimento complessivo.

Se nella sua prima fase il turismo italiano si è caratterizzato per una forte prevalenza della domanda domestica (circa il 70%, con rilevanti variazioni da regione a regione), con l'apporto straniero, limitato alle città d'arte o ad alcune aree (la riviera adriatica o alcune località del mezzogiorno di "prima colonizzazione"), oggi il peso del turismo internazionale è molto più consistente. Nel 2011 la domanda straniera rappresentava infatti il 46% degli arrivi e delle presenze, mentre nel 1990 tale quota era del 37% (34% nel 1970).

Tra i principali mercati di provenienza della domanda internazionale, spiccano quelli di lingua tedesca, che generano ben il 26% degli arrivi stranieri complessivi; seguono gli altri Paesi europei, come Regno Unito, Francia, Olanda e Spagna (24% degli arrivi), gli Stati Uniti, con una quota del 10%, i Paesi dell'Est Europa (8%), ed infine Giappone e Cina (3% e 2%).

Si evidenzia che la composizione dei flussi stranieri in Italia riflette la generale evoluzione dei mercati (per esempio l'emergere di nuove mete balneari nel medio/lungo raggio) e implica comportamenti differenziati di consumo e dunque di utilizzo delle risorse. Esempi di consumo variano dalla componente di lingua tedesca, che frequenta soprattutto le località balneari e termali del nord Italia, rimpiazzata oggi in molte località dai turisti provenienti dall'est Europa, al turismo extraeuropeo, che predilige in particolare le città d'arte.

Per quanto riguarda invece la tipologia di alloggio, come in passato, nel 2010 (ultimo dato disponibile) si registra ancora una prevalenza della ricettività alberghiera, che concentra l'80,6% degli arrivi e il 66,3% delle presenze. Il dato sui pernottamenti rivela però una leggera crescita del

comparto extralberghiero negli ultimi anni: nel 2000 la percentuale di arrivi nel comparto alberghiero era infatti maggiore rispetto al dato corrente: 84.5%<sup>252</sup>.

Per quanto riguarda tematismi e la distribuzione geografico-territoriale, il turismo domestico si è qualificato negli anni come un turismo essenzialmente balneare e di prossimità, con la predominanza dei movimenti interregionali e il conseguente utilizzo del mezzo proprio per una mobilità di breve raggio, che vede spesso nella seconda casa la destinazione. Di conseguenza, il turismo domestico si è configurato generalmente come stanziale e soggetto a una forte stagionalità: ancora oggi, infatti, ben il 62% delle presenze si concentra nei soli mesi estivi.

Attualmente il turismo balneare domestico e internazionale, pur generando solo il 22% degli arrivi, è la tipologia di turismo che concentra la maggior parte delle presenze (31%). Si distinguono inoltre le città d'arte, con il 35% degli arrivi, ma solo il 25% delle presenze, e il turismo montano (10% degli arrivi e 13% delle presenze). Le città d'arte rappresentano comunque il prodotto preferito dalla domanda internazionale, generando ben il 46% degli arrivi e il 34% delle presenze straniere.

È l'Italia centro-settentrionale, dove tra l'altro l'offerta di servizi è più diffusa, ad ospitare la maggior parte del movimento turistico, mentre il Mezzogiorno detiene una quota pari al solo 18% degli arrivi totali e al 20% delle presenze<sup>253</sup>. Anche considerando la sola domanda internazionale, la situazione non cambia, con il Sud-Italia che concentra solo l'11% degli arrivi stranieri.

### *Caratteristiche principali dell'offerta turistica in Italia*<sup>254</sup>

L'offerta ricettiva in Italia conta 4,7 milioni di posti letto, corrispondenti a 78 posti letto per abitante, distribuiti in circa 150.000 esercizi. La componente alberghiera rappresenta il 48% dei posti letto e il 23% degli esercizi, mentre i campeggi, rappresentando poco meno del 2% del totale degli esercizi, registrano il 30% dei posti letto. Le quote restanti sono coperte altre forme di ricettività extralberghiera: sostanzialmente agriturismi, B&B e appartamenti in affitto.

Con riferimento agli esercizi alberghieri, il numero è leggermente calato rispetto al 2008, con oscillazioni comunque poco significative (-0,4%). I posti letto invece sono aumentati del 2,7%, secondo un trend abbastanza lineare. Ciò significa che la dimensione media degli hotel va crescendo: 66,4 letti nel 2011, contro i 64,5 del 2008; mentre, prima del 2000, i posti erano mediamente 50 per esercizio.

Interessante è la distribuzione **per stelle o categoria** delle strutture ricettive, distribuzione che pure è cambiata negli anni, con una forte accelerazione dal 2000 in poi.

---

<sup>252</sup> È doveroso precisare che il dato relativo al comparto extralberghiero rappresenta una sottostima dei flussi, dal momento che nelle statistiche ufficiali non sono registrate le presenze nelle seconde case.

<sup>253</sup> È doveroso anche qui precisare che il dato relativo al Mezzogiorno rappresenta probabilmente una sottostima, dato che non è rilevato il turismo di ritorno, che trova generalmente ospitalità in seconde case e presso parenti e amici.

<sup>254</sup> I dati contenuti in questa sezione si basano su elaborazioni a partire da dati ISTAT, riferiti al 2011.

Se la maggior parte (il 45%) degli alberghi in Italia sono di categoria 3 stelle, è da rilevare come sia in costante diminuzione la quota degli esercizi a 1 o 2 stelle, mentre aumentino quelli a 4 stelle. Questa evoluzione è legata alla presenza di strutture più grandi e diversamente organizzate, da un lato, e alla scomparsa o trasformazione in altri tipi di strutture ricettive ecc. degli esercizi più piccoli, a gestione familiare, e meno ricchi di servizi. Analogo discorso vale per i posti letto: gli esercizi di più elevata categoria hanno anche un più elevato numero di posti letto.

L'altro aspetto interessante riguarda la **localizzazione degli esercizi**, che contribuisce a definire le caratteristiche di gestione, il sistema in cui è inserita e in particolare la stagionalità della domanda turistica. Un terzo dei posti letto alberghieri italiani e la gran parte del patrimonio immobiliare legato al fenomeno delle seconde case sono collocati nelle località balneari (che del resto assorbono la quota maggiore della domanda), e spesso quindi hanno uso stagionale. Anche questo tipo di dati è rilevante nella discussione relativa a impatti di lungo periodo quali quelli dei cambiamenti climatici. Circa il 20% degli esercizi ricettivi è invece localizzato nei centri urbani. Per quanto riguarda la distribuzione territoriale a livello nazionale, si conferma la concentrazione dei posti letto nel Nord-Est e nelle regioni in cui esistono grandi centri urbani.

Accanto a questo trend del comparto ricettivo, si è assistito anche ad un arricchimento della tipologia di offerta, rappresentato dalla nascita di nuovi servizi e infrastrutture, parchi tematici e luoghi di intrattenimento, attrazioni culturali "rivalorizzate", itinerari alternativi e centri per il turismo d'affari. Un'offerta più ricca, spesso caratterizzata da una maggior sinergia tra operatori, privati e pubblici, contribuisce inoltre a rendere il prodotto turistico sempre più ricco e complesso, accrescendo le alternative e le opportunità di scelta per il consumatore e, almeno nelle intenzioni, la competitività dell'offerta stessa.

Si affermano nell'ultimo decennio prodotti come la crociera e il villaggio turistico, mentre la distribuzione territoriale segnala un'evoluzione verso le aree interne, con una conseguente riduzione della pressione sulle coste, più esposte anche agli impatti dei cambiamenti climatici. Nelle aree interne si assiste in particolare allo sviluppo di tipologie di turismo, quali quello culturale o verde, caratterizzate anche da un'offerta diffusa e da temi riconducibili al "paesaggio culturale": dall'enogastronomia, all'agriturismo, alla salute e bellezza, ecc.. Si evidenzia come tale andamento sia rilevante anche per i problemi di impatto del riscaldamento globale.

Per quanto riguarda le seconde case e l'edilizia di vacanza privata, lo sviluppo è stato particolarmente intenso negli anni Sessanta e Settanta, in particolare per alcune zone (si veda il caso delle regioni meridionali con i fenomeni di turismo di ritorno), e pare rallentato negli ultimi anni; questo fenomeno si è però accompagnato all'emergere di nuove forme (casa vacanza, B&B, time-sharing) che trovano ragion d'essere nel desiderio di diversificare la vacanza.

### *Il ruolo del turismo nell'economia italiana*<sup>255</sup>

---

<sup>255</sup> Per i dati contenuti in questa sezione, si veda: Becheri & Maggiore (2011).

L'evoluzione dei consumi internazionali e domestici si è tradotta nel 2011 in 97.063 milioni di Euro di spesa turistica in Italia (di cui il 31,8% di provenienza internazionale), pari al 9,9% dei consumi finali interni, che ha attivato un valore aggiunto totale (diretto, indiretto e indotto) di 104.223 milioni di Euro, il 7,4% dell'intero valore aggiunto nazionale, e un numero di unità di lavoro che nel 2011 si è confermato pari a circa 3,3 milioni (il 13,8% dell'occupazione totale nazionale). Le performance del comparto turistico vengono valutate anche in termini di ruolo che esso svolge negli scambi commerciali con l'estero, mettendo a confronto l'andamento della bilancia turistica con quello di alcune importanti voci della bilancia commerciale: risulta così che il saldo turistico riesce a coprire tutto il disavanzo agro-alimentare e il 30% della bilancia petrolifera.

Per quanto riguarda la spesa turistica totale, il confronto rispetto al 2007 conferma, a fronte di una crescita nominale di +2,1%, il persistere di una perdita reale pari a -5,3%. Su tale andamento ha influito soprattutto la spesa internazionale, che, nonostante le ottime performance del biennio 2011-2010, non ha ancora recuperato pienamente il calo del 7,8% registrato tra il 2007 e il 2009. Sempre in termini reali, la ricchezza prodotta dal turismo registra nel 2011 un +1,3% sul 2010, e un +0,9%, se confrontata con i risultati del 2007; una performance comunque migliore rispetto a quella del PIL nazionale (+0,7% sul 2010 e -0,9% sul 2007), anche rispetto a settori strategici del "made in Italy". Un esempio su tutti è il comparto del "Tessile e Abbigliamento", che, dopo la ripresa del 2010, ha subito lo scorso anno un calo di -5,5%, portando la perdita cumulata rispetto al 2007 a -17%. Con 104 miliardi di Euro di valore aggiunto attivato, inoltre, il settore turistico giunge a valere oltre quattro volte quello prodottosi nel comparto agro-alimentare e quasi cinque volte la ricchezza generata dal settore del "Tessile e Abbigliamento".

Si conferma dunque che il sistema produttivo che ruota intorno al turismo continua a reggere meglio di altri settori economici e mostra mediamente una buona capacità di reazione, trainata dal fatto che oramai la vacanza è considerata un bene al quale non si rinuncia, ma che può essere modulato in termini di periodo scelto (bassa stagione vs. alta stagione), di organizzazione (mezzo di trasporto, attività svolte, tipologia ricettiva) e durata: in definitiva in termini di paniere di spesa, oltre che di budget complessivo.

Più in dettaglio, il consolidamento dell'ultimo biennio è stato possibile grazie alla buona espansione del turismo intercontinentale, sia sui mercati asiatici, sia su quelli nord americani, che hanno reagito molto positivamente ai segnali di inversione del ciclo economico. Le buone performance nei Paesi centro e nord europei hanno inoltre favorito il ritorno dei turisti inglesi e di lingua tedesca, cui va aggiunta la migliorata capacità di penetrazione del nostro Paese su segmenti a reddito medio-alto, anche grazie alle molte iniziative che a livello locale hanno puntato a differenziare e innovare l'offerta. Sono state infatti soprattutto le destinazioni culturali, sia le città d'arte, che le proposte di integrazione paesaggio-cultura-territorio, a registrare i risultati più significativi. Del resto, anche le analisi più recenti confermano che la domanda di turismo culturale è mediamente meno elastica alla congiuntura economica. A conferma di ciò, nel 2011 la propensione media alla spesa degli stranieri si è stabilizzata intorno ai 99 Euro, contro una media di circa 85 Euro del biennio precedente. In lieve diminuzione invece la spesa pro capite degli italiani, che, secondo le stime, si sarebbe posizionata intorno ai 65 Euro, dopo gli andamenti

altalenanti degli anni precedenti. In termini di composizione settoriale del valore aggiunto turistico (diretto, indiretto e indotto), se rimane confermata l'importanza del comparto "Alberghi e ristoranti", che mantiene un peso intorno al 24,2%, molto significativa risulta la quota che si forma nei comparti non propriamente turistici. Si consolida, dunque, la tendenza già segnalata ad una progressiva minore concentrazione del valore aggiunto turistico totale generato nei comparti tradizionali, a favore di una più spinta trasversalità del fenomeno. Tale tendenza conferma una più significativa attivazione in particolare nel settore agro-alimentare, dove si concentra oltre il 7% del valore aggiunto turistico.

### *Il ruolo economico del turismo nelle regioni*<sup>256</sup>

Il 54,6% della spesa turistica si concentra in cinque regioni – Veneto, Lombardia, Toscana, Emilia-Romagna, Lazio – nelle quali peraltro la quota sale oltre il 68%, se si considera la sola componente internazionale. La distribuzione regionale della spesa turistica evidenzia alcune chiare differenziazioni territoriali, che l'incidenza dei consumi turistici in ciascuna regione sul totale della spesa delle famiglie residenti mette in luce. A fronte di un'incidenza media nazionale nel 2011 confermata al 10,1%, infatti, due regioni si caratterizzano per percentuali strutturalmente collocate oltre il 30%: Trentino Alto Adige, 32,4%, e Valle d'Aosta, 41,4%. Altre otto regioni si distinguono per pesi comunque superiori al 10% (nell'ordine: Liguria, Toscana, Sardegna, Emilia-Romagna, Veneto, Lazio, Abruzzo e Friuli Venezia Giulia). Solo Basilicata, Piemonte e Lombardia registrano una percentuale inferiore al 6%. In termini di peso del valore aggiunto turistico sul valore aggiunto totale, la tendenza nel 2011 è di un lieve recupero rispetto al biennio precedente, sia su scala nazionale, sia a livello regionale, seppure con intensità diverse.

Per quanto riguarda le regioni meridionali, il 2011 conferma in Sardegna (10,9%) e Abruzzo (8,8%) il rafforzamento dell'economia turistica rispetto al resto del sistema produttivo, con un peso del PIL turistico su quello totale al di sopra della media nazionale. Resta invece basso, anche se lievemente in crescita, il peso del fenomeno in particolare in Basilicata e Calabria (6% e 5,9% del PIL regionale): ciò dipende sia dalla debolezza produttiva di queste aree, ma ancor di più dalla difficoltà ad affermare la propria capacità di attrazione sui principali mercati di domanda, soprattutto internazionali.

Nel resto del Paese, l'incidenza (Figura 1.16) si traduce in quote superiori alla media in dieci regioni, nell'ordine: Valle d'Aosta e Trentino-Alto Adige, rispettivamente con 21,7% e 16,2%, Sardegna, 10,9%, Liguria, 10,5%, Toscana, 10,2%, Abruzzo, 8,8%, Emilia-Romagna, 8,7%, Veneto, 8,2%, Lazio, 7,8%, Marche, 7,5%. In fondo alla classifica troviamo Piemonte (4,6%) e Lombardia (5,2%).

---

<sup>256</sup> Per i dati contenuti in questa sezione, si veda Becheri & Maggiore (2011).

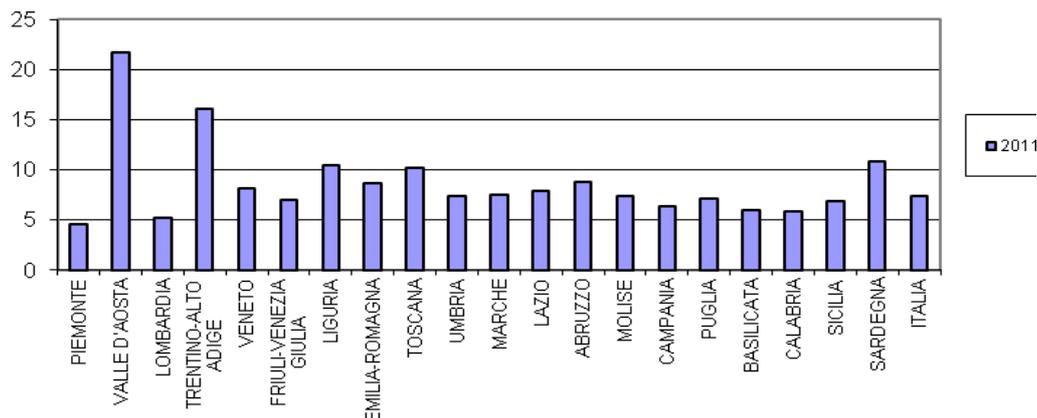


Figura 1.16: Incidenza valore aggiunto turistico (diretto, indiretto, indotto) sul totale per regione (Fonte: Becheri & Maggiore, 2011).

## Valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul settore turistico in Italia

### *Vulnerabilità del settore turistico italiano ai cambiamenti climatici: impatti diretti e indiretti*

I cambiamenti climatici producono e produrranno impatti sul settore turistico in moltissimi modi, con effetti diversi su diverse tipologie di vacanza (ad es. vento per la vela, neve per lo sci, temperature relativamente alte per prendere il sole sulla spiaggia). Due tra i settori maggiormente colpiti dai cambiamenti climatici sono quello delle attività all'aria aperta (tra cui il turismo balneare, di cui si è vista la preminenza nel nostro Paese), in ambito soprattutto costiero, e quello degli sport invernali, in ambito montano.

E' utile distinguere tra impatti diretti ed impatti indiretti. Gli impatti diretti hanno a che fare con il peso del clima tipico percepito delle varie destinazioni nelle scelte dei turisti; gli impatti indiretti derivano dall'influenza sul benessere dei turisti delle mutate condizioni fisiche della destinazione. In termini d'impatti diretti, è ormai ampiamente condiviso che il turismo sia influenzato dal clima e dai suoi mutamenti. Per molti turisti le condizioni atmosferiche della destinazione possono costituire la motivazione fondante del viaggio; altri programmano invece le loro vacanze nel periodo in cui si aspettano di trovare il tempo migliore; per altri turisti, invece, tutto ciò è irrilevante. Per quanto riguarda le coste del Mediterraneo, gli studi disponibili prevedono che l'impatto dei cambiamenti climatici si evidenzierà in futuro, soprattutto in una variazione della distribuzione dei turisti, piuttosto che nel volume del movimento turistico. E' probabile che i cambiamenti climatici provocheranno uno spostamento della scelta delle destinazioni turistiche verso maggiori latitudini e altitudini, mentre i turisti provenienti dai climi più temperati

trascorreranno sempre più tempo nei loro Paesi d'origine. L'area mediterranea sarà negativamente colpita da questo fenomeno, anche se meno delle regioni tropicali ed equatoriali. (Hamilton, Maddison e Tol, 2005). E' probabile inoltre il verificarsi di uno spostamento anche a livello stagionale, con un aumento dell'afflusso di turisti verso le coste nei mesi in cui la temperatura dell'aria e dell'acqua non saranno troppo calde, quindi dai mesi caldi estivi, verso i mesi primaverili e autunnali.

Gli impatti diretti saranno trattati più diffusamente nelle sottosezioni successive. Il seguito di questo paragrafo si concentrerà invece su una breve e forzatamente parziale rassegna degli impatti indiretti in Italia, rimandando ai rispettivi capitoli specifici di questo rapporto per una trattazione esaustiva dei temi toccati. Per il turismo montano, si rimanda alla casella di approfondimento e al relativo paragrafo in questo capitolo.

Per quanto riguarda il turismo costiero nel Mediterraneo, come d'altronde in altre aree, gli impatti attesi riguardano prima di tutto l'aggravarsi dei fenomeni erosivi, cioè la perdita di terreno per l'innalzamento del livello del mare e l'intensificazione delle mareggiate, e la conseguente scomparsa di aree costiere e d'infrastrutture rilevanti per le attività turistiche, come spiagge, porti turistici, ecc. Una seconda rilevante linea di impatti emerge dall'innalzamento delle temperature e, nello specifico, dalla maggiore frequenza di ondate di calore (heat waves) estive. La terza linea di cambiamento a causare impatti indiretti sul turismo costiero riguarda la desertificazione/diminuzione delle risorse idriche, che tendono a scarseggiare sia per la riduzione delle precipitazioni (con conseguente maggior rischio anche del verificarsi di incendi), prevista soprattutto nella stagione di maggiore afflusso turistico, che per l'intrusione di acque saline nelle riserve idriche, tra l'altro già sotto pressione per l'intensa antropizzazione delle zone costiere. Questo tema è particolarmente rilevante visto il già forte peso delle attività turistiche sulle risorse idriche (Amelung e Moreno, 2009). Analoghi problemi di crescente competizione tra usi alternativi potrebbero presentarsi per l'energia, con conseguenti maggiori costi per i servizi turistici.

Infine, l'innalzamento della temperatura del Mar Mediterraneo potrebbe favorire l'esplosione demografica di organismi quali alghe e meduse, che mal si conciliano con il turismo, e aumentare l'incidenza di eventi estremi, come tempeste, alluvioni e venti forti.

Nel sistema costiero italiano, i cambiamenti climatici non rappresentano dei veri e propri rischi in sé, ma tendono ad accentuare ed amplificare, con effetti non prevedibili, i rischi già esistenti derivanti dall'urbanizzazione, dalla cementificazione, dalla produzione industriale, dalla pesca, dai trasporti marittimi, ecc., oltre che ovviamente dal turismo.

La pressione antropica causa un notevole aumento della vulnerabilità e della sensibilità agli impatti dei cambiamenti climatici delle coste italiane, soprattutto per quanto riguarda l'innalzamento del livello del mare e l'aumento dell'incidenza degli eventi estremi, riducendo drasticamente la capacità di resilienza naturale degli ambienti costieri. Se si considera che il litorale è la porzione di territorio italiano che ha subito negli ultimi 50 anni le maggiori trasformazioni dovute all'intervento umano, che circa il 60% della popolazione italiana vive sulla fascia costiera (nei comuni litoranei la densità della popolazione è oltre i 380 abitanti per kmq, rispetto alla media

nazionale di 200 abitanti per kmq (WWF, 2012)) e che l'Italia è uno dei Paesi in cui l'uso turistico della fascia costiera è più sviluppato, si può facilmente capire come le coste italiane siano tra le zone più sensibili e vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici. Un esempio sono i danni dovuti all'aggravarsi dei fenomeni erosivi, che interessano oltre il 42% dei litorali italiani, già negli anni 2000, e, per la maggior parte, le spiagge adatte alla balneabilità (Pietro et al., 2006).

Per quanto riguarda invece le isole italiane (se ne contano circa 160 di dimensioni maggiori dei 10 kmq), soprattutto del Sud Italia, caratterizzate da scarse risorse idriche, ma da significativo sviluppo turistico, l'effetto maggiore dei cambiamenti climatici si tradurrà plausibilmente nella scarsità di acqua. In queste isole, inoltre, la brevissima durata del periodo di picco della domanda turistica ha, in molti casi, impedito lo sviluppo di soluzioni che necessitano di investimenti elevati, come ad esempio lo sviluppo di impianti per la desalinizzazione dell'acqua o di serbatoi per la raccolta delle acque.

## *Gli approcci alla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul turismo*

### *L'approccio Tourist Climate Index*

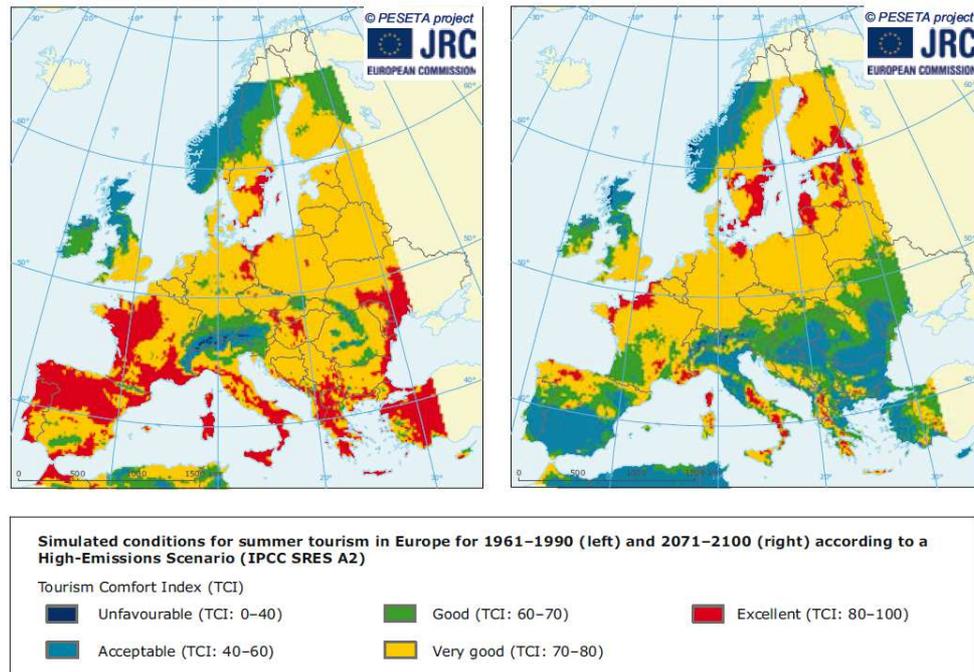
Il *Tourist Climate Index* (TCI) si deve all'applicazione al settore turistico da parte di Hatch (1984, 1988) e Mieczkowski (1985) della ricerca sulla relazione tra condizioni ambientali e benessere fisico degli individui. L'idea principale è la costruzione di un indice che valuti le diverse località in relazione al livello di confort che forniscono a chi le frequenta, tarato sulla base delle attività svolte dagli individui (quindi un TCI per il turismo balneare estivo darà risultati diversi da un TCI per il turismo alpino). Quest'approccio ha il vantaggio di tener conto di diversi aspetti del clima oltre alla temperatura (tra cui umidità e velocità del vento). Il suo principale svantaggio è che, a differenza dell'approccio HTM, non si basa direttamente sul comportamento dei turisti.

Amelung e Moreno (2009), nell'ambito del progetto europeo PESETA<sup>257</sup>, riscontrano comunque un buon grado di correlazione tra il TCI e i flussi turistici in Europa. Altro elemento critico per le proiezioni degli impatti dei cambiamenti climatici è la disaggregazione e la molteplicità delle variabili climatiche incluse nell'indice. Amelung e Moreno, sulla base dei modelli climatici utilizzati nel progetto PESETA, riescono tuttavia a ottenere un'immagine abbastanza accurata della situazione del TCI in Europa a fine XXI secolo.<sup>258</sup> I risultati per il turismo estivo sono riportati nella figura seguente. La Figura 2.16 mostra come da una situazione di tradizionale ottimalità del territorio costiero italiano dal punto di vista del comfort del turista, i cambiamenti climatici spostino verso il nord Europa l'area favorita dalle migliori condizioni per lo svolgersi delle attività turistiche estive, lasciando aree attualmente a forte vocazione turistica, quali le coste adriatiche, toscane e laziali, in condizioni a malapena accettabili.

---

<sup>257</sup> Progetto PESETA: [http://peseta.jrc.ec.europa.eu/peseta1\\_results.html](http://peseta.jrc.ec.europa.eu/peseta1_results.html).

<sup>258</sup> Si rimanda al citato studio del progetto PESETA per la descrizione della metodologia utilizzata: <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Tourism.html>.



**Figura 2.16:** Tourist Comfort Index in Europa. Confronto situazione 1961–1990 e 2071–2100 in presenza di cambiamenti climatici (Fonte: Progetto PESETA).

Prendendo in considerazione risultati analoghi per l'autunno e la primavera, lo studio PESETA suggerisce che una soluzione parziale potrebbe essere lo spostamento della stagione turistica verso mesi in cui le condizioni climatiche rimangono moderate anche in presenza di cambiamenti climatici. I mesi utili in questa prospettiva tendono a diminuire però nell'Europa mediterranea e ad aumentare nell'Europa settentrionale. Si noti che le differenze tra i modelli climatici utilizzati e l'inevitabile incertezza legata a tali proiezioni possono implicare indicazioni contraddittorie a livello locale a seconda del modello climatico e dello scenario SRES utilizzati.

### *L'Hamburg Tourism Model*

La maggior parte degli studi d'impatto si focalizza su particolari Paesi o su determinate tipologie di turismo, mentre un'analisi a livello globale è spesso trascurata così com'è ignorato l'effetto di sostituzione tra i diversi Paesi. Inoltre, il turismo interno e quello internazionale sono spesso raggruppati in un'unica categoria, non tenendo conto delle differenze comportamentali e degli effetti di sostituzione che possono crearsi. *L'Hamburg Tourism Model* (HTM) colma alcune delle lacune sopra citate (purtroppo, visto che considera flussi aggregati, non è in grado d'incorporare la complementarità tra diversi tipi di turismo) impiegando dati di 207 diverse regioni e Paesi, e utilizzando un programma di simulazione che riproduce i flussi tra le 207 destinazioni e i Paesi di origine. Scenari di crescita, economica e della popolazione, e di cambiamenti climatici sono stati

usati per simulare come i flussi turistici potranno cambiare nel corso del XXI secolo. I risultati del modello di simulazione sono stati presentati per la prima volta nel 2005 (Hamilton et al., 2005). Altri sviluppi hanno portato all'inclusione del turismo domestico, della spesa turistica e della durata del soggiorno (Bigano et al., 2007a).<sup>259</sup>

L'*Hamburg Tourism Model* simula sia la domanda turistica generata dai diversi Paesi, sia la domanda turistica verso le diverse destinazioni. Il modello stima la domanda totale di viaggi usando dati relativi alla popolazione e al reddito pro capite di ciascun Paese, e quindi la proporzione tra turisti domestici e internazionali, sulla base del reddito pro capite, della superficie del territorio, della lunghezza delle coste e della temperatura. Il passaggio successivo è quello di individuare le mete del turismo internazionale. A tal fine, si usa una matrice di flussi turistici bilaterali tra tutti i Paesi e tutte le regioni prese in considerazione, calibrata, così come le equazioni usate nella fase precedente, su dati 1995.<sup>260</sup>

Il passaggio finale consiste poi nel sommare gli arrivi turistici di ciascun Paese per stimare la spesa e la permanenza media.

Le proiezioni sui flussi turistici lungo l'arco del XXI secolo sono state realizzate sulla base di simulazioni relative all'andamento della popolazione e del reddito, in assenza e in presenza di cambiamenti climatici.<sup>261</sup> Reddito e popolazione influenzano sia offerta, che domanda turistica. Dal lato dell'offerta, tali simulazioni si traducono in variazioni della capacità attrattiva delle destinazioni turistiche. Sul fronte della domanda, tali scenari influenzano, invece, il numero totale di turisti per Paese d'origine. Il modello simula i flussi turistici a intervalli di cinque anni lungo l'arco del secolo, ma può anche simulare periodi passati, così da rendere possibile una verifica della validità dei risultati attraverso un confronto tra i dati realmente osservati e i dati stimati attraverso le simulazioni. Anche escludendo i cambiamenti climatici, il modello prevede che ogni Paese, all'aumentare della popolazione, produca maggior turismo "in uscita" e, con il progredire anche della ricchezza, veda crescere sia il turismo "in uscita", che quello "in entrata". Poiché la crescita economica globale futura non sarà uniforme, tali cambiamenti causeranno, già di per sé, variazioni nelle quote di mercato dei singoli Paesi. Il modello stima, infatti, che la quota di mercato relativa a tutti i tipi di turismo (domestico e internazionale), non solo dei Paesi europei, ma anche di Giappone, Australia, Nuova Zelanda, Usa e Canada – cioè dei Paesi oggi leader del mercato

---

<sup>259</sup> La presente descrizione del modello HTM e dei suoi risultati globali è basata su Bigano et al. (2007b).

<sup>260</sup> Nonostante il database sia ormai datato, e quindi non catturi recenti mutamenti nei gusti e nelle culture turistiche, la sua copertura completa sia dei flussi turistici internazionali, che delle presenze domestiche nei 207 Paesi oggetto d'indagine, resta un importante punto di forza del modello.

<sup>261</sup> Popolazione e crescita del reddito pro capite sono ricavati dall'implementazione di scenari presi dal Rapporto speciale sulle emissioni (SRES) dell'IPCC (Nakicenovic e Swart, 2001) e implementati nella versione 2.2 del modello di valutazione integrata dei cambiamenti su scala globale Image IMAGE Team 2001 (<http://themasites.pbl.nl/tridion/en/themasites/image/>) della Netherlands Environmental Assessment Agency. Le simulazioni originali SRES sono state condotte per 17 regioni e il tasso di crescita dei Paesi di ciascuna regione è stato considerato pari al tasso di crescita della loro area di riferimento. Le simulazioni dei cambiamenti climatici sono state invece dedotte dal modello Fund (<http://www.fund-model.org/>, Tol, 1999) e dal modello Cosmic (Schlesinger and Williams, 1998).

turistico – diminuirà gradualmente nel corso del XXI secolo, mentre, nello stesso periodo, è previsto un incremento della quota di mercato dei Paesi asiatici.

Il modello è stato poi usato per esaminare gli effetti di quattro scenari di cambiamento climatico. A titolo di esempio discuteremo brevemente i risultati dello scenario A1B, cioè quello con la minor crescita della popolazione, ma caratterizzato da una forte crescita economica globale.<sup>262</sup> Si rimanda a Bigano et al. (2007a, 2007b) per i risultati globali. Sintetizzando al massimo, i Paesi del Mediterraneo, Italia compresa, risulteranno penalizzati, anche se meno di quelli di aree già al momento molto calde, come Africa e Medio Oriente; mentre Paesi il cui clima al momento non è visto come una delle principali attrattive, come Canada e Russia, attrarranno in proporzione molti più turisti.

Nelle sezioni che seguono ci si concentrerà sulle implicazioni per l'Italia.

### ***Impatti sui flussi turistici: l'evoluzione del ruolo dell'Italia nell'ambito del turismo mondiale in presenza di cambiamenti climatici, secondo il modello HTM***

Nel caso dell'Italia, senza impatti climatici, si raggiunge il massimo del contributo dei turisti italiani alle partenze mondiali nella prima decade del secolo XXI, con circa il 3,2% del totale di tali partenze. Nelle decadi successive, il contributo dei turisti italiani alle partenze mondiali subisce una brusca discesa, fino a raggiungere, negli ultimi decenni del secolo, poco più dell'1% delle partenze globali. Anche in presenza di cambiamenti climatici, il trend complessivo non muta: le partenze raggiungono il loro picco nello stesso punto, con il 3,2% delle partenze mondiali. La quota di partenze mondiali decresce rapidamente e, per il 2050, l'Italia ne detiene solo l'1%, scendendo a fine secolo ad un modestissimo 0,2%.

La quota di arrivi internazionali in Italia, invece, decresce costantemente lungo tutto il XXI secolo. Tale diminuzione è rapida nella prima metà del secolo, per poi rallentare nella seconda metà. Nell'anno base, il 1995, la quota di mercato è 5,6%, ma, entro il 2100, scende a poco più del 2%, in caso di assenza di cambiamenti climatici, e appena sotto il 2%, in presenza di cambiamenti climatici. Entro il 2100, comunque, l'Italia raggiunge la tredicesima posizione nella graduatoria mondiale, superata da Paesi quali la Russia e il Canada. Va però sempre ricordato che si tratta di impatti relativi e che, in termini assoluti, il numero di arrivi triplica entro la fine del secolo.

### ***Le implicazioni per i distretti turistici italiani: il downscaling del modello HTM alle province italiane***

I dati disponibili non consentono una simulazione completa a livello regionale. Tuttavia un'estensione regionale semplificata del modello è stata prodotta per Regno Unito, Germania e

---

<sup>262</sup> Tale scelta può apparire non particolarmente realistica per l'Europa in questi tempi di crisi, ma cattura bene la forte espansione dei Paesi emergenti; inoltre in un'ottica di lunghissimo periodo la portata dell'attuale crisi è destinata ad essere ridimensionata.

Irlanda (Hamilton e Tol, 2007)<sup>263</sup> e per l'Italia. Queste simulazioni sono state derivate applicando una metodologia di downscaling dei risultati del modello HTM a livello nazionale, che ripartisce il valore nazionale di arrivi internazionali e di turisti domestici tra le varie giurisdizioni sub-nazionali, in maniera coerente con le ipotesi del modello. In particolare, le simulazioni per l'Italia sono state utilizzate per ricavare le proiezioni relative ai flussi turistici nelle province alpine nell'ambito del progetto ClimChAlp.<sup>264</sup> Tale esercizio ha reso possibile l'applicazione del downscaling all'intero territorio nazionale a livello regionale e provinciale, come di seguito descritto.

Per ragioni di economia di spazio, saranno presentati i risultati regionali, mentre quelli provinciali saranno limitati a quelli della Lombardia e del Lazio.

La Tabella 1.16 illustra le simulazioni a livello regionale (media degli scenari SRES 4AR: A1, A2, B1 e B2) per le presenze turistiche. La tabella evidenzia impatti di magnitudine crescente nel tempo, differenziati per regione e di segno opposto tra turisti domestici ed internazionali. In particolare, una quota crescente di turisti stranieri tenderà ad abbandonare l'Italia per destinazioni meno calde, mentre una quota crescente di turisti italiani tenderà a scegliere l'Italia invece di destinazioni più calde. Il saldo è in genere negativo, ma a livello regionale e provinciale questi due effetti si distribuiscono in ragione della rispettiva quota di turisti internazionali e domestici sul totale nazionale.

E' quindi possibile che una regione come il Molise, al momento non particolarmente popolare tra i turisti stranieri e la cui orografia determina temperature medie relativamente basse, possa ritrovarsi con una moderata crescita percentuale delle presenze turistiche, o che una regione con caratteristiche simili la Basilicata veda solo una minuscola riduzione percentuale delle presenze, rispetto al caso di assenza di cambiamenti climatici. Questi due fattori interagiscono in tutte le regioni e le province: destinazioni internazionalmente note, per quanto relativamente fresche, come il Trentino-Alto Adige, subiscono un calo significativo, mentre regioni simili dal punto di vista climatico, come Calabria e Sicilia, ma con diversa popolarità internazionale, subiscono impatti molto diversi, con la seconda, la più colpita a livello nazionale, quattro volte più danneggiata della prima. Dopo la Sicilia, le regioni più colpite sono, in ordine di gravità degli impatti, Lazio, Toscana ed Umbria.

	2020			2030			2050		
	Stranieri	Italiani	Totale	Stranieri	Italiani	Totale	Stranieri	Italiani	Totale
Piemonte	-18.0	4.0	-8.4	-21.5	5.9	-11.1	-21.9	10.1	-12.6
Valle d'Aosta	-16.2	6.3	-1.9	-18.9	9.5	-2.5	-17.5	16.7	-1.1

<sup>263</sup> Si rimanda a quest'articolo per una descrizione della metodologia utilizzata per il downscaling. Disponibile su <http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/regtourwp.pdf>.

<sup>264</sup> Progetto ClimChAlp: <http://www.climchalp.org/>.

Lombardia	-18.4	3.5	-9.5	-22.1	5.2	-12.5	-23.1	8.8	-14.6
Trentino-Alto Adige	-17.3	4.8	-10.3	-20.5	7.2	-13.0	-20.2	12.4	-13.6
Friuli-Venezia Giulia	-19.2	2.5	-10.8	-23.3	3.6	-14.3	-25.1	5.8	-17.3
Liguria	-19.8	1.7	-6.8	-24.2	2.4	-9.6	-26.7	3.6	-13.1
Emilia-Romagna	-18.8	3.0	-5.3	-22.7	4.5	-7.5	-24.1	7.5	-9.5
Toscana	-19.2	2.7	-11.5	-23.2	4.0	-15.0	-25.0	6.5	-17.9
Umbria	-19.6	1.9	-10.7	-23.9	2.8	-14.2	-26.2	4.3	-17.7
Marche	-19.4	2.2	-3.8	-23.5	3.2	-5.5	-25.5	5.2	-7.7
Lazio	-18.8	2.8	-12.1	-22.7	4.2	-15.6	-24.2	6.9	-18.1
Abruzzo	-18.4	3.7	-1.2	-22.1	5.5	-1.8	-23.0	9.3	-1.9
Molise	-17.3	4.9	1.4	-20.5	7.4	2.0	-20.3	12.8	4.2
Campania	-20.2	1.5	-9.8	-24.7	2.2	-13.4	-27.7	3.2	-17.5
Puglia	-20.3	1.1	-2.6	-24.9	1.5	-4.0	-27.9	1.9	-6.5
Basilicata	-19.8	2.3	-0.3	-24.1	3.3	-0.6	-26.6	5.3	-1.0
Calabria	-20.0	1.6	-1.9	-24.3	2.3	-3.0	-26.9	3.5	-4.8
Sicilia	-20.9	0.4	-10.7	-25.7	0.5	-14.6	-29.5	0.1	-19.6
Sardegna	-19.8	1.8	-3.8	-24.1	2.6	-5.6	-26.5	3.9	-8.2

**Tabella 1.16:** Variazione presenze turistiche in caso di cambiamenti climatici rispetto all'assenza degli stessi nelle regioni italiane secondo il modello HTM, media scenari A1, A2, B1, B2.

E' interessante anche entrare nel dettaglio delle province. Consideriamo, il caso della **Lombardia** e quello del **Lazio**, illustrati dalla Tabella 2.16. Nel caso del Lazio, spicca il caso di Roma, ottava destinazione mondiale nel 2006 secondo Euromonitor,<sup>265</sup> che determina in misura preponderante la tendenza negativa regionale, mentre la provincia di Rieti, dal territorio più elevato e molto meno popolare fuori dai confini nazionali, subisce un impatto molto più moderato. In Lombardia, seppure in misura minore, una situazione simile contrappone il caso di Milano e Brescia (nel cui territorio si trova la sponda occidentale del lago di Garda, meta d'elezione del turismo centro-europeo) a Bergamo e Sondrio.

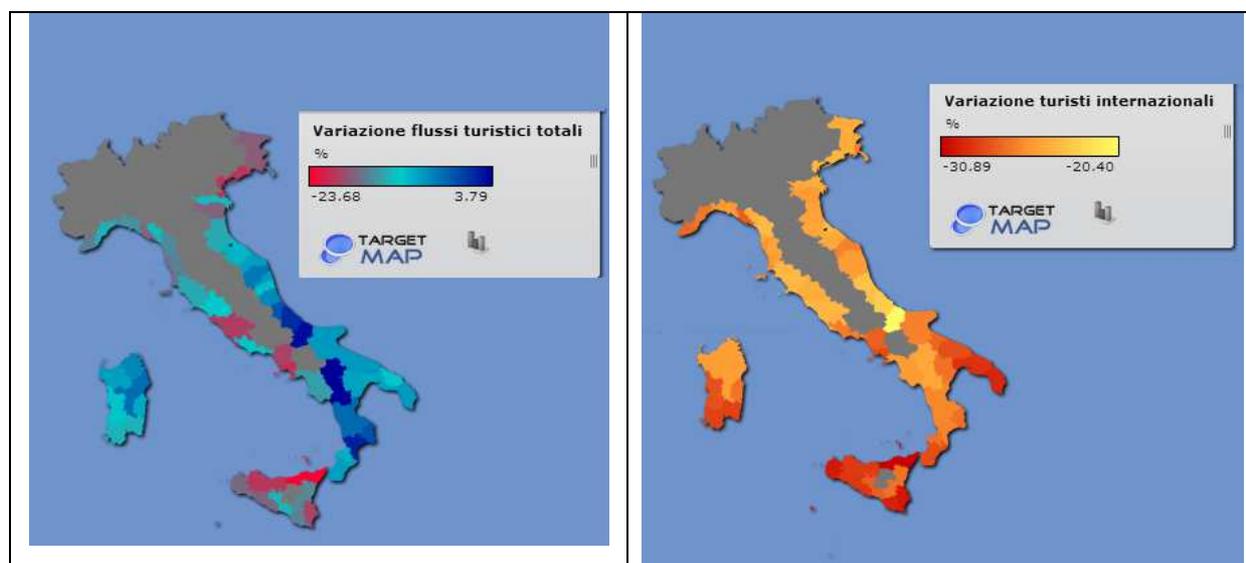
	2020			2030			2050		
	Stranieri	Italiani	Totale	Stranieri	Italiani	Totale	Stranieri	Italiani	Totale
Viterbo	-19.0	2.8	-5.4	-23.0	4.1	-7.6	-24.6	6.7	-9.8
Rieti	-18.9	3.0	-2.4	-22.7	4.4	-3.6	-24.2	7.2	-4.8
Roma	-18.8	3.0	-13.5	-22.7	4.4	-17.2	-24.1	7.3	-19.4
Latina	-19.8	1.7	-4.7	-24.1	2.5	-6.8	-26.6	3.8	-9.7
Frosinone	-18.8	3.0	-7.0	-22.7	4.5	-9.5	-24.0	7.4	-11.8
<b>Lazio</b>	<b>-18.8</b>	<b>2.8</b>	<b>-12.1</b>	<b>-22.7</b>	<b>4.2</b>	<b>-15.6</b>	<b>-24.2</b>	<b>6.9</b>	<b>-18.1</b>

<sup>265</sup> <http://blog.euromonitor.com/2007/10/top-150-city-destinations-london-leads-the-way.html>.

Varese	-18.3	3.7	-6.6	-21.9	5.4	-8.9	-22.8	9.2	-10.6
Como	-18.1	3.9	-14.6	-21.6	5.9	-18.0	-22.2	10.0	-19.2
Lecco	-18.1	3.9	-4.3	-21.6	5.9	-6.0	-22.2	10.0	-7.1
Sondrio	-17.7	4.4	-4.2	-21.0	6.7	-5.7	-21.2	11.5	-6.3
Milano	-18.7	3.2	-9.5	-22.5	4.7	-12.5	-23.7	7.9	-14.9
Bergamo	-18.2	3.7	-2.6	-21.8	5.6	-3.8	-22.6	9.5	-4.5
Brescia	-18.2	3.8	-12.0	-21.8	5.6	-15.3	-22.5	9.6	-16.9
Pavia	-18.8	3.0	-3.9	-22.6	4.5	-5.6	-24.0	7.5	-7.3
Lodi	-19.0	2.7	-1.7	-23.0	4.0	-2.6	-24.6	6.6	-3.6
Cremona	-19.1	2.6	-10.6	-23.1	3.8	-14.0	-24.9	6.3	-16.8
<b>Lombardia</b>	<b>-18.4</b>	<b>3.5</b>	<b>-9.5</b>	<b>-22.1</b>	<b>5.2</b>	<b>-12.5</b>	<b>-23.1</b>	<b>8.8</b>	<b>-14.6</b>

*Tabella 2.16: Variazione presenze turistiche in caso di cambiamenti climatici rispetto all'assenza degli stessi nelle province del Lazio e Lombardia secondo il modello HTM, media scenari A1, A2, B1, B2.*

Come anticipato, per ragioni di spazio non è possibile coprire tutte le province italiane, ma, data la rilevanza del turismo balneare in Italia, è bene guardare anche alle province costiere, dove il fenomeno sopra descritto appare particolarmente evidente. La situazione è riassunta in Figura 3.16. Le province costiere con maggiore vocazione turistica internazionale risultano particolarmente penalizzate dal calo generalizzato del turismo internazionale, perché quello domestico non riesce a compensarlo (ad es. coste siciliane, campane e province di Venezia e Roma, dove la componente culturale è però prevalente). D'altro canto, nelle province al momento meno frequentate dal turismo internazionale, la crescita del turismo domestico riuscirà a tamponare e, in qualche caso, a compensare la relativa minore affluenza di stranieri. Nei casi peggiori, la perdita di quota di mercato potrà essere importante: più un quinto di turisti totali e quasi due quinti di turisti internazionali in meno rispetto ad una situazione di clima immutato.



**Figura 3.16:** *Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici totali (sx) e internazionali (dx) nelle province costiere italiane in presenza di cambiamenti climatici (Fonte: elaborazione degli autori su proiezioni dell'Hamburg Tourism Model, mappa creata con TargetMap).*

Infine, a livello geograficamente ancora più disaggregato, ma con un approccio simile a quello del modello HTM (nel basare le proiezioni degli impatti su relazioni statistiche tra flussi turistici e temperatura), Cai et al. (2011) guardano all'impatto dei cambiamenti climatici su turisti domestici e internazionali in 254 comuni toscani. Cai et al. riscontrano effetti in generale negativi, ma differenziati a seconda delle aree geografiche e più intensi per i turisti domestici, che per quelli internazionali. Cai et al. interpretano questo risultato imputando la maggiore rigidità della domanda internazionale a motivazioni del viaggio meno legate al clima (ad es. l'interesse per le città d'arte), ma anche al minore accesso a informazioni accurate sulle reali condizioni della destinazione e alla minore flessibilità nell'organizzazione del viaggio. La maggiore differenza rispetto all'approccio HTM è l'impossibilità di tenere in conto delle complesse relazioni tra tutte le varie possibili destinazioni, e quindi dell'incremento di turisti domestici dovuto al fatto che destinazioni internazionali altrimenti privilegiate da questi ultimi diventano meno attraenti della propria nazione di residenza a causa dell'incremento delle temperature.

### **Impatti sul Turismo Invernale**

Secondo le previsioni dei principali modelli climatici, l'ulteriore riscaldamento del clima previsto per i prossimi decenni avrà importanti conseguenze per il settore turistico di montagna (Agrawala, 2007) e specialmente per il turismo invernale, la cui appetibilità dipende strettamente dalla presenza di una copertura nevosa stabile e durevole che permetta lo svolgimento degli sport di neve (Bosello et al., 2007).

Rispetto ad altre aree del pianeta, le Alpi sono fortemente interessate dal fenomeno del riscaldamento globale. Per quanto riguarda quindi la stagione invernale, è ipotizzabile che il turismo sciistico si concentri sui comprensori migliori e più adatti.

Le analisi sui cambiamenti climatici e sul turismo invernale in Italia si concentrano sulla relazione tra aumento di temperatura e copertura nevosa. Diversi studi concordano nel prevedere che, assieme a una diminuzione delle precipitazioni nevose, nei prossimi decenni ci sarà anche una risalita sia del limite delle nevicate, sia della Linea di Affidabilità della Neve (LAN), quell'altitudine cioè che garantisce spessore e durata sufficienti dell'innevamento stagionale. Le due principali ricerche in materia (Agrawala, 2007; EURAC 2007) si rifanno alla cosiddetta "regola dei 100 giorni" (Witmer, 1986). Questa stabilisce che il normale svolgimento di una stagione sciistica è possibile se vi è una copertura nevosa garantita di almeno 30 cm, per almeno 100 giorni. Studi condotti nelle regioni alpine europee hanno stimato che la LAN potrebbe elevarsi di 150 m per ogni °C di aumento della temperatura (Föhn 1990, Haeberli e Beniston 1998).

Ciò si ripercuoterebbe seriamente sulla praticabilità delle piste e degli impianti sciistici, facendo sì che la maggior parte dei comprensori sciistici italiani abbiano la necessità di ricorrere sempre di più all'innevamento artificiale per poter soddisfare i requisiti minimi per il funzionamento degli impianti (Progetto Kyoto Lombardia).

Secondo una ricerca dell'OCSE (Abegg et al., 2007), per il 91% degli attuali comprensori sciistici nelle Alpi, la presenza della neve naturale (senza innevamento artificiale) può essere considerata certa. Con un aumento medio di +1°C questo valore si abbasserebbe al 75%. Con +2°C la certezza riguarderebbe solo il 61 % dei comprensori, con +4°C solo il 30%.

In base a tali parametri, già in caso di una variazione moderata di temperatura (+1°C e LAN a 1.650 s.l.m.), le zone alpine italiane sarebbero fortemente colpite. In Friuli Venezia Giulia tutte le stazioni sciistiche si troverebbero al di sotto della LAN; in Lombardia, Trentino e Piemonte, rispettivamente il 33%, 32% e il 26 % delle stazioni sciistiche finirebbero al di sotto della LAN. Un ulteriore incremento di temperatura (+2°C, e LAN a 1.800 m) colpirebbe l'Alto Adige e il Veneto (dove rispettivamente il 50% e il 33% delle rimanenti stazioni sciistiche con neve affidabile verrebbe a trovarsi al di sotto della LAN). In caso di un aumento di temperatura di 4°C (LAN a 2.100 m), le stazioni sciistiche al di sopra della LAN in tutto l'arco alpino italiano si ridurrebbero a solo il 18% di quelle attualmente operative.

Allo stato attuale, non si dispone di informazioni sufficientemente dettagliate per tradurre in modo preciso in termini economici l'impatto negativo sul solo segmento turistico invernale. Si può comunque tentare di indicare un possibile ordine di grandezza partendo dalle poche informazioni sul fatturato di alcune delle principali stazioni sciistiche per regione (Zanetti et al., 2005) e applicandovi le riduzioni desumibili dalla Tabella 3.16 (per gli impatti economici si veda invece la Tabella 4.16).

Altitudine LAN a	> 1500 (situazione attuale)	> 1650 (+1°C)	> 1800 (+2°C)	> 2100 (+4°C)
Valle d'Aosta	22	20	16	5
Piemonte	30	22	16	6
Lombardia	21	14	11	6
Veneto	14	12	8	2
Trentino	25	17	14	4
Alto Adige	54	46	23	7
Friuli Venezia Giulia	1	0	0	0
Italia	167	131	88	30

**Tabella 3.16:** Stazioni sciistiche delle Alpi Italiane con copertura nevosa affidabile a seconda di diversi scenari di aumento della temperatura (Fonte: EURAC, 2007).

La regione più colpita risulta essere l'Alto Adige, dato l'alto fatturato prodotto dal turismo invernale. Perdite relativamente più contenute in valore assoluto si materializzano in Friuli Venezia Giulia, in cui però tutti gli impianti esistenti sarebbero costretti a cessare l'attività anche per moderati aumenti di temperatura, e in Valle d'Aosta, relativamente meno esposta vista l'elevata altitudine media dei suoi impianti.

Per quanto riguarda invece il turismo estivo alpino, gli scenari climatici possono avere sia un impatto negativo che positivo.

L'impatto negativo può essere causato dai cambiamenti del paesaggio (ad es. spostamento delle zone vegetative, diminuzione della biodiversità), dal ritiro dei ghiacciai e scomparsa del permafrost (ad es. degrado visivo del paesaggio, possibilità di caduta massi e rocce), dalla siccità e scarsità d'acqua (problemi di approvvigionamento idrico), oltre che dal possibile aumento dei rischi naturali (sia per quanto riguarda la loro frequenza, che l'intensità). I grandi laghi sono un'importante attrazione turistica per la possibilità di praticare la balneazione, gli sport acquatici e la navigazione. Un aumento della temperatura delle acque può creare condizioni favorevoli a episodi di "algal bloom", o esplosioni algali, che compromettono la qualità delle acque lacustri, e influire negativamente sui flussi turistici (Ambrosetti et al., 2006; Mosello et al., 2010).

Anche la prevista diminuzione del runoff estivo potrebbe ridurre sostanzialmente i livelli dei laghi navigabili, compromettendo la loro navigabilità con conseguenze nel settore turistico. Infine, l'influenza dei cambiamenti climatici sui rischi idrogeologici e glaciali in zone montane si configura come un altro elemento di dissesto, in grado di aumentare lo stress su strutture abitative, di trasporto e turistiche, oltre che il rischio per l'integrità delle popolazioni montane, e rappresentare una fonte di perdite economiche per il settore turistico. In contrapposizione, il prolungamento della stagione estiva e il verificarsi di temperature più miti nella stagione primaverile potrebbero aumentare l'interesse turistico delle destinazioni montane a svantaggio di altre destinazioni, meno confortevoli per il turismo estivo a causa delle alte temperature (Isoard et al., 2008).

	> 1650 (+1°C)	> 1800 (+2°C)	> 2100 (+4°C)
Valle d'Aosta	4.706	13.977	39.861
Piemonte	10.666	18.667	32
Lombardia	Na	Na	Na
Veneto	Na	Na	Na
Trentino	Na	Na	Na
Alto Adige	23.762	92.081	139.61
Friuli Venezia Giulia	13.625	13.625	13.625

**Tabella 4.16:** Perdita economica diretta (milioni di Euro) derivante dall'uscita dal mercato delle stazioni sciistiche prive di copertura nevosa affidabile (Fonte: Elaborazione CMCC da dati EURAC (2007) e Zanetti et al. (2005)).

Potrebbero però anche esserci effetti positivi, legati al miglioramento delle condizioni climatiche e al prolungamento della stagione estiva. Inoltre, potrebbe esserci un vantaggio in termini competitivi, poiché più turisti potrebbero scegliere le zone montuose a discapito di quelle costiere, maggiormente impattate dai cambiamenti climatici.

Tuttavia, nelle ultime decadi, non solo la domanda di turismo alpino è diminuita, ma anche la durata media dei soggiorni si è ridotta sostanzialmente. Molte destinazioni hanno raggiunto il loro stadio di maturità e il mercato sembra saturo. La globalizzazione ha aumentato esponenzialmente il numero dei competitori di mercato e ha modificato il comportamento dei viaggiatori. I costi imputabili al consumo di energia stanno corrodendo progressivamente i margini di guadagno per il settore alberghiero e dei trasporti. La disponibilità e il costo dell'acqua appaiono sempre di più come ostacoli alla produzione della neve artificiale. Questi elementi, di per sé, giustificano la messa in discussione del modello tradizionale di sviluppo fondato sulle attività sciistiche intensive invernali che ha prevalso fin dagli anni Settanta (Balbi et al., 2013).

## **Verso l'individuazione di azioni di adattamento nel settore turistico**

### *Introduzione: turismo e adattamento ai cambiamenti climatici*

La qualità, quantità e accuratezza delle proiezioni degli impatti dei cambiamenti climatici variano da destinazione a destinazione. Questo può limitare o influenzare le modalità con cui le nazioni, in particolar modo i Paesi in via di sviluppo, si adattano ai cambiamenti climatici, anche in ambito turistico.

L'adattamento comprende tutti gli interventi preventivi messi in atto per attenuare gli impatti legati ai cambiamenti climatici in corso.

Sono esempi d'interventi di adattamento rilevanti in ambito turistico: le protezioni idrauliche in difesa delle coste, la gestione delle risorse idriche, la prevenzione degli effetti sanitari delle ondate di calore, la diversificazione dell'offerta turistica, l'implementazione di un sistema di monitoraggio e allerta contro gli eventi meteorologici estremi ed il potenziamento della protezione civile, ecc. (vedi Tabella 5.16, settore turismo<sup>266</sup>).

La natura dinamica dell'industria del turismo e la sua capacità di far fronte a una serie di eventi, anche estremi, suggeriscono una relativa alta capacità di adattamento ai cambiamenti climatici di questo settore (UNWTO-UNEP-WMO, 2008). La capacità di adattamento però varia all'interno dei componenti/sotto-settori della catena di valore del turismo (Figura 3.16).

I turisti hanno infatti la più alta capacità di adattamento (che dipende da tre variabili: capacità di spesa, conoscenza e tempo), con una relativa libertà di evitare le destinazioni impattate dai cambiamenti climatici o di modificare il periodo di viaggio per evitare i periodi con le condizioni climatiche meno favorevoli. I fornitori di servizi e gli operatori turistici delle specifiche destinazioni hanno invece minore capacità di adattamento. I più grandi tour operator, che non hanno proprie infrastrutture turistiche, sono in una posizione migliore, potendo reagire alle domande dei clienti e fornire informazioni che possono influenzare le scelte di viaggio. Le comunità delle destinazioni turistiche e i tour operator con grandi investimenti nei capitale immobiliare (hotel, catene alberghiere, resort, ecc.) hanno la più bassa capacità di adattamento.

---

<sup>266</sup> La tabella, redatta dagli autori dell'IPCC, si limita ad esempi per il turismo montano, ma ovviamente esiste un gran numero di esempi di adattamento anche per il turismo costiero, trattati nel relativo paragrafo in questo capitolo.

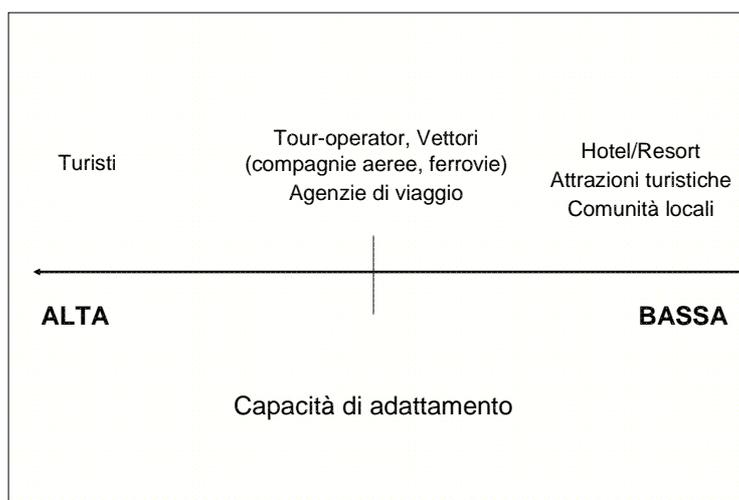


Figura 4.16: Capacità di adattamento relativa dei principali sotto-settori del Turismo (UNWTO-UNEP-WMO, 2008).

Settore	Opzioni/strategie di adattamento	Presupposti di policy	Vicoli e opportunità cruciali per l'implementazione (Carattere normale = vincoli; corsivo = opportunità)
<i>Acqua</i>	Espansione della raccolta dell'acqua piovana; tecniche di conservazione e stoccaggio dell'acqua; riutilizzo dell'acqua; dissalazione; efficienza nell'impiego delle acque e nell'irrigazione	Politiche idriche nazionali e gestione integrata delle risorse idriche; gestione dei rischi idrici	Barriere finanziarie, fisiche e di risorse umane. <i>Sinergie con altri settori per la gestione integrata delle risorse idriche</i>
<i>Agricoltura</i>	Adeguamento dei calendari e delle varietà delle colture; delocalizzazione delle colture; migliore gestione del territorio, ad esempio controllo dell'erosione e protezione del suolo attraverso la piantumazione di alberi	Politiche di ricerca e sviluppo; riforme istituzionali; assegnazione dei terreni e riforme agrarie; formazione; <i>capacity building</i> ; assicurazione dei raccolti; incentivi finanziari, quali, ad esempio, sussidi e crediti d'imposta	Vincoli tecnologici e finanziari, accesso a nuove varietà e mercati. <i>Stagioni produttive più lunghe a latitudini più alte; ricavi da 'nuovi' prodotti</i>
<i>Infrastrutture, incluso zone costiere</i>	Trasferimento; dighe e barriere costiere; rinforzo delle dune; esproprio di terreni e creazione di zone umide/paludose come cuscinetto contro l'innalzamento del livello del mare e contro le inondazioni; protezione delle barriere naturali esistenti	Norme e regolamenti che integrano considerazioni sui cambiamenti climatici nella pianificazione del territorio; politiche dell'uso del territorio; regolamentazioni edilizie; assicurazione	Barriere finanziarie e tecnologiche; disponibilità di sedi alternative per il trasferimento delle comunità a rischio. <i>Integrazione di politiche delle pratiche di gestione del territorio; sinergie con gli obiettivi di sviluppo sostenibile</i>
<i>Salute</i>	Piani di azione sanitaria contro le ondate di calore; servizi medici di emergenza; migliore monitoraggio e controllo delle malattie sensibili al clima; acqua potabile e servizi igienici adeguati	Politiche sanitarie pubbliche che riconoscono il rischio climatico; servizi sanitari rafforzati; cooperazione regionale e internazionale	Limiti della tolleranza umana (gruppi vulnerabili) a condizioni estreme; limiti della conoscenza; limiti finanziari. <i>Aggiornamento del servizio sanitario; miglioramento della qualità della vita</i>

<b>Turismo</b>	Diversificazione delle attrazioni turistiche e delle fonti di reddito; spostamento delle piste ad altitudini più elevate e sui ghiacciai; innevamento artificiale	Pianificazione integrata (ad es. <i>carrying capacity</i> ; collegamenti con altri settori); incentivi finanziari, ad esempio, sussidi e crediti d'imposta	Attrattiva/commercializzazione di nuove attrazioni, sfide finanziarie e logistiche; potenziale impatto negativo sugli altri settori (ad esempio l'innnevamento artificiale può aumentare l'uso di energia). <i>Ricavi da 'nuove' attrazioni; coinvolgimento di un più ampio gruppo di stakeholder</i>
<b>Trasporti</b>	Deviazione/trasferimento; norme di progettazione e pianificazione di strade, ferrovie e altre infrastrutture che tengano conto del riscaldamento globale e del drenaggio dei suoli	Integrazione delle considerazioni suicambiamenti climatici nelle politiche dei trasporti nazionali; investimenti in ricerca e sviluppo per situazioni particolari, ad es. aree soggette a permafrost	Barriere finanziarie e tecnologiche; disponibilità di rotte meno vulnerabili; <i>Tecnologie migliori e integrazione con settori chiave (ad es. energia)</i>
<b>Energia</b>	Potenziamento delle infrastrutture di trasmissione e distribuzione aeree; cablaggio sotterraneo per le utilities; efficienza energetica; utilizzo di fonti rinnovabili; riduzione dipendenza da singole fonti di energia	Politiche energetiche nazionali; regolamentazione e incentivi fiscali e finanziari per incoraggiare l'uso di fonti alternative; inclusione della considerazione dei cambiamenti climatici negli standard di progettazione	Possibilità di accesso ad alternative valide; barriere finanziarie e tecnologiche; accettazione di nuove tecnologie. <i>Stimolo allo sviluppo di nuove tecnologie; uso delle risorse locali</i>

**Tabella 5.16:** Esempi di possibili opzioni e strategie di adattamento per settore, vincoli ed opportunità (IPCC, 2007).

La raccolta delle molte informazioni necessarie, i cambiamenti politici e gli investimenti, indispensabili per un adattamento efficace delle destinazioni turistiche, in alcuni casi, richiedono decine di anni per essere implementati; c'è quindi la necessità di agire il più rapidamente possibile, soprattutto per le destinazioni turistiche che risultano essere potenzialmente più soggette agli impatti dei cambiamenti climatici.

Purtroppo la conoscenza sulla capacità delle azioni di adattamento attuali di affrontare con successo i cambiamenti climatici futuri è davvero limitata (UNWTO-UNEP-WMO, 2008). Inoltre il settore turistico viene a volte "dimenticato", o comunque non affrontato esplicitamente, per quanto riguarda lo studio degli impatti dei cambiamenti climatici e delle strategie di adattamento, a differenza di altri settori, come energia, risorse idriche, salute, agricoltura, biodiversità, ecc.

Esiste però un ampio spettro di metodologie e strumenti decisionali per valutare, oltre agli impatti dei cambiamenti climatici, le strategie di adattamento, ma nessuna metodologia per valutare le strategie di adattamento è stata esplicitamente applicata al settore del turismo. Ogni metodologia inoltre ha caratteristiche diverse, che la rendono più adatta a specifici processi di adattamento, piuttosto che ad altri. Rimandiamo l'esposizione di tali metodologie alla fase di definizione della

strategia. Qui ci limitiamo a menzionare i contributi principali, quali il programma di sviluppo delle Nazioni Unite (United Nations Development Programme, UNDP), che fornisce quattro principi-guida per l'adattamento molto rilevanti per settore del turismo (UNDP, 2005), oppure quello di Università di Oxford, WMO e UNEP (Simpson et al., 2008), che propone una "Struttura per l'adattamento ai cambiamenti climatici nel settore del turismo", e che prevede un processo in sette fasi. Comunque un ampio menù di misure di adattamento tecnologiche, gestionali, politiche e "comportamentali" sono attualmente già utilizzate dagli attori del settore.

Le strategie di adattamento climatico sono raramente applicate in modo isolato, ma di solito coinvolgono più azioni di adattamento, specifiche per la destinazione turistica e per il prodotto turistico. La natura di "destinazione-specifica" delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici rende necessario un mix complesso di strategie di adattamento implementate a livello mondiale.

UNWTO-UNEP-WMO (2008) propongono una classificazione delle strategie di adattamento in ambito turistico:

- 1) **Tecniche** (ad es. innevamento, copertura delle superfici innevate, raccolta delle acque piovane);
- 2) **Gestionali** (ad es. piani di conservazione e recupero delle acque, chiusure nella bassa stagione, diversificazione del mercato turistico, re-indirizzamento dei turisti verso destinazioni meno colpite dai cambiamenti climatici);
- 3) **Politiche** (ad es. regolamentazioni, quali limitazioni alla costruzione);
- 4) **Di ricerca** (ad es. individuazione di siti meno soggetti ai cambiamenti climatici, quali i versanti alpini rivolti a nord, altitudini maggiori per gli impianti sciistici, zone con maggiori precipitazioni nevose; individuazione dei periodi migliori per gli interventi di pulizia delle spiagge; previsione degli eventi climatici estremi);
- 5) **Educative** (ad es. educazione alla conservazione dell'acqua per gli operatori turistici e i turisti);
- 6) **Comportamentali** (ad es. consultazione delle webcam in tempo reale per le condizioni di innevamento, rispetto e protezione della *Posidonia Oceanica* sulle spiagge, programmi di compensazione delle emissioni dei gas serra, azioni atte a modificare alcune scelte, anche ricreative, dei turisti).

## **Adattamento in ambito costiero**

### **Alcuni esempi di azioni di adattamento in ambito costiero**

**Progetto di difesa delle isole del litorale di Venezia.** Venezia si trova in una laguna protetta dal mare Adriatico da una barriera costiera che si estende per un totale di circa 60 km. Tutta la costa è oggetto di erosione e inondazioni, aggravati dall'effetto dei cambiamenti climatici. Nel corso del tempo, la fascia costiera ha perso la sua capacità di recupero. Per rafforzare la fascia costiera, nel XVIII secolo sono state costruite forti mura di difesa, chiamate "Murazzi", completate nel 1782. Queste mura, distrutte poi da una tempesta nel 1966, hanno però diminuito la capacità di resilienza del sistema, oltre a fornire una protezione incompleta. Le spiagge hanno infatti subito in maniera grave l'effetto dell'erosione e la zona delle dune è quasi scomparsa, anche a causa della ingente pressione turistica. Dal 1995, questi problemi sono stati affrontati attraverso un programma specifico d'interventi, tra cui il rafforzamento della linea di costa. Le misure adottate mirano a difendere il litorale di Venezia colpito dall'erosione, proteggendo dalle mareggiate ed eventi estremi la laguna e le aree abitate vicino al mare. Inoltre, il programma prevede anche interventi paesistici, per sostenere anche l'elevata pressione turistica, la ricostruzione/ripascimento delle spiagge e il recupero/ricostruzione delle strisce di dune. Il restauro delle dune, concepito principalmente a difesa contro le mareggiate, si è rivelato anche di grande valore ambientale, avendo favorito il ripristino dell'ecosistema delle dune, habitat di molte specie protette.

Inoltre, a seguito della drammatica alluvione del 1966, è stata emanata una legislazione apposita, comprendente sia leggi ordinarie, che speciali, che tiene in considerazione sia gli aspetti ambientali, che socio-economici dell'area. La salvaguardia della laguna di Venezia è stata definita come una questione di "preminente interesse nazionale". Le attività di salvaguardia di Venezia e dell'ecosistema lagunare sono state delegate dalla legge speciale per lo Stato e vengono attuate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti-Autorità dell'Acqua di Venezia tramite il Consorzio Venezia Nuova. Il Consorzio Venezia Nuova ha quindi il compito di implementare un ampio sistema di misure in tutta l'area della laguna di Venezia, tra cui il progetto per il rafforzamento della costa del litorale. Gli interventi sono stati eseguiti, in accordo con le autorità regionali e comunali, con la supervisione di un comitato internazionale.<sup>267</sup>

**In tratti di spiaggia tutelati** come Oasi (ad es. Burano, Dune Forte dei Marmi, ecc.), o dove la duna viene protetta per permettere la riproduzione di alcune specie rare (ad es. Progetto Fratino del WWF Abruzzo e ricostruzione del tratto di spiaggia a Pescara), vengono effettuati esclusivamente interventi di pulizia manuale della spiaggia, rallentandone fortemente l'erosione.<sup>268</sup>

Nel 2007, la Regione Sardegna ha emanato una norma che prevede che gli **interventi di pulizia della spiaggia** siano consentiti solo nei periodi estivi e non con mezzi meccanici; questa norma

---

<sup>267</sup> <http://ec.europa.eu/ourcoast/index.cfm?menuID=4&articleID=334>.

<sup>268</sup> [http://www.consumieclima.org/download/turismo\\_e\\_cambiamento\\_climatico.pdf](http://www.consumieclima.org/download/turismo_e_cambiamento_climatico.pdf)  
[www.climateadaptation.eu/italy/en#tourism](http://www.climateadaptation.eu/italy/en#tourism)

stabilisce inoltre che il materiale asportato debba essere stoccato e poi recuperato per riposizionarlo sull'arenile di provenienza a fine stagione, a difesa della costa dall'erosione del mare durante l'inverno.<sup>269</sup>

In Toscana, il **sistema di previsione** adottato dal centro di meteorologia marina è in grado di prevedere, in tempo reale, eventi meteo marini con potenziale rischio per la costa, permettendo di implementare misure di risposta rapide agli eventi estremi e alle mareggiate.<sup>269</sup>

### *Adattamento in ambito montano (Alpi)*

Nonostante la forte necessità di implementare strategie di adattamento in ambito montano, le azioni di adattamento attuate sono ancora una piccolissima percentuale, se confrontate con le azioni di mitigazione.

#### *Alcuni esempi di azioni di adattamento in ambito montano*

Le azioni di adattamento di cui riferire, in Italia, anche se esistenti, non sono numerose. Certamente spicca quanto fatto in Alto Adige o in Provincia di Cuneo, di cui si parlerà più avanti. Sono inoltre presenti molti esempi di azioni di adattamento a livello internazionale e alpino, per i quali si rimanda alla fase di definizione della strategia. Da sottolineare comunque l'utilità di rafforzare lo scambio esperienziale e di "buone pratiche" in aree montane a livello interregionale e internazionale.

Negli ultimi 20 anni sono stati investiti centinaia di milioni di Euro nell'innnevamento artificiale (vedi Hahn, 2004; Abegg et al., 2007) e oggi viene innnevata artificialmente quasi la metà di tutte le piste da sci alpine (vedi Tabella 6.16). In Italia, circa il 77% delle aree sciistiche dell'arco alpino è dotato di sistemi per la produzione di neve artificiale, percentuale che raggiunge addirittura il 100% in Friuli Venezia Giulia e in Alto Adige. La Tabella 7.16 riporta la percentuale di comprensori sciistici nelle Alpi italiane dotati di dispositivi per l'innnevamento artificiale. Ci sono però alcuni problemi legati a questa tecnica di adattamento. Un aspetto decisivo sarà quello di capire quando la neve artificiale potrà essere prodotta, considerando che i periodi più critici sono e saranno quelli d'inizio e di fine stagione, quando il potenziale d'innnevamento peggiorerà ulteriormente. La conseguenza sarà un aumento massiccio della necessità d'innnevamento: bisognerà produrre più neve nel minor tempo possibile. Questo implicherà costruire nuovi impianti d'innnevamento, un maggiore consumo di acqua e di energia elettrica e infine maggiori costi.<sup>270</sup>

---

<sup>269</sup> <http://www.provincia.lucca.it/ambiente/admin/uploads/links/brochure.pdf>

<sup>270</sup> Il consumo di acqua legato all'innnevamento artificiale è molto elevato e dipende dalla località, dalle condizioni meteo, dal tipo e dall'efficienza degli impianti impiegati. Teich et al. (2007) suggeriscono i seguenti valori di riferimento: 1 m<sup>3</sup> di neve tecnica = 0,2 – 0,5 m<sup>3</sup> di acqua (200 – 500 litri di acqua). L'innnevamento di base di un ettaro di pista (30 cm) richiede quindi da 600 a 1500 m<sup>3</sup> di acqua (600.000 – 1,5 milioni di litri di acqua) e più, nei casi in cui sia necessaria un'integrazione dell'innnevamento. Nelle località con la minore disponibilità di acqua, è possibile che la domanda superi l'offerta e il conflitto con gli altri utilizzatori di acqua sia acuto. Tecnicamente, per aumentare la quantità d'acqua disponibile, si dovranno creare nuovi bacini di accumulo, con un conseguente grosso impatto in termini paesaggistici e ambientali.

	Superficie piste	Con possibilità di innevamento	in %	Fonte
Svizzera	22.000 ha	7.920 ha	36 %	Seilbahnen Schweiz (2010)
Austria	25.400 ha	16.760 ha	66 %	Fachverband der Seilbahnen Österreichs (2009)
Germania (Baviera)	3.700 ha	599 ha	16 %	Bayerisches Landesamt für Umwelt (2009)
Italia	22.500 ha	15.750 ha	70 %	Seilbahnen Schweiz (2008)
Francia	25.000 ha	5.300 ha	21 %	Badré et al. (2009)
Slovenia	1'200 ha	900 ha	75 %	Slovenian Tourist Board (2008)
Liechtenstein <sup>1)</sup>	138 ha	60 ha	43 %	www.bergbahnen.li (2009)
Paesi alpini <sup>2)</sup>	99.938 ha	47.289 ha	47 %	

Elaborazione: Abegg

Note: <sup>1)</sup> I dati sono disponibili in km (lunghezza delle piste, ossia lunghezza innevabile). Per la conversione si è ipotizzata una larghezza media delle piste di 60 m.  
<sup>2)</sup> I dati dei Paesi su cui sono basate le presenti proiezioni sono di qualità differente. In parte sono presi in considerazione anche comprensori sciistici al di fuori delle Alpi.

Tabella 6.16: Dimensione dell'innevamento artificiale nei Paesi alpini (Fonte: Abegg, 2011).

Per quanto riguarda il consumo di energia, come per quello dell'acqua, l'entità del consumo varierà secondo la località, le condizioni meteo e la tipologia ed efficienza degli impianti utilizzati. Sempre Teich et al. (2007) ipotizzano che per 1 m<sup>3</sup> di neve tecnica si debbano utilizzare da 1,5 a 9 kWh; quindi, per l'innevamento base di un ettaro di pista (30cm) si richiedano 5000-27000 kWh di energia elettrica. L'Ufficio di Stato per l'Ambiente Bavarese (2009) ha ipotizzato che l'elettricità necessaria in Baviera per l'innevamento base sarebbe sufficiente a fornire energia elettrica a circa 2.300 famiglie di due persone.

Per quanto riguarda invece gli impatti ecologici dell'innevamento artificiale, vanno verificati gli impatti sulla vegetazione e sulle specie sensibili, che possono subire anche gli effetti legati allo stress idrico, quindi azioni di rinverdimento dopo l'uso di sistemi d'innevamento artificiali potrebbero essere fortemente consigliate.

Inoltre esiste la possibilità di utilizzare additivi per la neve. A questo riguardo, si distingue fra nuclei di congelamento o di sublimazione (germi di ghiaccio) e neve-cemento. La neve-cemento (sali utilizzati anche come fertilizzanti nell'agricoltura) ha la funzione di stabilizzare le piste (da gara) dal fondo ammorbidito. I nuclei di sublimazione, ad esempio *Snomax*, permettono l'innevamento artificiale anche a temperature superiori. Non è da escludersi che questi nuclei (batteri inattivati) abbiano effetti negativi sull'ambiente alpino. In alcuni Paesi sono ammessi (Francia, Svizzera), in altri invece sono vietati (Baviera, Austria).

I costi dell'innevamento sono notevoli e dipendono prima di tutto dalla conformazione del terreno. Lang (2009), ad esempio, fornisce le seguenti cifre:

- Costi d'investimento per km di pista innevabile: 750.000–1.000.000 CHF (circa 473000-630000 Euro al cambio del 2008);
- Costi di gestione per km di pista innevata: 20.000–100.000 CHF/anno circa 12600-63000 Euro/anno al cambio del 2008).

I costi d'investimento dipendono in primo luogo dalla conformazione del terreno; i costi di esercizio invece dalla quantità di neve da produrre, dalle condizioni meteo, dalla disponibilità di acqua e dal tipo/efficienza degli impianti utilizzati.

In un futuro più caldo, l'innevamento artificiale dovrà aumentare sensibilmente. Garantire la certezza della neve richiederà notevoli investimenti in ulteriori impianti di innevamento, in nuove tecnologie (impianti più efficienti ed eventualmente anche indipendenti dalla temperatura) e nella garanzia dell'approvvigionamento idrico per mezzo di nuovi bacini di accumulo. Lang (2009) fornisce la seguente stima dei costi per la loro costruzione:

- 1,5-2,5 milioni di CHF (0,94- 1,6 milioni di Euro) per bacini di accumulo con un volume da 30.000 a 50.000 m<sup>3</sup>;
- 3,0-3,5 milioni di CHF (1,9- 2,2 milioni di Euro) per un bacino di accumulo con un volume di 80.000 m<sup>3</sup>.

Fra i costi di esercizio vanno considerati anche i maggiori volumi con i relativi costi energetici e di acqua. I costi per unità di acqua variano fortemente e vanno da zero fino a raggiungere i normali prezzi di mercato.

A livello energetico incidono soprattutto i costi del trasporto dell'acqua e del "processo di congelamento". Un'ottimizzazione dell'esercizio e le nuove tecnologie permettono di migliorare l'efficienza. In definitiva, le spese di esercizio aumenteranno significativamente, non solo perché sarà necessario produrre molta più neve, ma anche perché i costi per unità di energia (aumento dei prezzi dell'energia elettrica) e di acqua (maggiore scarsità di acqua) sono destinati ad aumentare. Da ciò derivano due domande critiche riguardo a chi finanzia i costi del maggiore innevamento e se potenziare l'innevamento artificiale sia o meno sostenibile.

	No. di aree per lo sci con dispositivi per l'innnevamento artificiale	No. di aree per lo sci (TOTALE)	Aree per lo sci con dispositivi per l'innnevamento artificiale (in %)
Veneto	24	46	52,2%
Lombardia	22	33	66,7%
Piemonte	37	54	68,5%
Valle d'Aosta	20	25	80,0%
Trentino	31	34	91,2%
Friuli Venezia Giulia	5	5	100,0%
Alto Adige	54	54	100,0%
<b>Totale (No. / %)</b>	<b>193</b>	<b>251</b>	<b>76,9%</b>

Fonte: EURAC (2007)

	No. di aree per lo sci con dispositivi per l'innnevamento artificiale	No. di aree per lo sci (TOTALE)	Aree per lo sci con dispositivi per l'innnevamento artificiale (in %)
Veneto	24	46	52,2%
Lombardia	22	33	66,7%
Piemonte	37	54	68,5%
Valle d'Aosta	20	25	80,0%
Trentino	31	34	91,2%
Friuli Venezia Giulia	5	5	100,0%
Alto Adige	54	54	100,0%
<b>Totale (No. / %)</b>	<b>193</b>	<b>251</b>	<b>76,9%</b>

Fonte: EURAC (2007)

*Tabella 7.16: Impianti sciistici dotati di dispositivi per la produzione di neve artificiale nelle Alpi italiane (Fonte: EURAC 2007).*

Alcune scelte strategiche operate in Trentino-Alto Adige e nelle alpi occidentali (ad esempio la rete della Compagnia del Buon Cammino della Provincia di Cuneo<sup>271</sup>), benché non ispirate direttamente dalla necessità di adattarsi ai cambiamenti climatici, vanno in una direzione compatibile con le principali strategie di adattamento in ambito montano.

La regione alpina è estremamente vulnerabile ai cambiamenti climatici, ma molto diversificata. Le condizioni locali sono eterogenee in termini di cambiamenti climatici attesi, di tipologie di turismo, d'intensità di sfruttamento e in quanto a capacità di adattamento. Questo rende impossibile identificare una singola strategia per affrontare il problema dell'adattamento. Nell'ambito del progetto ClimAlpTour<sup>272</sup>, il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici ha sviluppato un sistema di supporto alle decisioni per l'analisi di strategie di adattamento e sviluppo locale nelle stazioni sciistiche, testato per primo nel caso di studio di Auronzo di Cadore e poi applicato con successo, e con la collaborazione dei partner locali, in altre aree di studio del progetto lungo l'arco alpino, come in Val d'Aosta (Monte Rosa e Valgrisenche). Il DSS applicato in contesto partecipativo ha permesso di identificare possibili soluzioni. Nelle località dove è stato testato, lo

<sup>271</sup> [www.cipra.org/competition-cc.alps/Lena](http://www.cipra.org/competition-cc.alps/Lena)

<sup>272</sup> <http://www.climalptour.eu/content/>.

strumento di supporto alle decisioni ha contribuito a valutare potenziali strategie di adattamento producendo risultati condivisi dai partecipanti, che generalmente penalizzano le strategie che prevedevano nuove opere infrastrutturali per lo sviluppo ulteriore dello sci da discesa (per esempio nuovi impianti e innevamento artificiale intensificato). Al contrario la valutazione ha favorito quelle strategie più orientate verso uno sviluppo sostenibile, per esempio manifestando un'identità legata alla tradizione o al trasporto verde. Tali risultati mostrano che la collettività locale tende già verso un turismo alpino più resistente ai cambiamenti climatici.

Da segnalare, in quanto interessa in parte anche il territorio italiano, il progetto "Montagnes en chemin" (Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Provenza-Alpi-Costa Azzurra)<sup>273</sup>, che mira a creare un sistema turistico integrato, volto a promuovere lo sviluppo sostenibile e il monitoraggio dei cambiamenti climatici in zone di montagna. Il progetto favorisce iniziative che riguardano la diversificazione del settore e concretamente le attività di trekking, tanto nella stagione invernale come in quella estiva. Questo progetto ha già coinvolto oltre 60 organizzazioni del settore turistico montano nel nord d'Italia e Francia.

### *Adattamento in ambito montano: il caso dell'Alto Adige<sup>274</sup>*

Il turismo è un settore d'importanza primaria per l'Alto Adige, con possibili impatti diretti sia nella stagione invernale, che estiva. In inverno le precipitazioni nevose diminuiranno, mentre aumenteranno le piogge. Questo avrà un effetto molto visibile nei comprensori sciistici e soprattutto alle quote più basse, che necessiteranno quindi in misura maggiore di adeguate strategie di adattamento. Per contro, le destinazioni alpine potrebbero veder aumentata la propria attrattività in estate, quando alcuni agglomerati urbani, in modo particolare quelli di origine dei turisti, soffriranno di ondate di calore sempre più intense.

#### *Turismo invernale in Alto Adige*

Per quel che riguarda la stagione invernale, l'impatto più rilevante sarà la riduzione della sicurezza dell'innnevamento, dovuta principalmente all'aumento delle temperature (da +1 °C a +2 °C, più rilevanti dopo il 2030) e al conseguente aumento e irregolarità delle precipitazioni piovose, a scapito di quelle nevose. La riduzione dell'affidabilità dell'innnevamento si ripercuoterà sia sulla possibilità di garantire un tradizionale "paesaggio invernale", sia sulla possibilità di praticare attività legate alla neve, in primis lo sci. L'aumento della temperatura potrebbe infatti portare la percentuale di aree snow reliable<sup>275</sup> dall'84,37% delle aree attuali (scenario di aumento di 1°C) al 62,5% (scenario di aumento di 2°C). Saranno maggiormente svantaggiati i comprensori sciistici

---

<sup>273</sup> Vd. Esiti della Sessione della Conferenza della Alpi "Action Plan on Climate Change in the Alps" (Convenzione delle Alpi, 2009).

<sup>274</sup> I dati e le informazioni riportate in questa sottosezione fanno riferimento principalmente Zebisch et al. (2011).

<sup>275</sup> Il calcolo si riferisce alla "regola dei 100 giorni". Si veda la casella di approfondimento sul turismo invernale. Il calcolo è stato effettuato dall'OCSE prendendo come riferimento la Linea di Affidabilità delle Nevi delle aree sciistiche altoatesine (1500 metri) e ipotizzando un innalzamento della linea stessa a 1650 metri in caso di aumento di 1 grado centigrado e a 1800 metri in caso di aumento fino a 1800 metri.

situati ad una minore altitudine, mentre di conseguenza guadagneranno in termini di competitività alcune destinazioni situate a quote più alte.

A livello generale, lo stato dell'arte della ricerca a livello alpino ha identificato alcune possibili strategie di adattamento per il turismo invernale, presenti, a diversi livelli di realizzazione, anche in Alto Adige. Fra queste, la strategia di mantenimento dello sci invernale si declina in particolare nell'adozione di tecniche d' innevamento programmato, con nuovi investimenti negli impianti d' innevamento artificiale, nell'associazione in consorzi per l'ammortizzazione dei costi e nell'innalzamento delle quote delle piste. In particolare, l'investimento in impianti d' innevamento artificiale dovrà essere accompagnato a una accurata valutazione della sostenibilità economica e ambientale a lungo termine, considerando anche un eventuale aumento dello sfruttamento delle risorse idriche per altri settori.

In ogni caso, una strategia efficace, già in parte praticata in Alto Adige, dovrà provvedere a potenziare l'offerta tramite lo sviluppo di attività alternative allo sci e alle attività legate alla neve; ciò soprattutto per le aree sciistiche situate ad altitudini minori. A questo proposito, da un'indagine che ha coinvolto circa 400 turisti, eseguita dall'EURAC nelle stagioni invernali 2009/2010 e 2010/2011, si riscontrano da parte dei turisti forti preferenze per le attività tradizionali, maggiormente vulnerabili ai cambiamenti climatici (quali sci ed escursioni in montagna), ma esiste un potenziale interesse anche per altri fattori, quali attività di intrattenimento, offerte diversificate in termini di ospitalità e di nuove forme di mobilità sostenibili, offerte di formazione e offerte legate a salute e benessere, da poter sviluppare maggiormente nella stagione estiva.

### *Turismo estivo in Alto Adige*

I cambiamenti climatici minacciano in modo minore il turismo estivo, che anzi potrebbe essere avvantaggiato in termini competitivi rispetto a destinazioni che soffriranno in modo maggiore dell'aumento della temperatura. Inoltre, l'aumento delle temperature permetterà anche un possibile allungamento delle stagioni intermedie, con la possibilità di praticare attività anche ad altitudini maggiori. In più, la promozione del turismo estivo può essere considerata come una strategia parallela al mantenimento dello sci, soprattutto per particolari tipologie di esercizio.

Per quel che riguarda gli impatti negativi, prima di tutto si potrà verificare una perdita di attrattività del paesaggio dovuta ai cambiamenti nella vegetazione; inoltre, in aree soggette a un incremento dell'incidenza di frane o crolli, si potrà riscontrare un aumento del rischio per l'incolumità degli escursionisti sui sentieri di montagna e dei danni per le strutture ricettive (quali i rifugi) situate in alta montagna, con conseguente aumento dei costi legati anche alla loro manutenzione. Infine si potranno verificare dei conflitti sull'uso dell'acqua con altri settori, quali quello agricolo e dell'energia. In questo caso le strategie di adattamento s'intersecano quindi con quelle della protezione civile (barriere antifrane) e con quelle degli attori impegnati nella gestione delle risorse idriche (iniziative per il risparmio di acqua per uso domestico). Per compensare possibili flessioni registrate durante l'alta stagione, gli operatori turistici dovrebbero inoltre promuovere le stagioni intermedie, mettendo a punto prodotti nuovi e attrattivi, ma allo stesso tempo non dannosi per il clima.

### **Status quo e prospettive dell'adattamento in Alto Adige**

In Alto Adige le condizioni per un adattamento efficiente paiono essere ottimali: l'amministrazione pubblica funziona bene, la tecnologia disponibile è di alto livello e lo statuto di autonomia rende possibili azioni rapide e mirate. Per quanto riguarda il turismo invernale, gli operatori altoatesini stanno già investendo in strategie di adattamento. Per quanto concerne la strategia di mantenimento, per esempio, la cooperazione tra diverse aree sciistiche e la creazione di consorzi è già in atto. Per quanto riguarda l'adattamento in termini di diversificazione dell'offerta turistica, con conseguente destagionalizzazione dell'offerta, lo sviluppo di prodotti indipendenti dalla neve e clima-indipendenti è già in corso, sia in aree situate a quote più basse, che sono già più orientate al turismo estivo (maggior numero di presenze nella stagione estiva), sia in aree con importanti comprensori turistici, per le quali il turismo estivo sta comunque diventando sempre più importante. D'altro canto il turismo estivo rappresenta già un punto di forza dell'Alto Adige ed è già in atto una valorizzazione delle stagioni intermedie con prodotti ad hoc. Inoltre la *governance* a livello delle singole destinazioni turistiche è sviluppata e permette un buon coordinamento tra gli attori, mentre la Provincia autonoma di Bolzano partecipa a progetti importanti sul tema dei rischi naturali (ad es. progetto PermaNET: Permafrost Monitoring Network<sup>276</sup>), il cui scopo è contribuire significativamente alla mitigazione dei rischi naturali a seguito dell'impatto dei cambiamenti climatici sul permafrost alpino.

Eppure le misure finora pianificate, e in parte intraprese, nei singoli settori non contemplano in modo esplicito la risposta ai cambiamenti climatici. In primo luogo, l'orizzonte di pianificazione degli operatori del turismo è più a breve termine rispetto a quello prospettato dagli scenari di cambiamenti climatici, la cui incertezza nelle informazioni contribuisce a far sì che, sebbene ci sia una consapevolezza dei problemi, il tema dei cambiamenti climatici non rientri nella pianificazione strategica degli operatori. Inoltre sarebbe necessario inserire i possibili effetti dei cambiamenti climatici nei processi di valutazione d'impatto ambientale, legati per esempio alle autorizzazioni per le infrastrutture connesse allo sci, che al momento non ne tengono conto. L'obiettivo dovrebbe essere inserire l'adattamento ai cambiamenti climatici nell'agenda politica e coordinare gli interventi in modo trasversale ai vari settori.

---

<sup>276</sup> <http://www.permanet-alpinespace.eu>.

## *Adattamento nelle città d'arte*

Gli effetti principali dei cambiamenti climatici nelle città d'arte sono quelli relativi alle ondate di calore e all'aumento dell'incidenza degli eventi estremi, quali tempeste/alluvioni (ad es. alluvione di Genova del novembre 2011).

### *Alcuni esempi di azioni di adattamento nelle città d'arte*

A partire dall'estate 2004, un anno dopo l'ondata di calore del 2003, che ha causato migliaia di decessi in tutta l'Europa, il sistema di vigilanza sulle ondate di calore (sistemi Heat Health Watch Warning System - HHWWS) e i programmi di prevenzione adottati nelle città americane furono attivati nelle città italiane di Bologna, Roma, Milano e Torino. Attualmente in Italia sono operativi a livello nazionale due progetti finanziati dal Dipartimento della Protezione Civile e dal Ministero della Salute/Centro Nazionale per la Prevenzione e Controllo delle Malattie (CCM). Entrambi i progetti sono coordinati dal Dipartimento di Epidemiologia dell'ASL/RME, individuato come Centro di Competenza Nazionale (CCN) del DPC, ai sensi della Direttiva del Consiglio dei Ministri del 27.2.2004. Questi progetti, dedicati alla salvaguardia dell'intera popolazione, interessano comunque indirettamente anche i turisti.

- Il progetto del DPC, denominato "Sistema Nazionale di Sorveglianza, previsione e di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute della popolazione", è stato attivato fin dal 2004 in 27 città italiane, tra cui molte città d'arte, quali Venezia, Firenze e Roma. Questo progetto consente di individuare, attraverso il sistema HHWWS, per ogni specifica area urbana, le condizioni meteo-climatiche che possono avere un impatto significativo sulla salute dei sottogruppi di popolazione a rischio elevato. Sulla base di questi modelli vengono elaborati dei bollettini giornalieri specifici per ogni città, con i quali sono comunicati i possibili effetti sulla salute delle condizioni meteorologiche previste a 24, 48 e 72 ore. I bollettini sono inviati ai centri di riferimento locali individuati dalle amministrazioni competenti, per l'attivazione, se necessario, di piani d'intervento per la popolazione a rischio.
- Il Progetto del Ministero/CCM, denominato "Piano operativo nazionale per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute", attivato nel 2006, s'integra con il progetto del DPC, con il quale ha in comune l'obiettivo di fornire supporto tecnico alle autorità locali per l'attivazione dei sistemi di previsione/allarme e dei sistemi rapidi per la rilevazione del rischio di mortalità estiva. In aggiunta, il progetto del Ministero prevede anche il supporto tecnico per lo sviluppo di specifiche attività di prevenzione, come la definizione delle liste dei soggetti suscettibili (anagrafe suscettibilità) e dei piani operativi locali per la prevenzione e gestione delle condizioni di rischio climatico, e la valutazione dell'efficacia degli interventi messi in campo localmente.<sup>277</sup>

---

<sup>277</sup>[http://www.salute.gov.it/dettaglio/approfondimentoFocusNuovo.jsp?id=19&sub=4&lang=it&parametro=4&area=emergenza Caldo.](http://www.salute.gov.it/dettaglio/approfondimentoFocusNuovo.jsp?id=19&sub=4&lang=it&parametro=4&area=emergenza%20Caldo)

- In Piemonte è stato predisposto un “Piano Caldo” come sistema di prevenzione per le ondate di calore. Tale sistema comprende, tra le altre misure, l’invio di bollettini previsionali da parte dell’Arpa a 24/48/72 dal verificarsi dell’evento, rivolti anche al personale sanitario, la campagna informativa “Caldo? Istruzioni per l’uso” (contenente raccomandazioni e informazioni utili per affrontare il caldo), rivolta alla popolazione, soprattutto agli anziani, e infine l’attivazione di numeri verdi. Questo progetto, non specificatamente dedicato al settore turistico o alle città d’arte, può contribuire comunque a un miglioramento della vivibilità delle città d’arte anche per i turisti.<sup>278</sup>
- In Toscana, la Regione ha attivato il Centro Funzionale, ente preposto per l’allertamento ai fini della protezione civile, che integra competenze e strutture presenti sul territorio. Il Laboratorio di Meteorologie e Modellistica Ambientale elabora quotidianamente bollettini meteo, attenti in modo particolare alla previsione di fenomeni meteo significativi (ad es. alluvioni). Sulla base di questi bollettini, il Centro Funzionale stima i possibili effetti al suolo dei fenomeni meteo significativi e allerta di conseguenza, se necessario, il Sistema di Protezione Civile Regionale. Viene infine monitorato costantemente l’evento avverso tramite periodici aggiornamenti dei bollettini e continui contatti in rete tra i soggetti coinvolti. Questo progetto, non specificatamente dedicato al settore turistico o alle città d’arte, può contribuire comunque ad un miglioramento della vivibilità delle città d’arte anche per i turisti.<sup>279</sup>
- Il progetto LIFE (LIFE09 ENV/IT/000074) GAIA - Green Areas Inner-city Agreement “GAIA”, coordinato dal Comune di Bologna, propone un modello di partenariato pubblico-privato per la forestazione urbana attraverso l’adozione di un accordo “Aree verdi all’interno delle città” (GAIA - Green Areas Inner city). Esso ha, tra gli altri scopi, quello di dimostrare la maggiore resilienza ai cambiamenti climatici negli ecosistemi urbani attraverso la creazione di aree verdi all’interno delle città, sfruttando la capacità del fogliame degli alberi di ridurre l’effetto “isola di calore urbana”, abbassando la temperatura fino ad un massimo di 4,5°C. Anche questo progetto, non specificatamente dedicato al settore turistico o alle città d’arte, può contribuire comunque a un miglioramento della vivibilità delle città d’arte anche per i turisti.<sup>280</sup>

## Stima dei costi e benefici

Gli impatti economici dei cambiamenti climatici sul turismo sono stati oggetto di una serie di studi sviluppati in diversi progetti europei del 6° e 7° Programma Quadro, alcuni dei quali presentano i risultati con dettaglio per l’Italia.

---

<sup>278</sup> <http://www.regione.piemonte.it>.

<sup>279</sup> <http://www.provincia.lucca.it/ambiente/admin/uploads/links/brochure.pdf>.

<sup>280</sup> [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=3752](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3752).

Il progetto SESAME<sup>281</sup> presenta una valutazione degli impatti sul turismo derivante dalla potenziale perdita di attrattiva conseguente il deterioramento degli ecosistemi marini. La rilevanza del fattore “buono stato di ecosistemi/biodiversità marini” nell’influenzare le scelte turistiche viene stimato attraverso un modello econometrico a partire da un database relativo a 207 Paesi. Tale modello evidenzia la significatività della variabile “biodiversità” nell’attrarre il segmento dei turisti internazionali. Legando poi le elasticità della domanda turistica stimata alla potenziale perdita di biodiversità nel futuro in uno scenario d’inazione, lo studio conclude che, nel caso dell’Italia, al 2030 la contrazione di domanda turistica potrebbe essere pari al 1.65%.

Anche il progetto FP6 CIRCE<sup>282</sup> (Climate Change Impact Research: The Mediterranean Environment) propone uno studio sugli impatti macroeconomici dei cambiamenti climatici sull’attività turistica nel Mediterraneo (Bosello et al., 2010). Lo scenario di riferimento è sempre l’A1B dell’IPCC, l’analisi è svolta fino al 2050. A differenza di SESAME, la quantificazione degli impatti sul turismo non deriva da stime monometriche, ma dall’applicazione di un modello dei flussi turistici mondiali, HTM (Hamburg Tourism Model, Bigano et al., 2007a). Questo inoltre non si limita agli aspetti legati alla biodiversità, ma riassume l’influenza di tutti gli stressor climatici usando un unico predittore: i differenziali regionali di temperatura. In Italia, l’incremento di temperatura atteso dovrebbe ridurre la “attrattiva climatica”, con conseguente contrazione dei flussi in entrata pari nel 2050 a quasi il 15%. Questa è parzialmente controbilanciata dalla maggiore domanda di turismo domestico, con un impatto netto negativo sul settore dell’8.9%. Le implicazioni negative per il PIL del Paese, misurate con la (solita) tecnica CGE, si quantificano in uno -0.25% nel 2050.

Gli impatti dei cambiamenti climatici sul turismo in Italia sono infine parte dell’analisi effettuata dal recentemente concluso tender DG CLIMA EUADAPTSTRAT. Ancora una volta gli impatti diretti sul turismo (variazione degli arrivi e della spesa turistica derivanti da cambiamenti nell’attrattiva climatica) vengono quantificati dal modello HTM; gli scenari climatici di riferimento sono un aumento di 2°C e di 4°C rispetto al 2000, mentre il contesto economico (proiezioni dei tassi di crescita del PIL e popolazione al 2050 per le economie europee) è calibrato sui dati proposti dall’indagine della Commissione Europea “2012 Ageing Report” sul costo dell’invecchiamento della società in Europa (EC, 2012). L’impatto sui flussi turistici in entrata nel caso di 2°C coincide con quello di CIRCE, -15%. Nel caso di 4°C raggiunge il -21.6%. Rispetto a CIRCE, HTM propone però un diverso calcolo delle reazioni della domanda turistica domestica, per cui alla fine l’impatto netto risulta essere rispettivamente -6.6% e -8.9% nei due scenari climatici. Le conseguenti perdite in termini di PIL vengono poi quantificate attraverso analisi CGE in un -0.35% e -1.05%, sempre nel 2050, a seconda dello scenario climatico<sup>283</sup>.

---

<sup>281</sup> [http://www.clamer.eu/index.php?option=com\\_clamerprojects&ProjectId=73](http://www.clamer.eu/index.php?option=com_clamerprojects&ProjectId=73).

<sup>282</sup> <http://www.circeproject.eu/>.

<sup>283</sup> Confrontando l’analisi EUADAPTSTRAT con quella CIRCE, è interessante notare come impatti diretti sulla domanda turistica addirittura più bassi possano tradursi in impatti sul PIL più elevati. Questo dipende dalle diverse ipotesi adottate per il contesto macro-economico. E’ ovvio, ad esempio, che un maggior o minor contributo del settore turistico alla produzione di valore aggiunto

Per quanto riguarda i costi delle misure di adattamento, non vi sono praticamente stime disponibili. Per il turismo montano, limitatamente all'innevamento artificiale, si rimanda alle stime di Lang (2009) riportate nella relativa sottosezione.

---

nazionale si traduca in una maggior o minor vulnerabilità dell'intero sistema economico agli impatti sul turismo. Altrettanto importanti sono le ipotesi sulla dotazione iniziale di fattori produttivi per settore e dei flussi internazionali di domanda di beni e servizi tra settori, che determinano come ciascuno di essi reagisca a determinate perturbazioni dell'equilibrio iniziale.

## Bibliografia

- Abegg, B., et al. (2007). Climate Change Impacts and Adaptation in Winter Tourism. In: Agrawala, S. (Ed.): Climate Change in the European Alps, OECD, Paris, pagg. 25-60.
- Abegg, B., Kolb, M., Sprengel, D., Hoffmann, V.H. (2008). Klimawandel aus der Sicht der Schweizer Seilbahnunternehmer. In: Jahrbuch der Schweizerischen Tourismuswirtschaft, St. Gallen, pagg. 73-83.
- Abegg, B. (2011). Turismo nel cambiamento climatico – una relazione specifica della Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi, CIPRA, Compact N.01/2011.
- Agrawala, S. (ed.) (2007). Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management, OECD report. Paris, France.
- Ambrosetti, W., Barbanti, L., Rolla, A. (2006). Il clima dell'areale del Lago Maggiore durante gli ultimi cinquant'anni. The climate of Lago Maggiore area during the last fifty years, Journal of Limnology vol. 65 (Suppl. 1).
- Amelung, B. e Moreno, A. (2009). Impacts of climate change in tourism in Europe: PESETA-Tourism Study. JRC Scientific and Technical Reports, JRC IPTS.
- Balbi, S., Giupponi C., Perez, P., Alberti, M. (2013). A spatial agent-based model for assessing strategies of adaptation to climate and tourism demand changes in an alpine tourism destination. Environmental Modelling & Software . 45. 29–51. DOI ([10.1016/j.envsoft.2012.10.004](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.10.004)).
- Becheri, E. & Maggiore, G. (Eds.) (2011). Rapporto sul turismo Italiano 2010-2011, XVII Edizione, Franco Angeli, Milano.
- Bigano, A., Hamilton, J.M. e Tol, R.S.J. (2007a). The Impact of Climate Change on Domestic and International Tourism: A Simulation Study, Integrated Assessment Journal, 7, 25-49.
- Bigano, A., Hamilton, J.M. e Tol, R.S.J. (2007b). Nuove mete per il clima di domani (New destinations for tomorrow's climate), La Rivista Del Turismo, Touring Club Italiano, Anno IX, N°3 Milano, Milan, Italy.
- Bosello, F., Eboli, F. e Parrado, R. (2010). Climate change impacts in the Mediterranean: final results by means of a CGE analysis, CIRCE Deliverable 10.7.3.
- Cai, M., Ferrise, R., Moriondo, M., Nunes, P. A.L.D. e Bindi, M. (2011). Climate Change and Tourism in Tuscany, Italy. What if heat becomes unbearable? Note di Lavoro 2011.67, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano.
- Celsius Pro. (2009). Weather: An Issue in the Hospitality Industry. Disponibile su: [http://www.celsiuspro.com/Portals/0/Downloads/Research%20Paper\\_Weather\\_An%20Issue%20in%20the%20Hospitality%20Industry.pdf](http://www.celsiuspro.com/Portals/0/Downloads/Research%20Paper_Weather_An%20Issue%20in%20the%20Hospitality%20Industry.pdf).
- Convenzione delle Alpi (2009). Action Plan on Climate Change in the Alps. Sessione della Conferenza delle Alpi 12.03.2009.
- Pietro, P.C., Augelli, P.P.C, Aminti, P.L, Amore, C., Artom, C., Bellotti, P., Bozzano, A., Caputo, C., Castelliti, G., Cipriani, L.E. ..., e Veltri, P. (2006). Stato dei litorali italiani. Studi costieri 01/2006; 10:5-7.
- Dietmann, T. & Kohler, U. (2005). Skipistenuntersuchung Bayern: Landschaftsökologische Untersuchung in den bayerischen Skigebieten. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.
- EC (2012). The 2012 Ageing Report, European Economy, 2/2012.
- EURAC (2007). Impacts of Climate Change on winter tourism in the Italian Alps, ClimChalp INTERREG III B Alpine Space Project Report.

- Föhn, P. (1990). Schnee und Lawinen. In: Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre, Internationale Fachtagung, Mitteilungen VAW ETH Zurich No. 108, pp. 33-48.
- Gonseth, C. (2008). Adapting Ski Area Operations to a Warmer Climate in the Swiss Alps through Snowmaking Investments and Efficiency Improvements. Doctoral Thesis. École Polytechnique fédérale de Lausanne.
- Haerberli, W. & Beniston, M. (1998). Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps, *Ambio*, Vol. 27, pp. 258-265.
- Hahn, F. (2004). Innevamento artificiale nelle Alpi – una relazione specifica, CIPRA International.
- Hamilton, J.M. e Tol, R.S.J., (2007). The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study. *Regional Environmental Change* 7: 161-172.
- Hamilton, J.M., Maddison, D.J. e Tol, R.S.J. (2005). Climate change and international tourism: a simulation study. *Global Environmental Change Part A*, 15(3), 253-266.
- Hatch, D. (1984). Weather around the world: standardized climatic data for 500 places, tabulated, ranked and mapped. Amsterdam.
- Hatch, D. (1988). The Distribution of World Climate Conditions. *Journal of Meteorology*, 13(133), 344-349.
- IMAGE Team (2001). The IMAGE 2.2 Implementation of the SRES Scenarios: A Comprehensive Analysis of Emissions, Climate Change and Impacts in the 21st Century [CD-ROM] RIVM CD-ROM Publication 481508018. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment.
- IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 - AR4 SYR Synthesis Report Summary for Policymakers, Ch. 4 Adaptation and mitigation options, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/spms4.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms4.html)
- Isoard, S., Watkiss, P., Voigt, T., Barredo, J., Kristensen, P., Menne, B. (2008). Chapter 7.9: Tourism and recreation. In: Saunders, P., Ullstein, B., Swart, R. (Eds.), *Impact of Europe's changing climate, 2008 indicator--based assessment*, EEA Report No 4/2008. European Communities, Copenhagen, pp. 187-189.
- Lang, T. (2009). Energetische Bedeutung der technischen Pistenbeschneigung und Potentiale für Energieoptimierungen. Bundesamt für Energie, verfügbar auf [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch) (Energie Schweiz – Unternehmen).
- Mieczkowski, Z. (1985). The tourism climatic index: A method of evaluating world climates for tourism. *Canadian Geographer*, 29(3), 220-233.
- Mosello, R., Ambrosetti, W., Arisci, S., Bettinetti, R., Buzzi, F., Calderoni, A., (2010). Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. *Biologia ambientale*, 24 (1): 167-177, 2010. Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale "Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano", a cura di P. Viaroli, F. Puma e I. Ferrari.
- Müller, H.R. & Weber, F. (2008). Climate Change and Tourism – Scenario Analysis for the Bernese Oberland in 2030. In: *Tourism Review*, Vol. 56, Nr. 3, pagg.57-71.
- Nakicenovic, N. e Swart, R.J. (2001). IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schlesinger, M.E. e Williams, L.J. (1998). COSMIC 1.1 Country-Specific Model for Intertemporal Climate. Palo Alto: Electric Power Research Institute.

Simpson, M.C., Gössling, S., Scott, D., Hall, C.M., Gladin, E. (2008). *Climate Change Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices*. UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO: Paris, France.

Teich, M., Lardelli, C., Bebi, P., Gallati, D., Kytzia, S., Pohl, M., Pütz, M., Rixen, C. (2007). *Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneigung*. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.

Tol, R.S.J. (1999). Spatial and temporal efficiency in climate policy: applications of FUND. *Environmental and Resource Economics*, 14(1), 33-49.

Ufficio di Stato per l'Ambiente Bavarese (2009). *Impianti di innevamento artificiale e Neve artificiale*. UmweltWissen – Natur, [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de).

UNDP (2005). *Human Development Report 2005: International Cooperation at a Crossroads: Aid, Trade and Security in an Unequal World*, New York: UNDP.

UNWTO (2007). *Climate Change and Tourism. Proceedings of the 1st International Conference on Climate Change and Tourism* (Djerba, Tunisia, 9-11 April 2003). Convened and organized by the World Tourism Organization.

UNWTO, UNEP e WMO (2008). *Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges*, UNWTO, Madrid, e UNEP, Paris.

Wipf, S., Rixen, C., Fischer, M., Schmid, B., Stoeckli, V. (2005). Effects of ski piste preparation on Alpine vegetation. In: *Journal of Applied Ecology*, Vol. 42, pagg. 306-316.

Witmer, U. (1986). *Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz*, Geographica Bernensia G25.

Wolfsegger, C., Gössling, S., Scott, D. (2008). *Climate Change Risk Appraisal in the Austrian Ski Industry*. In: *Tourism Review International*, Vol. 12, Nr. 1, pagg. 13-23.

WWF (2012). Dossier Coste – Il “Profilo” fragile, [http://www.wwf.it/UserFiles/File/News%20Dossier%20Appti/DOSSIER/WWF\\_DOSSIERCOSTEPROFILOFRAGILE.pdf](http://www.wwf.it/UserFiles/File/News%20Dossier%20Appti/DOSSIER/WWF_DOSSIERCOSTEPROFILOFRAGILE.pdf)

Zanetti, G., Piacenza, M. e Vannoni, D. (2005). *Studio per la riorganizzazione degli impianti di risalita in Valle d'Aosta*, HERMES Documento di Ricerca, Marzo 2005.

Zebisch, M., Tappeiner, U., Elmi, M., Hoffmann, C., Niedrist, G., Pedoth, L., Pinzger, S., Pistocchi, A., Tasser, E. (2011). *Rapporto sul clima: Alto Adige*. EURAC Research.

#### Contenuti web:

European Climate Adaptation Platform (Climate-Adapt): <http://climate-adapt.eea.europa.eu/sat>.

Ministero della Salute (2011): *Programma Nazionale per la prevenzione degli effetti sulla salute da ondate di calore - Estate 2011*, <http://www.salute.gov.it/>.

# Insedimenti urbani

## Sintesi

Gli insediamenti urbani ospitano la parte preponderante della popolazione italiana (90% al Censimento ISTAT 2011) rappresentando nel contempo i maggiori responsabili e le principali vittime dei cambiamenti climatici. Essendo sistemi prevalentemente artificiali sono privi di autonoma resilienza, e la loro capacità di adattamento sarà dunque affidata all'azione umana consapevole; si tratta di una sfida inedita per il governo del territorio, che comporta complesse attività di analisi, valutazione e di interpretazione dei fenomeni, di informazione e coinvolgimento dei cittadini, di selezione di obiettivi ed azioni, di coordinamento tra istituzioni ed amministrazioni diverse.

Gli impatti che i cambiamenti climatici possono indurre sugli insediamenti urbani sono molto diversificati e riguardano – con intensità variabili in funzione delle situazioni locali - la salute dei cittadini, il funzionamento di infrastrutture e di reti tecnologiche, gli incrementi improvvisi di domanda energetica, le modifiche delle condizioni di socialità, stress ambientali nelle aree con naturalità residua e nel verde pubblico, carenze negli approvvigionamenti idropotabili, diminuzione della competitività e della redditività di alcune attività economiche, esasperazione di conflitti sociali e politici, drastica diminuzione della qualità di vita delle fasce più svantaggiate di popolazione, incremento dei rischi legati alle inondazioni, alla instabilità dei suoli e agli incendi, allagamenti negli insediamenti costieri. Soprattutto negli insediamenti di grandi dimensioni, alcuni impatti sono esaltati dal fenomeno tipicamente urbano dell'isola di calore (Urban Heat Island – UHI), che induce temperature mediamente più elevate nelle parti centrali delle città rispetto a quelle periferiche e extraurbane (fino a 5-10 gradi di differenza).

Alcune amministrazioni locali italiane hanno avviato percorsi di formazione di piani di adattamento urbani; nella quasi totalità dei casi ha fornito uno stimolo fondamentale la partecipazione a progetti europei (Amica, UHI, Larks, RACES, GRaBS, Adapto, Gaia, Life Act, Life +, Adapt Alp, Circe, SEAP –Alps, ecc.).

Pur essendo rinvenibili situazioni ricorrenti, ciascun insediamento urbano può essere soggetto ad impatti climatici anche molto differenziati, derivanti dalla combinazione della exposure ai cambiamenti climatici con le caratteristiche dimensionali, localizzative, sociali e produttive dell'insediamento stesso (che può presentare a seconda dei casi una maggiore o minore sensitivity alle forme dei cambiamenti climatici). Per la definizione della exposure assume importanza centrale il downscaling delle previsioni climatiche (i modelli oggi disponibili operano ad una scala di area vasta non compiutamente utilizzabile in ambito urbano) mentre per la comprensione degli impatti e delle vulnerabilità locali risulta fondamentale il climate resiliency study, strumento indispensabile per formulare strategie, priorità, piani di azione tarati sulle reali necessità di ciascun insediamento.

Sotto il profilo metodologico sono disponibili a livello europeo valide guide per redigere piani di adattamento urbano, ed in particolare *“Preparing for climate change”* (Snover et al., 2007), *“Guideline on developing adaptation strategy”* (EC, 2013) e *“Planning for adaptation to climate change: guidelines for municipalities”* (Giordano et al., 2013).

Per quanto concerne il tema dei costi dell'adattamento urbano, va specificato che gli studi e ricerche in materia non consentono ad oggi di formulare quantificazioni affidabili (aggregati e settoriali) a scala nazionale. Va tenuto infatti presente che le azioni di adattamento saranno differenti da città a città (e dunque i costi saranno diversi, rendendo poco praticabile l'identificazione di costi standard), che la loro entità varierà in funzione della severità degli impatti climatici attesi (a sua volta dipendente dallo stato pregresso delle infrastrutture oppure della quantità di edificato esposta a situazioni di rischio), che un insieme di interventi di adattamento potranno risultare a costo zero (ad es. una programmazione e pianificazione urbanistica che includa riferimenti cogenti di contrasto ai cambiamenti climatici) ed infine che una parte degli interventi di adattamento si configurano come *no regret*, ovvero suscettibili di fornire benefici più estesi di quelli riconducibili direttamente all'adattamento climatico. È comunque accertato dalla comunità scientifica, almeno in ambito europeo (EEA 2012; EEA 2012b), che i costi dell'adattamento siano ampiamente inferiori a quelli della inazione, e ne è convincente testimonianza l'attività crescente di numerose città europee che, dopo un'intensa fase di programmazione, hanno recentemente avviato interventi concreti di adattamento climatico delle loro parti più vulnerabili.

## **Cambiamenti climatici e insediamenti urbani: specificità e riferimenti di contesto**

### ***Definizione di insediamenti urbani e loro rilevanza ai fini dell'adattamento climatico***

A livello europeo non esistono definizioni univoche di *“urban area”*, *“city”* oppure *“town”*, anche se viene specificato (EEA, 2012a) che i documenti in materia di adattamento climatico assumono come riferimento principale gli insediamenti con 100 mila abitanti ed oltre, ma nella consapevolezza che alcuni degli impatti climatici e dei percorsi di adattamento siano applicabili anche ad insediamenti di dimensione minore. Si tratta di una posizione ragionevole; infatti se da un lato è dimostrato che la incisività di alcuni impatti climatici cresce con la dimensione dell'insediamento urbano (in particolare ci si riferisce al fenomeno delle isole urbane di calore, di cui si tratterà più avanti nel capitolo), è del tutto evidente che alcuni impatti climatici possono manifestarsi in forme analoghe indipendentemente dalla dimensione dell'insediamento (si pensi al rischio di inondazione, al rischio geomorfologico, all'innalzamento del livello del mare, alla carenza di risorse idriche, ecc).

Per quanto concerne la realtà nazionale, i dati più recenti sulla consistenza degli insediamenti urbani - sia in termini di estensione che di compagine demografica - sono derivabili dal censimento ISTAT 2011, che oltre a fornire dati aggregati a livello degli 8092 comuni italiani, censisce la popolazione distinguendo tra residenti in centri<sup>284</sup>, nuclei<sup>285</sup> e case sparse<sup>286</sup>, ricomprendendo nella nozione di località abitate - ai fini della stima delle superfici urbanizzate - i centri, i nuclei e gli insediamenti produttivi (assunti come privi di residenti). L'Italia - si tratta di un dato storico noto - è caratterizzata da un sistema insediativo estremamente frammentato; le località abitate sono 61.508 - delle quali 21.672 costituite da centri - e occupano il 7.8% della superficie territoriale, ripartita tra un 2.7% destinato a residenza e servizi e un 5.1% destinato ad infrastrutture (strade, ferrovie, aeroporti, ecc), insediamenti produttivi ed impianti tecnologici.

Una prima restituzione quantitativa degli insediamenti urbani italiani può essere fornita dalla loro identificazione con i 21.672 centri dell'ISTAT, che ospitano nel loro complesso 53.409.153 abitanti - corrispondenti al 90% circa della popolazione totale dell'Italia - e occupano una superficie pari al 5.8% di quella nazionale. La distribuzione della popolazione italiana è piuttosto disomogenea (Figura 1.17) presentando aree di concentrazione nelle pianure e lungo le coste, dove sono collocate le principali realtà urbane.

È possibile tuttavia tratteggiare una rappresentazione meno approssimata degli insediamenti urbani italiani assumendo come proxy della popolazione urbana quella censita in ogni comune (ovvero ipotizzando che la popolazione di ciascuno dei 8092 comuni italiani sia concentrata in un solo centro abitato); in questo modo viene restituita una visione sintetica della gerarchia urbana nazionale, utile per un primo approccio alla diversificazione delle problematiche climatiche che interesseranno le diverse componenti insediative.

I centri urbani di grandi dimensioni - ovvero superiori a 100 mila abitanti - sono in Italia 46, ospitando circa un quarto della popolazione totale (13.700.000 persone), mentre quelli di medio-grandi dimensioni (da 40.000 a 100.000 abitanti) sono 151 (con una popolazione totale di 8.845.000 abitanti circa, pari al 15% circa del totale nazionale). Si tratta, in linea generale, dei luoghi ove le problematiche climatiche risulteranno maggiori (almeno in termini quantitativi), ma anche delle realtà presumibilmente più attrezzate sotto il profilo amministrativo e tecnico, ovvero delle realtà - l'esperienza europea questo dimostra - che potranno farsi soggetti attivi nella sperimentazione dei percorsi di adattamento climatico.

---

<sup>284</sup> Aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici (scuola, ufficio pubblico, farmacia, negozio o simili) che costituiscono una forma autonoma di vita sociale e, generalmente, anche un luogo di raccolta per gli abitanti delle zone limitrofe in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso. I luoghi di convegno turistico, i gruppi di villini, alberghi e simili destinati alla villeggiatura, abitati stagionalmente, devono essere considerati come centri abitati temporanei, purché nel periodo dell'attività stagionale presentino i requisiti del centro.

<sup>285</sup> Località abitata, priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di almeno quindici edifici contigui e vicini, con almeno quindici famiglie, con interposte strade, sentieri, piazze, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.

<sup>286</sup> Case disseminate nel territorio comunale a distanza tale da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato.

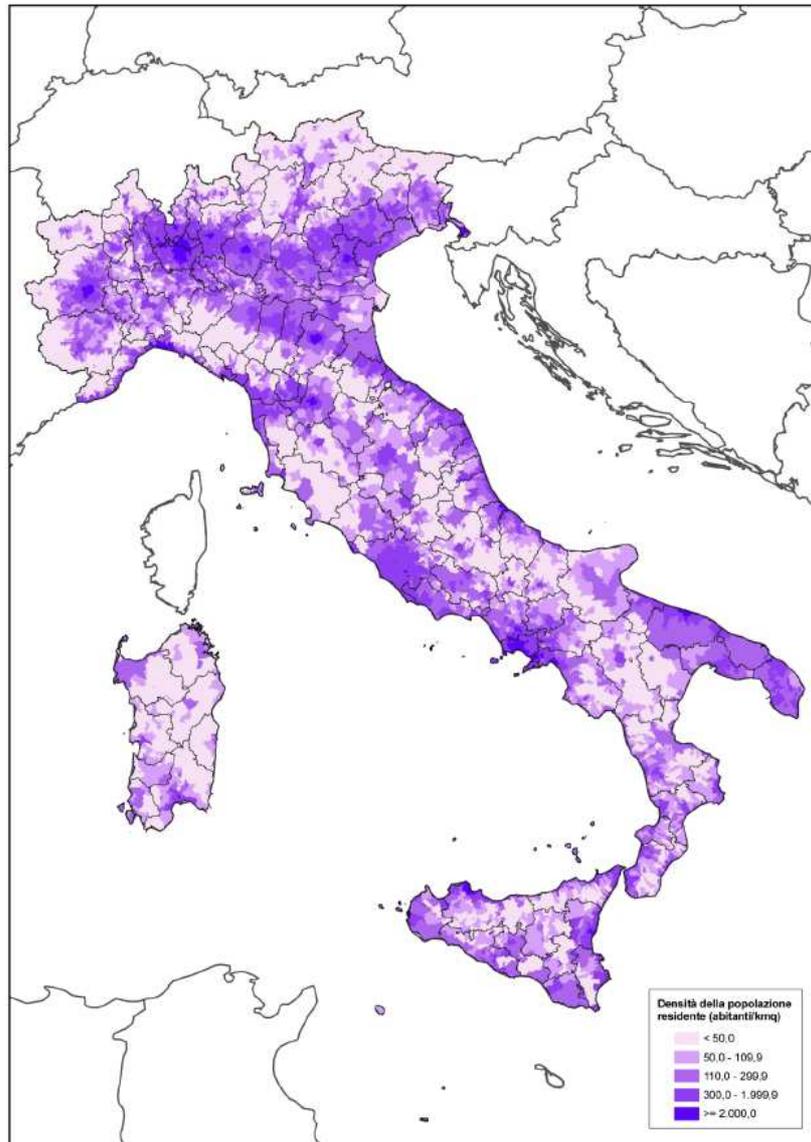
I centri urbani di medio-piccole dimensioni (dai 10.000 ai 40.000 abitanti) sono in totale 1.007 ed ospitano circa il 30% della popolazione italiana (18.206.000 persone); molto più frammentato è infine l'insieme dei centri di piccole dimensioni – fino a 10.000 abitanti - che ospitano una popolazione complessiva analoga (18.714.000 persone; 31.5% del totale nazionale) ma distribuita in 6.888 realtà comunali. La componente della struttura urbana costituita dai centri medio-piccoli e piccoli risulta quindi in Italia maggioritaria sia in termini di numerosità (85% circa dei comuni) che di abitanti insediati (oltre il 60% della popolazione urbana); in questi centri potranno concretizzarsi impatti climatici anche significativi, ma – si ragiona in termini generali – le iniziative di adattamento climatico potrebbero essere frenate da aspetti legati alla piccola dimensione (carenze di informazione, di competenze interne alle amministrazioni, di risorse) e di conseguenza sarà indispensabile dedicare loro adeguata attenzione da parte dei soggetti – Stato, Regioni, Province, Associazioni di enti locali – interessati a promuovere percorsi di adattamento.

Gli insediamenti urbani –assunti nel loro insieme – sono diffusamente riconosciuti come i maggiori responsabili e nel contempo le principali vittime del cambiamento climatico; hanno prodotto e producono la maggior parte delle emissioni climalteranti, ma sono i luoghi ove la concentrazione della popolazione rende gli effetti dei cambiamenti climatici particolarmente severi per la società umana. In questo senso il ruolo delle città può essere definito passivo-negativo considerando la concentrazione al loro interno degli impatti del cambiamento, attivo-negativo per il ruolo di sorgenti delle esternalità clima-alteranti, attivo-positivo se le città si propongono come il luogo deputato alla sperimentazione per l'adattamento (Musco, Patassini, 2012). Va sottolineato inoltre che gli insediamenti urbani sono sistemi in cui i processi naturali sono stati quasi del tutto sostituiti da processi artificiali, e la loro resilienza deve quindi essere assicurata in misura quasi esclusiva dall'azione umana.

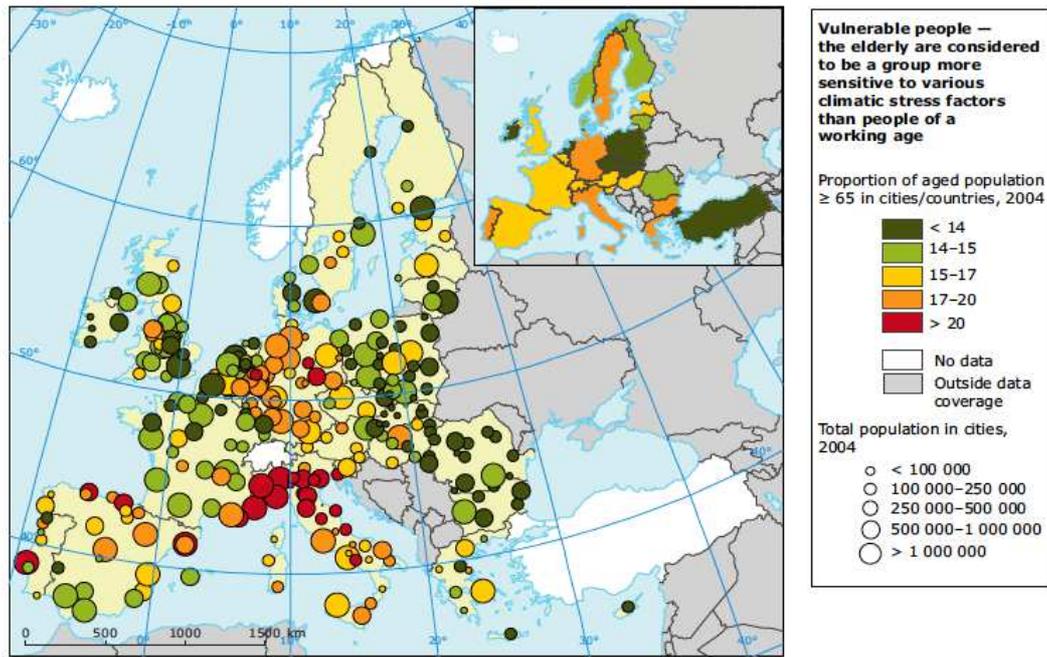
La consapevolezza degli impatti climatici sugli insediamenti, dei rischi cui sono esposte popolazioni e beni, la valutazione della vulnerabilità territoriale, la formulazione di efficaci strategie e politiche urbane sono di conseguenza un banco di prova fondamentale per una strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici, chiamata ad incidere sulla qualità di vita della porzione largamente maggioritaria della popolazione italiana.

Si tornerà ampiamente su questi temi, ma giova sottolineare che l'adattamento degli insediamenti urbani investirà aspetti diversi; dovranno in particolare essere considerati aspetti sociali quali la vulnerabilità di determinate fasce di popolazione - ad esempio le persone con età maggiore di 65 anni (la Figura 2.17 mostra come questa sia una criticità rilevante per l'Italia) ma anche la popolazione a basso reddito e in condizioni abitative precarie- economici, ambientali, culturali. La struttura stessa – fisica ed organizzativa – delle città dovrà progressivamente mutare; i cambiamenti climatici, come suggerisce la fig 3, potranno tradursi in un southern shift che porterà Roma, ad esempio, a sperimentare condizioni climatiche attualmente proprie di una città alla latitudine di Tunisi. Gli insediamenti urbani – alla luce degli attuali modelli previsivi – dovranno

quindi affrontare un ripensamento profondo della loro struttura e delle forme attuali di gestione; non è retorico ritenerla una sfida inedita nella storia del governo del territorio.



*Figura 1.17: La densità della popolazione costituisce una proxy efficace della distribuzione territoriale delle problematiche legate all'adattamento climatico degli insediamenti urbani (Fonte: ISTAT 2001).*



**Note:** Total population in cities; proportion of population aged  $\geq 65$ .  
 Data for Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Finland, France, Ireland and Latvia are from 2001.

Figura 2.17: La popolazione vulnerabile ai fattori di stress climatico in Europa (Fonte: EEA, 2012a).

Map 2.14 Apparent southward shift of European cities – due to climate change, 2070–2100

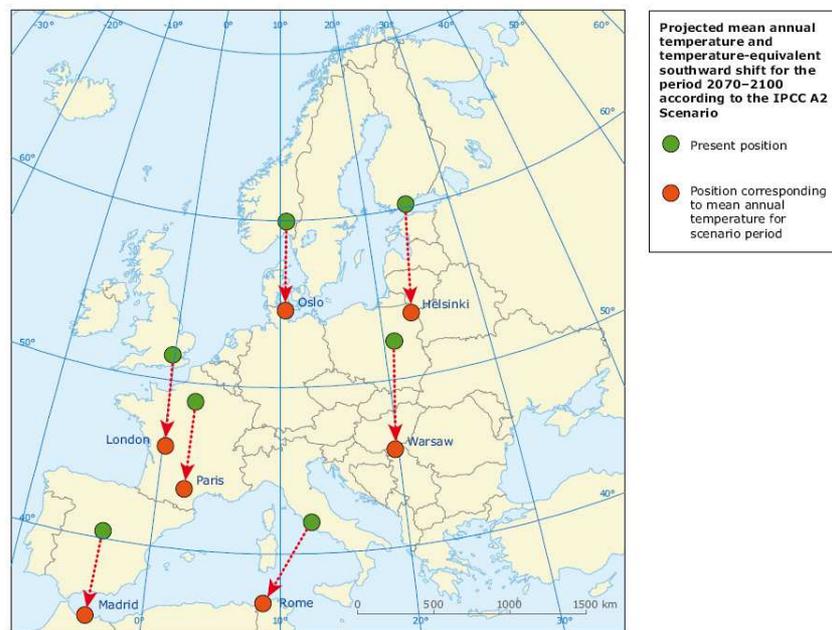


Figura 3.17: I cambiamenti climatici comporteranno un southward shift inedito nella storia degli insediamenti urbani. (Fonte: Hiederer et al. (2009) in EEA (2009), Ensuring Quality of Life in Europe's Cities and Towns, EEA Report no. 5/2009, EEA, Copenhagen).

## ***Complessità e diversità degli insediamenti urbani***

Gli insediamenti urbani sono sistemi complessi – contenendo al loro interno elementi diversi; edifici residenziali, attività produttive, attrezzature di servizio, infrastrutture e reti, aree verdi, corpi idrici, ecc - che intrattengono ampie relazioni territoriali per quanto riguarda la mobilità delle persone, l'approvvigionamento di risorse idriche ed energetiche, lo scambio di materie prime e beni di vario tipo, la gestione dei rifiuti, l'emissione di inquinanti. Gli insediamenti urbani possono inoltre essere molto diversi tra di loro per la dimensione, per le funzioni territoriali, per la collocazione geografica (costiera, collinare, montana, di pianura) nonché per la struttura sociale ed economica ospitata. Non va infine sottaciuta la peculiarità della forma urbana della città mediterranea, che la rende differientemente resiliente agli impatti di una città di altri contesti europei e di altre culture urbanistiche. Di conseguenza le loro interrelazioni con gli impatti dei cambiamenti climatici possono presentare un campo di variabilità molto esteso.

Assumere come campo di osservazione le relazioni tra i cambiamenti climatici e gli insediamenti urbani nel loro insieme significa dunque necessariamente operare una lettura trasversale di molti aspetti affrontati settorialmente in altri capitoli del presente rapporto; in altre parole il tema insediamenti urbani presenta una pluralità di crossing con temi quali risorse idriche, infrastrutture, dissesti idrogeologici, salute, energia, zone costiere, turismo e altre attività produttive.

Tenendo conto di questi elementi, il presente contributo è stato sviluppato associando due approcci complementari, uno comprensivo – che fornirà un quadro sintetico ma ragionevolmente esteso degli impatti e delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici proprie degli insediamenti urbani; un quadro si è detto utile anche per comprendere le interrelazioni con altri settori di studio – e uno specifico che di converso svilupperà i temi maggiormente caratterizzanti gli insediamenti urbani, in particolare dando conto dello stato delle ricerche climatiche applicate alle città in merito ad aspetti quali le isole urbane di calore e il ruolo del verde urbano, dell'utilizzo di strumenti conoscitivi e di governo ad oggi sviluppati dalle amministrazioni locali più sensibili (Climate resiliency studies, Strategie di adattamento e Piani di adattamento) e, non ultimo, della percezione e dell'atteggiamento dei cittadini rispetto alle mutazioni che riguardano e riguarderanno il loro habitat di vita quotidiana.

## ***Il ruolo dei cambiamenti climatici nell'amplificare le criticità pregresse***

È diffusamente riconosciuto che, in molte realtà urbane, i cambiamenti climatici si presenteranno come amplificatori di criticità pregresse; ad esempio parti di città già oggi affette da difficoltà di drenaggio o da un rilevante rischio idraulico saranno prevedibilmente interessate da fenomeni ancor più severi a seguito del mutamento del regime delle piogge, così come zone particolarmente sottodotate di verde urbano vedranno diminuire ulteriormente la propria qualità insediativa a causa dell'incremento aggiuntivo dei picchi di calore.

Questa correlazione tra effetti dei cambiamenti climatici e criticità pregresse ha indotto alcune amministrazioni locali a considerare il tema dei cambiamenti climatici anche nell'ambito dei

propri strumenti ordinari di pianificazione urbanistica, ad esempio introducendo discipline più prudenti di salvaguardia dai rischi idraulici e geomorfologici, regolamentazioni più avanzate in materia di prestazioni energetiche degli edifici, misure tese ad incrementare la consistenza delle reti verdi e delle reti blu all'interno della città. A livello di programmazione della spesa pubblica, per motivi analoghi, le amministrazioni sensibili ai temi climatici tendono a privilegiare gli interventi no regret, che, generalmente di costo contenuto riescono ad attenuare futuri impatti climatici e a produrre benefici nel breve termine negli insediamenti urbani.

### ***Gli insediamenti urbani come terreno di sperimentazione dell'adattamento climatico***

Molte città europee di grandi e medie dimensioni (Londra, Copenhagen, Stoccarda, Stoccolma, Rotterdam), già a partire dai primi anni di questo secolo, hanno sperimentato trasformazioni urbane innovative (vedi casella di approfondimento) e predisposto dei Piani di adattamento a livello locale, che hanno fatto seguito ai precedenti Piani clima incentrati sul risparmio energetico, ovvero tarati sui registri della mitigazione. Queste esperienze, veicolate da numerosi progetti europei e dalle associazioni di città (ad es. ICLEI e Covenant of Mayors) hanno evidenziato la contiguità tra strategie di mitigazione (rappresentate dai PAES-Piani di Azione per l'Energia Sostenibile) e strategie di adattamento, e indotto alcune amministrazioni locali italiane, anche in assenza di un quadro di riferimento nazionale, ad avviare la redazione di strumenti mirati all'adattamento.

Si tratta di iniziative importanti per almeno due motivi. Il primo risiede nel fatto che si sperimenti una via italiana all'adattamento climatico degli insediamenti urbani, testando le difficoltà che sempre accompagnano la concezione di strumenti innovativi, non ultime quelle relative alla loro accoglienza da parte del network istituzionale e del complesso quadro normativo che regola il governo del territorio. Il secondo consiste nell'aver evidenziato come la strategia italiana di adattamento in formazione dovrà considerare con estrema attenzione – valorizzandole - le iniziative locali di adattamento, fornendo informazioni, metodi e una rete di governance capaci di ampliare il più possibile la platea di soggetti e di istituzioni impegnate nella sfida climatica. Infatti gli insediamenti urbani hanno amministratori e cittadini, ed è fisiologico che tali attori divengano soggetti attivi della strategia nazionale di adattamento.

### Esempi di design urbano per prevenire i danni da inondazioni (EEA, 2012)

**Amsterdam e Almere (Paesi Bassi):** Si sono costruite isole artificiali con case galleggianti (floating houses) che in maniera naturale si adattano al livello dell'acqua.<sup>287</sup>

**Malmö (Svezia):** Si sono costruiti sistemi di drenaggio come **tetti verdi** (green roofs) e canali aperti che veicolano l'acqua piovana in punti di raccolta che formano una riserva temporanea di acqua.<sup>288</sup>

**Rotterdam (Paesi Bassi):** Si sono realizzati canali aperti che veicolano il flusso di acqua. Esistono nella città dei "water squares", che sono degli spazi pubblici che raccolgono temporaneamente l'acqua durante gli eventi di intense precipitazioni o eventi di inondazioni.<sup>289</sup>

**Vienna (Austria):** il sistema fognario fornisce già un sistema efficiente di raccolta dell'acqua piovana mediante un sistema di monitoraggio/controllo continuo e mediante la gestione delle pompe lungo i 2300 km del sistema al fine di prevenire possibili deflussi durante eventi di intensa precipitazione.<sup>290</sup>

**Nijmegen (Paesi Bassi):** si stanno esplorando possibili difese da inondazioni ristrutturando parcheggi auto, edifici abitativi e non abitativi, strade applicando il concetto di Adaptable Flood Defences (AFD), (Stalenberg and Vrijling, 2009).

### La strategia di adattamento di Rotterdam, Paesi Bassi

Rotterdam, città portuale costruita su un sistema di delta fluviali, si è dotata nel 2009 di un adaptation programme denominato "Rotterdam Climate Proof", successivamente sviluppato (2013) nella RAS, "Rotterdam Adaptation Strategy".<sup>291</sup> Dopo una parte introduttiva, nella RAS sono indicati i mutamenti climatici attesi (innalzamento del livello del mare, piogge intense, abbassamento e innalzamento dei fiumi, aumento delle giornate calde e di quelle siccitose) e individuati i principali fattori di vulnerabilità, rappresentati dalle acque provenienti dal mare, dai fiumi, dalle falde e dalla pioggia. Una vulnerabilità palesemente storica: il sistema di delta e polder è già protetto da una serie di argini e barriere, ad oggi abbastanza efficace ma prevedibilmente inadeguato di fronte alle situazioni estreme attese nel futuro.

Il capitolo successivo descrive i sei obiettivi della strategia: proteggere la città dal mare e dal fiume;

<sup>287</sup> <http://www.deltasync.nl/deltasync>; <http://marquetteturner.com/2011/the-floating-houses-of-amsterdam>.

<sup>288</sup> <http://www.malmo.se/English/Sustainable-City-Development/Bo01--Western-Harbour/Green-City.html>;  
<http://www.malmo.se/English/Sustainable-City-Development/Augustenburg-Eco-City/The-Green-City>

<sup>289</sup> [http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/en/english\\_2011\\_design/100\\_climate\\_proof/projecten/water\\_plazas\\_playgrounds\\_doubling\\_as\\_water\\_storage?portfolio\\_id=59](http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/en/english_2011_design/100_climate_proof/projecten/water_plazas_playgrounds_doubling_as_water_storage?portfolio_id=59).

<sup>290</sup> <http://www.wien.gv.at/umweltschutz/umweltbericht/pdf/abwasser.pdf>.

<sup>291</sup> [www.rotterdamclimateinitiative.nl](http://www.rotterdamclimateinitiative.nl).

affrontare gli eventi estremi; mantenere l'accessibilità del porto; rendere la popolazione consapevole; mantenere il benessere e la qualità della vita; utilizzare l'adattamento climatico per rafforzare l'economia.

Il documento della RAS prosegue illustrando quattro possibili scenari climatici ed elenca le conseguenze dell'innalzamento del livello del mare e dei fiumi (che comporterà maggiore rischio di inondazioni, chiusure più frequenti delle barriere di protezione), della concentrazione delle piogge (problemi di drenaggio; maggiori rischi di disservizi e danni), della siccità (minore livello e bassa qualità dell'acqua; intrusione salina; maggiori danni al costruito, alla flora e alla fauna; basso livello dei fiumi e blocco delle attività portuali) ed infine dei picchi di calore (diminuzione del comfort termico urbano; effetti negativi sulla salute; maggiore probabilità di danni a flora e fauna). La RAS utilizza questi elementi per analizzare quali saranno le conseguenze concrete per le diverse parti della città, redigendo dettagliate risk maps inerenti il sormonto delle dighe (sia per le aree esterne che per quelle interne), gli allagamenti, la risalita delle acque salate, la configurazione della isola di calore urbana.

Sono successivamente indicati gli interventi di adattamento. L'innalzamento dei livelli idrici viene affrontato sia nelle aree esterne agli argini (prevedendo la ottimizzazione della barriera di protezione, la progettazione di edifici flood-proof, il rinforzo delle infrastrutture principali, l'incremento della consapevolezza degli abitanti) sia in quelle interne agli argini (ottimizzazione della barriera di protezione, rinforzo degli argini, miglioramenti gestionali delle crisi). Per circoscrivere gli effetti delle piogge intense si propone l'aumento delle superfici verdi e di drenaggio, per circoscrivere quelli della siccità un analogo aumento delle green and blue infrastructures, con effetti positivi anche sui picchi di calore, da affrontare tuttavia anche con l'incremento di consapevolezza delle categorie a rischio.

Con il fine di esplicitare con chiarezza i mutamenti urbani che comporterà l'adattamento climatico, la RAS contiene una descrizione di come cambieranno le diverse parti della città (in particolare porti commerciali, porti turistici, distretti esterni alle dighe, distretti interni, parti centrali della città, quartieri recenti e periferici) per divenire climate proof; una descrizione della città al futuro decisamente efficace per far comprendere ai cittadini i vantaggi e gli esiti concreti di azioni proiettate in futuro anche lontano.

L'ultima parte della RAS è dedicata infine ad alcuni strumenti che ne accompagneranno la attuazione quali Interactive Climate Atlas per l'aggiornamento continuo delle informazioni, Climate Adaptation Barometer per il monitoraggio delle azioni avviate, Climate Adaptation Tool Box per selezionare le misure di adattamento; una attenzione – quella per la dimensione attuativa – che va di pari passo con una particolare sensibilità verso gli aspetti della comunicazione, sensibilità che ad esempio ha portato a realizzare un floating pavilion nel Rijnhaven, concepito come icona di un nuovo adaptive building e, più in generale, come rappresentativo di nuovi rapporti tra pianificazione, architettura, gestione dell'acqua e del clima.

## Impatti dei cambiamenti climatici e vulnerabilità degli insediamenti urbani

### *Gli impatti attesi dei cambiamenti climatici negli insediamenti urbani: un quadro generale*

Si è già detto che gli impatti generati dai cambiamenti climatici sugli insediamenti urbani sono variabili in funzione della magnitudine dei mutamenti stessi (exposure) nonché di un insieme complesso di elementi di contesto propri di ciascun insediamento (sensitivity); incidono ad esempio la localizzazione altimetrica e il regime dei venti, la dimensione dell'impronta costruita, lo stato delle dotazioni infrastrutturali, il grado di disponibilità di risorse idriche ed energetiche, la natura delle attività economiche, i livelli di reddito e di istruzione della popolazione, la entità delle criticità pregresse in materia di rischi idrogeologici, di dotazioni di verde urbano e di servizi, le condizioni di mobilità, ecc. Ogni insediamento urbano esprime inoltre una capacità di risposta (capacità adattiva) che può favorire il contenimento di alcuni impatti; sono in tal senso influenti anche il grado di consapevolezza dei cittadini e la capacità di governo delle amministrazioni locali.

La determinazione degli impatti attesi e di conseguenza della vulnerabilità di un dato insediamento comporta dunque studi specifici – il “climate resiliency study” di cui si tratterà nelle sezioni successive – ma in termini generali è possibile tratteggiare un insieme di impatti climatici abbastanza ricorrenti – seppur con intensità come si è detto variabile in funzione delle condizioni locali - nelle realtà urbane. Da un esame della vasta letteratura in materia l'insieme di questi impatti è così sintetizzabile:

- **impatti sulla salute e sul benessere insediativo** - derivanti sia dall'incremento dei picchi di temperatura (in particolare dalle ondate di calore<sup>292</sup>) che dall'effetto di amplificazione (isola urbana di calore) che si riscontra nelle parti centrali delle città. A questo è da aggiungersi il peggioramento della qualità dell'aria indotto dalle temperature sulle varie componenti atmosferiche (PM, ozono, ecc.);
- **impatti sulle infrastrutture e sulle reti tecnologiche** - in quanto le piogge concentrate e gli eventi estremi (inondazioni) sono suscettibili di danneggiare ponti, strade, impianti di

---

<sup>292</sup> Le ondate di calore sono condizioni meteorologiche estreme che si verificano durante la stagione estiva, caratterizzate da temperature elevate, al di sopra dei valori usuali (generalmente medie stagioni estive) che possono durare giorni o settimane. L'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (World Meteorological Organization – WMO) non ha formulato una definizione standard di ondata di calore e, in diversi paesi, la definizione si basa sul superamento di valori soglia di temperatura definiti attraverso l'identificazione dei valori più alti osservati nella serie storica dei dati registrati in una specifica area. Un'ondata di calore è definita in relazione alle condizioni climatiche di una specifica area e non è quindi possibile definire una temperatura-soglia di rischio valida a tutte le latitudini. Oltre ai valori di temperatura e di umidità relativa, le ondate di calore sono definite dalla loro durata. Periodi prolungati di condizioni meteorologiche estreme hanno un impatto sulla salute maggiore rispetto a giorni isolati con le stesse condizioni meteorologiche. (fonte: Protezione Civile).  
[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view\\_dossier.wp?sessionid=7B6CD0746300DAB7CDDDEF19906F70D3?contentId=DOS19902](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_dossier.wp?sessionid=7B6CD0746300DAB7CDDDEF19906F70D3?contentId=DOS19902).

depurazione, reti idriche, reti elettriche e di telecomunicazione; piogge intense possono inoltre comportare il superamento dei limiti di portata delle reti fognanti causando allagamenti nelle zone più basse dell'insediamento;

- *impatti sul settore energetico - incrementi improvvisi della domanda energetica*, con conseguente maggiore probabilità di *black-out*, dovuti alla elevata climatizzazione di abitazioni e luoghi di lavoro durante i picchi di calore;
- *impatti sulle condizioni di socialità* - dovuti alla minore frequentazione (causa temperature eccessive) di spazi pubblici e luoghi di incontro (piazze, strade, centri ricreativi, ecc);
- *impatti sulla biodiversità urbana* - legati all'aumento dello stress di habitat naturali o seminaturali presenti nel perimetro urbano;
- *impatti sulle aree di verde pubblico* - dovuti sia alla siccità estiva che all'incremento della loro frequentazione indotta dalla offerta di più favorevoli (rispetto al costruito) condizioni climatiche;
- *impatti sulle risorse idriche* - carenze negli approvvigionamenti idropotabili dovuti ai mutati regimi delle piogge, ed in particolare all'allungamento dei periodi siccitosi estivi;
- *impatti sulla competitività e sulle opportunità economiche*- soprattutto negli insediamenti dove il sistema produttivo è basato sull'agricoltura, sulla selvicoltura, sulla pesca e sul turismo;
- *impatti sulle strutture sociali e politiche*- dovuti alla necessità di destinare ingenti risorse umane e finanziarie a servizi pubblici sanitari e di prevenzione dei rischi, nonché al ripristino di strutture danneggiate dagli eventi estremi;
- *impatti particolarmente severi sulla qualità di vita di determinate fasce di popolazione* - ovvero quelle a minor reddito, i malati, gli anziani soli, gli immigrati recenti, le persone con condizioni abitative precarie;
- *impatti connessi alle esondazioni fluviali* - in quanto il mutato regime delle piogge può comportare un incremento delle portate di piena rispetto alle statistiche storiche e dunque mettere in pericolo anche aree in passato considerate sicure;
- *impatti connessi all'aumento della franosità* - indotti dalle piogge concentrate. Sotto questo profilo l'Italia presenta una situazione preoccupante, atteso che il Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) ha censito circa 485.000 fenomeni franosi, il 12% dei quali suscettibili di comportare danni a persone e cose; le superfici caratterizzate da alta criticità geomorfologica sono state stimate (elaborazioni CRESME su dati MATTM, 2012) pari a circa

29.500 kmq, dei quali 12.300 soggetti a rischio alluvioni, 15.700 a rischio frane e 1.500 a rischio valanghe.<sup>293</sup>

- **impatti generati dall'innalzamento del livello del mare** - che possono comportare – soprattutto in concomitanza con tempeste e maree eccezionali – l'allagamento degli insediamenti costieri poco elevati, con rischi anche per il patrimonio storico e artistico (un esempio paradigmatico è naturalmente Venezia). In alcune zone dell'Italia questi impatti risultano sinergici con fenomeni di subsidenza, anche di origine antropica (estrazione di gas dal sottosuolo).

Pur nella sua genericità, il quadro ora tratteggiato esprime con chiarezza la pluralità di “crossing” che impone il contrasto dei cambiamenti climatici in ambito urbano, atteso che i potenziali impatti interessano versanti ambientali, insediativi, infrastrutturali e produttivi (Figura 4.17). A titolo esemplificativo si sono indicati (Figura 5.17) i crossing rinvenibili tra il tema *insediamenti urbani* e le diverse aree tematiche costitutive il presente rapporto. Sono stati omessi, per evidente interdipendenza, i crossing con i temi inerenti i cambiamenti climatici (passati e futuri) e con gli altri temi di natura territoriale (Alpi, Appennini e Bacino del Po) che ricomprendono insediamenti urbani (e non dei minori) al proprio interno.

Una conseguenza diretta della molteplicità degli impatti attesi negli insediamenti urbani è la molteplicità degli attori istituzionali che – assieme ai cittadini - dovranno essere coinvolti nelle politiche di adattamento. Questi attori avranno responsabilità a diverse scale territoriali (stato, regioni, province, comuni) oppure responsabilità di determinati settori (autorità di bacino, enti di gestione di servizi energetici, idrici, ecc).

Le esperienze europee indicano come strada maestra da seguire quella della “multilevel governance”, Particolarmente delicata sarà l'attribuzione di responsabilità agli enti locali e soprattutto ai comuni - istituzioni tradizionalmente molto influenti sui cittadini e fino ad ora i più sensibili al tema dell'adattamento climatico - che se dotati di adeguati indirizzi e risorse possono svolgere l'indispensabile ruolo di coordinamento di un network istituzionale necessariamente ampio, riconducendo ad unità di azione competenze e responsabilità molto differenziate. L'assegnazione delle competenze è fondamentale se l'aspettativa è quella dell'attuazione del portfolio di azioni di adattamento identificate in fase di costruzione del piano.

---

<sup>293</sup> Il Ministro per l'Ambiente, Tutela del Territorio e del Mare, nell'audizione presso la Commissione VIII della camera dei Deputati (luglio 2012), ha stimato un fabbisogno di risorse per interventi di risanamento idrogeologico pari a circa 1.2 miliardi di Euro annui per venti anni.

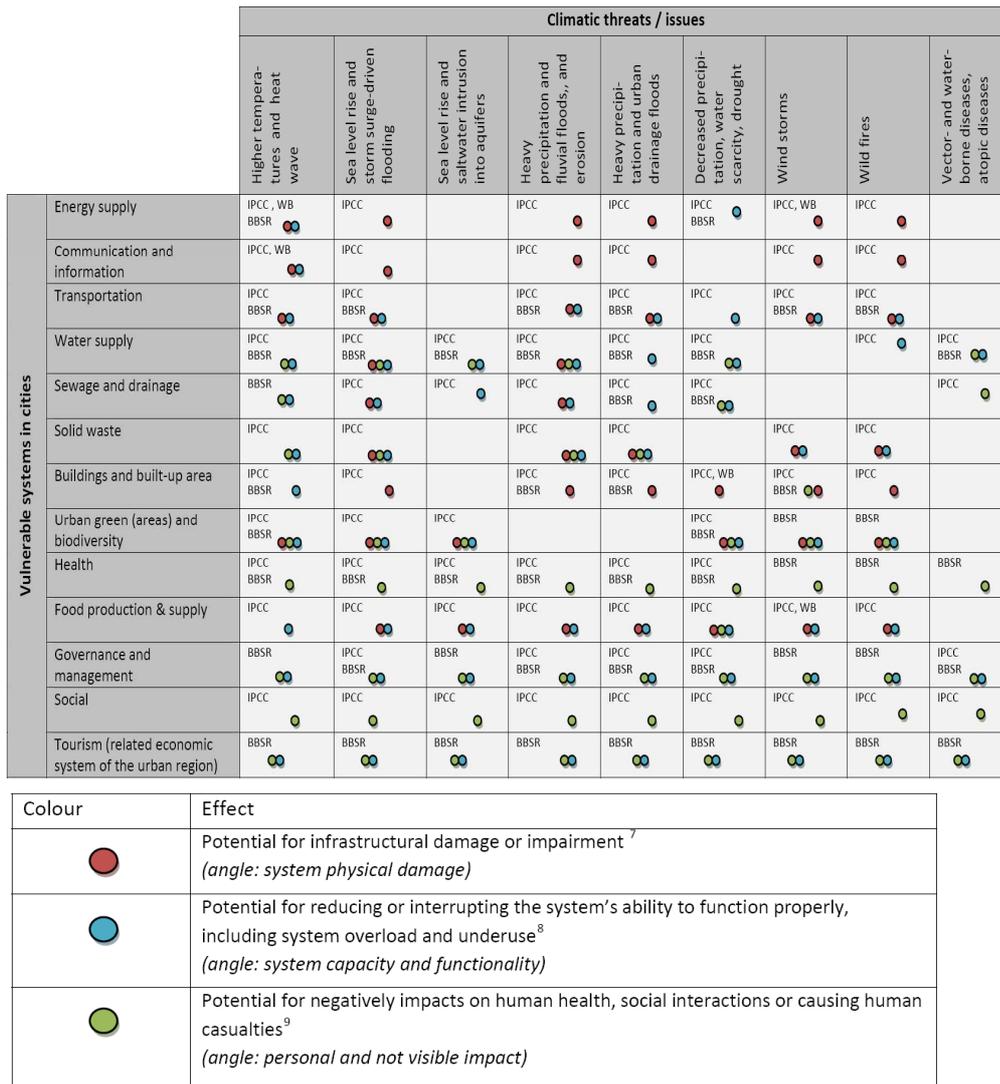


Figura 4.17: Esempi di interazione tra insediamenti urbani e impatti climatici secondo IPCC (2007), World Bank (2008) e BBSR (Bundesinstitut für Bau Stadt und Raumforschung, 2009) (Fonte: ETC/ACC, 2010).

Impatti attesi negli insediamenti urbani	Aree tematiche														
	Risorse idriche	Desertificazione	Dissesto idrogeologico	Ecosistemi terrestri	Ecosistemi marini	Ecosistemi acque interne	Salute	Foreste	Acquacoltura, pesca	Agricoltura produzione alimentare	Energia	Zone costiere	Turismo	Patrimonio culturale	Trasporti
Salute e benessere							d				d				
Infrastrutture e reti			d								d	d			d
Domanda energetica											d				
Condizioni di socialità				d										d	
Biodiversità urbana		d		d	d	d		d							
Verde pubblico				d				d							
Approvvigionamento idropotabile	d														
Impatti sulla competitività e sulle attività economiche	d	d	d						d	d	d	d	d	d	d
Strutture sociali e politiche	d		d				d				d				d
Qualità vita di fasce deboli	d		d				d		d						
Esondazioni fluviali			d												d
Rischio geomorfologico		d	d												d
Innalzamento livello mare												d	d	d	d
d	Principali Crossing														

Figura 5.17: Possibili crossing tra impatti in ambito urbano e aree tematiche della Strategia Nazionale di Adattamento Climatico per l'Italia.

## ***Dati, studi e ricerche in materia di impatti e di vulnerabilità climatica urbana***

### ***Vulnerabilità urbana: indicatori e dati osservativi***

La conoscenza della vulnerabilità e della sua distribuzione territoriale a scale spazio-temporali adeguate alla dimensione urbana è indispensabile per supportare una effettiva pianificazione locale e regionale. Tenendo conto di quanto emerge dalla comunità scientifica, l'approccio di stima della vulnerabilità climatica basato sull'aggregazione d'indicatori specifici relativi alle varie componenti appare essere appropriato e notevolmente diffuso (Harvey et al., 2009).

Tali indicatori sintetizzano in modo quantitativo l'effetto combinato di variabili territoriali connesse a sottoinsiemi dei fattori climatici, elaborandoli sulla base di modelli variamente consolidati. Un aspetto critico della valutazione di vulnerabilità a livello urbano riguarda tuttavia la disponibilità di dati di partenza adeguati in termini di scale spazio-temporali e tematismi.

Sebbene a livello europeo non esista ancora una base di dati unitaria dedicata a queste esigenze specifiche, per migliorare la conoscenza della distribuzione territoriale degli indicatori di vulnerabilità climatica urbana varie organizzazioni (EEA, JRC, ecc.) si sono impegnate recentemente con progetti specifici come IUME (Integrated Urban Monitoring Europe) o EVDAB (European Data Base of Vulnerability for Urban Areas).

A livello nazionale non risulta ancora operativa una banca dati mirata a queste specifiche esigenze sebbene, grazie ad uno sforzo di omogeneizzazione e standardizzazione da parte delle amministrazioni regionali e centrali (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, ecc.) oggi esistano delle basi dati e geoportali (ad es. il Geoportale Nazionale, [www.pcn.minambiente.it](http://www.pcn.minambiente.it), o i vari servizi cartografici regionali) contenenti un numero rilevante di dati ambientali e territoriali spazializzati con possibilità di servizi avanzati per supportare svariate elaborazioni che possono impiegare tecnologie di cartografia tematica e numerica, GIS, e o che possono combinarsi con analisi di telerilevamento aerospaziale, presupposto indispensabile per la costruzione di indicatori specifici a scala urbana. Una sperimentazione di interesse è stata avviata dalla Provincia di Venezia per impostare il database necessario alla redazione di uno schema di Piano di Adattamento per la futura Città Metropolitana veneziana. L'impiego di tecnologie Lidar (Laser Imaging Detection and Ranging) e DIM (Dimage Image Matching) permetteranno l'implementazione di un nuovo sistema informativo geografico, finalizzato a supportare le amministrazioni comunali nelle fasi di individuazione e implementazione del portfolio di azioni di adattamento per la scala locale (Musco, Maragno et al., 2013)

Nel settore del telerilevamento aerospaziale la disponibilità della mole di dati derivanti dalle varie missioni di EO (Earth Observation) operative, sostenute dalle agenzie nazionali statunitensi, italiane (NOAA, NASA, ASI) ed internazionali (ESA) a cui si sono aggiunte società private specialmente nel settore dell'alta risoluzione spaziale (GeoEye, QuickBird, WorldView) e delle piattaforme aeree, vede anche un impegno delle competenze ENEA in collaborazione con quelle delle imprese nello sviluppo di nuove tecnologie/metodologie applicative sulla base di crescenti

esigenze delle amministrazioni e del mercato a sostegno dell'analisi climatologica e dell'impatto derivanti da eventi naturali o di origine antropica.

Le informazioni fornite dal sistema di osservazione globale della terra (Global Observing System) basato su costellazioni di satelliti in orbita polare o geostazionaria dotati di svariata sensoristica ed integrato da una rete di rilievi aerei ed a terra, non solo supportano efficacemente le necessità di monitoraggio routinario legate al clima, alla meteorologia, alla pianificazione e controllo territoriale, ma attualmente sono diventate uno strumento insostituibile nel settore della gestione delle emergenze ambientali di origine naturale ed antropica sia nelle fasi di rilevazione dei fenomeni (Early Warning) che in quelle di gestione delle crisi successive (inventario, mitigazione, ecc).

I programmi internazionali GTOS (Global Terrestrial Observation System), GCOS (Global Climate Observation System) e GOOS (Global Ocean Observation System) - che costituiscono la base del GOS - da anni sono condotti dalle varie agenzie nazionali con l'obiettivo della messa in comune dei dati e prodotti derivati e della sinergia tra le varie componenti tanto che attualmente - anche sotto la spinta dello sviluppo della rete informatica globale - da qualche anno si è costituito il GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) con l'obiettivo di una maggiore integrazione e la connessione in rete di tutti questi sottosistemi di monitoraggio globale sfruttando le capacità di distribuzione dei dati in tempo reale.

Ormai le missioni di telerilevamento satellitare - sulla base anche di serie storiche di rilevazioni che in molti casi sono disponibili a partire da alcune decenni - possono fornire la mappatura delle variabili ambientali sulle quali progettare una calibrazione e validazione di indicatori specifici a supporto delle politiche di adattamento.

### *Dati climatici storici e futuri: il tema del downscaling*

La valutazione della vulnerabilità urbana e della sua capacità di resilienza - oltre che dall'analisi delle caratteristiche ambientali e socio-economiche specifiche nonché dell'andamento storico delle variabili climatologiche si basa anche sulla possibile evoluzione del clima nel quadro delle ipotesi previste dagli scenari climatici.

Per quanto attiene le serie storiche delle variabili climatologiche sono disponibili data set cartografici congruenti a livello mondiale (Hijmans et al., 2005, sintesi 1950-2000) ottenuti tramite tecniche d'interpolazione dei rilievi storici delle stazioni meteo delle maggiori reti internazionali quali: GHCN (Global Historical Climatology Network), FAO (Food and Agriculture Organization), WMO (World Meteorological Organization), CIAT (International Centre for Tropical Agriculture), R-Hydronet ed altre reti minori in Australia, Nuova Zelanda, Nord-Europa ed America Latina.

Tali geodatabase contengono le distribuzioni geografiche relative alle variabili climatiche (temperatura, precipitazione, ecc.) a partire dal 1950 ed articolate in medie mensili. La risoluzione di circa 1 km, sebbene non ottimale, risulta adatta a valutazioni preliminari (preliminaries assessments) a livello urbano.

Riguardo alle situazioni climatiche future le proiezioni prodotte da modelli climatici globali (GCM - Global Climate Models) accoppiati atmosfera – oceano e non accoppiati, basate su scenari di emissione referenziati nei rapporti IPCC, necessitano di essere sottoposte a processi di downscaling per poter essere utilizzate per le valutazioni a livello urbano.

Infatti, le dimensioni tipiche della cella di risoluzione della componente atmosferica dei GCM sono oggi dell'ordine di 50-100 km, anche se sono in corso attività di ricerca che mirano a migliorare ulteriormente questa risoluzione orizzontale. È necessario comunque procedere al downscaling di questi output (fino a circa 1 km) per poterli utilizzare in valutazioni di vulnerabilità urbana. Esistono due principali metodologie per effettuare il downscaling: il downscaling dinamico mediante l'uso di modelli climatici regionali (RCM – Regional Climate Models), che possono già ora permettere di arrivare a risoluzioni orizzontali sotto i 10km e il downscaling statistico mediante tecniche di regionalizzazione statistica che permettono di fornire la stima di grandezze non riproducibili facilmente dai modelli climatici (ad esempio i valori estremi) con tempi e costi di calcolo abbastanza contenuti. Entrambi i metodi necessitano di serie storiche omogenee, in particolare per la costruzione e la validazione del downscaling statistico.

Un approccio complementare prevede l'uso integrato di dati acquisiti tramite tecniche di telerilevamento aerospaziale satellitari ed aeree ad alta risoluzione spaziale, per la caratterizzazione geometrica 3D e tipologica di un ambiente urbano a scala di dettaglio nelle sue componenti di tipo infrastrutturale, della vegetazione e del suolo. Tali dati sono poi utilizzati per la calibrazione e validazione di modelli di tipo SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transport) di ultima generazione implementati specificamente per applicazioni di simulazioni microclimatiche 3D a scala urbana.

### *Impatti e DSS*

La valutazione della vulnerabilità e del rischio a livello territoriale si riduce spesso all'analisi di singole infrastrutture e dei singoli elementi costituenti il tessuto antropico, prescindendo dall'interazione tra le componenti che assicurano la funzionalità dell'intero sistema.

Pertanto, per mettere a punto una efficace strategia di adattamento ai cambiamenti climatici è necessario fare ricorso ad un approccio basato su analisi integrate di territorio, rischio e vulnerabilità, finalizzate a fornire scenari di previsione e/o simulazione in caso di eventi calamitosi.

Allo stato attuale della conoscenza, le metodologie per la valutazione del danno potenziale in seguito ad un evento naturale calamitoso (sisma, inondazione, frana, alluvione, ecc.) necessitano di un buon livello di definizione delle caratteristiche intrinseche ed estrinseche del territorio (geologia, idrogeologia, morfologia, uso del suolo, popolazione residente, dislocazione lifelines, ecc.) oggetto di continui approfondimenti a livello nazionale ed internazionale. Lo sviluppo di strumenti per la valutazione dei rischi naturali e/o antropici che caratterizzano aree fortemente antropizzate rappresenta un elemento cruciale nella definizione di strategie di gestione del territorio e pianificazione di interventi di mitigazione.

Il panorama internazionale offre esempi di metodologie, procedure e risorse software (anche di ottimo livello tecnologico e scientifico) concernenti la gestione di differenti rischi naturali (Andrienko et al., 2007; Charvat et al., 2008; Cova, 1999). In questo specifico settore, ENEA-UTMEA ha maturato nel corso di questi ultimi anni una notevole esperienza (Borfecchia et al., 2010; Pollino et al., 2012; Ricci et al., 2011; Rosato et al., 2008), anche attraverso la partecipazione a numerosi Progetti di Ricerca nazionali e comunitari, pervenendo altresì allo sviluppo di innovative soluzioni applicative per le problematiche inerenti la valutazione e gestione del rischio e delle emergenze.

Le attività di ricerca e sviluppo scientifico-tecnologico, da un punto di vista operativo, devono mirare allo sviluppo di Sistemi di Supporto alle Decisioni (Decision Support Systems-DSS) di nuova generazione, in grado di effettuare valutazioni dinamiche di rischio dei principali elementi territoriali urbani, in funzione di minacce di natura prevalentemente meteo-climatiche, come inondazioni, eventi estremi (e delle loro ripercussioni geo-dinamiche, come frane e smottamenti, impatti sulle reti tecnologiche, ecc.).

Tali DSS si basano sulla mutua integrazione tra le caratteristiche dei sistemi GIS (Cova, 1999) di gestione ed elaborazione dei dati, le tecniche di modellazione dei fenomeni, di valutazione della vulnerabilità, ed i sistemi di osservazione della Terra (telerilevamento aereo e da satellite). In quest'ottica, essi si configurano come strumenti in grado di supportare efficacemente i decisori istituzionali nell'ambito delle attività di:

- pianificazione e monitoraggio ambientale e territoriale;
- prevenzione e mitigazione del danno derivante da eventi naturali estremi;
- gestione delle emergenze e del post evento;
- supporto alla valutazione del rischio, mediante analisi di vulnerabilità e valutazione di possibili scenari di crisi in caso di calamità naturale.

Tra le iniziative a livello europeo finalizzate allo sviluppo di strumenti per assistere i processi decisionali (DSS) relativi alla pianificazione urbana, si segnala il progetto FP7 "BRIDGE: SustainaBle uRban plannIng Decision support accountinG for urban mEtabolism"<sup>294</sup>, sviluppato con lo scopo di fornire metodi e supporto per il disegno delle alternative di pianificazione e la valutazione del loro impatto in termini fisici, economici e sociali. Firenze è stata la città italiana coinvolta nello studio e la collaborazione tra il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), il CNR-IBIMET e gli amministratori locali ha permesso di valutare, attraverso un ensemble di modelli (Blecic et al., 2011), l'impatto di tre alternative di pianificazione urbana (con livelli crescenti di vegetazione urbana) come possibili strategie di adattamento/mitigazione ai cambiamenti climatici futuri. Lo studio ha inoltre evidenziato che un incremento della intensità di

---

<sup>294</sup> <http://www.bridge-fp7.eu>.

urbanizzazione del 20% può portare ad un aumento di circa 1-1.5°C della temperatura dell'aria (accentuando quindi il fenomeno dell'isola di calore urbana) e un aumento di circa il 25% delle emissioni di carbonio in atmosfera (Marras et al., 2011; 2012).

### ***Il ruolo della vegetazione nel contrasto dei cambiamenti climatici in ambito urbano***

La conoscenza degli scambi di carbonio nelle aree urbane risulta fondamentale per migliorare la comprensione delle interazioni tra i processi naturali e antropogenici che controllano il ruolo delle città nel bilancio di carbonio, al fine di assicurare che gli effetti dell'urbanizzazione non abbiano gravi ripercussioni sulla salute dei cittadini e sul clima (Walsh et al., 2004).

Numerosi studi analizzano il ruolo delle città nei confronti dei cambiamenti climatici (Velasco e Roth, 2010) e sempre più numerose sono le città, a livello internazionale, in cui costantemente si opera il monitoraggio degli scambi di energia, acqua e gas serra<sup>295</sup> attraverso cui è possibile valutare il grado di vivibilità e progettare interventi futuri di adattamento e mitigazione. Tra le città italiane coinvolte in questa attività di monitoraggio internazionale si segnalano Firenze (attualmente attiva), Roma (attiva solo per alcuni anni) e Sassari (in fase di attivazione).

Anche il ruolo delle aree verdi nel ridurre le emissioni di carbonio antropogenico è ormai conosciuto e sempre più numerosi sono gli studi in grado di quantificare l'azione di mitigazione della vegetazione in queste aree (Bergeron e Strachan 2011; Crawford et al., 2011; Järvi et al., 2012). Negli agglomerati urbani, infatti, la presenza di vegetazione è utile per la riduzione della CO<sub>2</sub> e l'aumento dell'ossigeno nell'aria (generato dai processi fisiologici delle piante), per il controllo delle polveri sottili in relazione all'estensione delle tomentose superfici fogliari e alla capacità di assorbimento diretto di alcuni inquinanti ed infine per la mitigazione delle temperature sia degli spazi aperti che degli edifici (anche mediante le coperture verdi).

La complessa problematica può essere, in prima approssimazione, ricondotta all'attenuazione dell'isola di calore urbana e dell'effetto canyon, fenomeni che si accentuano nel periodo estivo quando in città le temperature dell'aria tendono a mantenersi alte anche durante le ore serali. Diverse ricerche sottolineano come le temperature dell'aria siano più alte nelle zone del centro della città e in quelle ad esso limitrofe, aree sovente caratterizzate da una minore presenza di aree verdi, da una maggiore concentrazione di edifici e da una maggiore altezza media degli stessi (Petralli et al., 2006). Un esempio di questo effetto è riportato nella figura 6.17.

La riduzione delle temperature estreme è legata all'azione ombreggiante delle chiome, che impediscono alla radiazione solare di riversarsi direttamente sui materiali artificiali con ridotta emissione di energia sotto forma di calore. Infatti l'albedo, nel caso di vegetazione spontanea o coltivata, è nell'ordine del 20-30%, mentre nelle aree edificate è mediamente più basso, fino a valori inferiori al 5% nel caso di superfici asfaltate. I minori valori di albedo comportano un maggiore

---

<sup>295</sup> <http://www.geog.ubc.ca/urbanflux/>.

assorbimento della radiazione solare nei materiali artificiali, che nelle ore successive cederanno il calore molto lentamente estendendo la durata dei picchi di calore.

L'emissione nell'infrarosso risulta in parte bloccata nei canyon urbani e quindi assorbita dagli edifici, per essere poi ceduta sotto forma di ulteriore calore: l'effetto canyon (Santamouris, 2001) è maggiore nelle zone della città in cui gli edifici sono più alti e compatti, e dove le aree verdi mancano o sono di limitata consistenza (Tsai et al., 2005).

La presenza di vegetazione è fondamentale soprattutto in estate, quando l'evapotraspirazione contribuisce ad abbassare la temperatura dell'aria. Inoltre le chiome dense e compatte (che diminuiscono la velocità delle correnti d'aria), la estesa superficie di scambio delle foglie, l'umidità, la resinosità e la tomentosità delle superfici vegetali sono tutti caratteri che rendono gli alberi ottimi filtri sia per le sostanze gassose che per quelle pulviscolari.

Mutuata dalla ecological network, la strutturazione degli spazi verdi in un telaio reticolare (reti verdi) viene oggi assunta come paradigma per una pianificazione della città sostenibile dove i parchi e gli spazi verdi non siano più elementi isolati bensì integrati in un disegno spaziale di aree aperte e chiuse, di spazi vuoti e pieni, di elementi di connessione verdi ed edificati capaci di valorizzare, nell'ampio concetto di qualità della vita, la funzione termoregolatrice esercitata dalla vegetazione.

È importante sottolineare che lo studio degli effetti di possibili misure di adattamento (come l'aumento delle aree verdi) risulta fondamentale per poter effettuare una scelta consapevole ed efficace da parte delle amministrazioni locali.

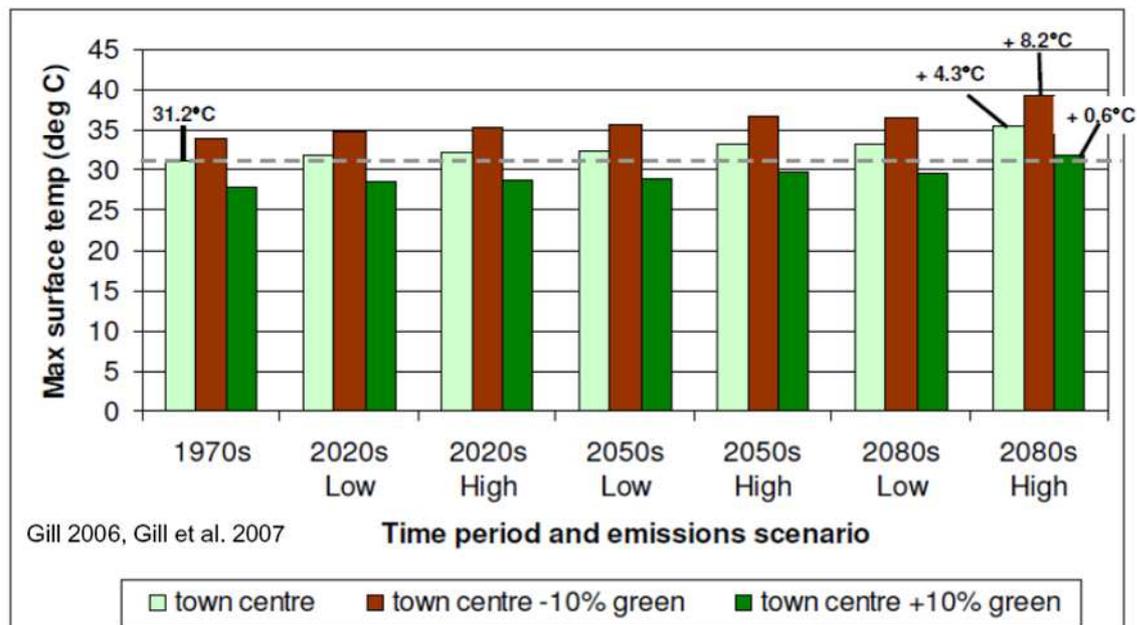


Figura 6.17: Stima delle potenzialità del verde urbano nel contrastare l'incremento delle temperature urbane (Fonte: Gill et al., 2007).

## ***Un fenomeno tipico degli insediamenti urbani: l'isola di calore***

L'isola di calore urbana è una variazione microclimatica locale generata dalle trasformazioni di origine antropica legate alla urbanizzazione, che induce temperature maggiori nelle parti centrali della città rispetto a quelle periferiche (Figure 7.17 e 8.17). L'intensità del fenomeno aumenta in genere proporzionalmente alla dimensione urbanizzata ed alla quantità di popolazione dell'area urbana, e viene acuita durante i picchi di calore estivi.

La città storica costituita da case in muratura e da strade strette, ben presente nel contesto italiano, presenta caratteri di termostabilità che la rendono microclimaticamente attraente sia in occasione dei freddi invernali (maggior riparo dal vento, minori dispersioni) che delle calure estive (maggiore ombreggiamento, frescura degli ambienti chiusi), grazie anche alla maggiore inerzia termica delle massicce strutture murarie. I benefici microclimatici della città storica costruita in tempi passati molto probabilmente sono frutto più del caso che di esplicita intenzione, però va riconosciuto che gran parte di tali benefici microclimatici dell'ambiente urbano è andata persa con l'avvento della città moderna, che ha allargato le strade e gli spazi aperti per permettere la circolazione dei mezzi di locomozione, introdotto una molteplicità di artifici emissivi di calore, ed infine alleggerito le strutture edilizie per ridurre i costi di costruzione, ma riducendone nel contempo l'inerzia termica.

Contrariamente alle specie animali e vegetali, che possono (pur non sempre) mettere nel novero dei comportamenti strategici di adattamento al cambiamento climatico anche la migrazione verso zone climaticamente più adeguate al loro benessere, le città non possono spostarsi e debbono quindi adattarsi sfruttando esclusivamente le possibilità di trasformazione in situ che le metamorfosi del ciclo urbano comunque offrono (gestione dei cicli di energia e di materia, manutenzioni, rinnovo urbano, regolazione degli usi del suolo, ecc.).

Gli elementi che influenzano il comportamento climatico delle aree urbane sono molteplici, e ricca e complessa è la serie di interrelazioni e interdipendenze che producono i macroeffetti.

Si ricordano come fattori principali:

- la dimensione assoluta dell'insediamento urbano,
- la sua densità insediativa,
- il tasso di artificializzazione del suolo,
- dimensione e orientamento degli immobili,
- i caratteri morfologici dell'edificato, in particolare i canyon urbani,
- i caratteri edilizi degli immobili, in particolare quanto al comportamento radiativo e all'immagazzinamento del calore,
- i caratteri orografici del sito,

- i regimi dei venti estivi,
- l'efficienza energetica degli edifici,
- il calore antropogenico, in particolare per il traffico e per il raffrescamento (quindi anche il livello di efficienza degli apparecchi che emettono calore residuo),
- la densità complessiva delle masse arboree e la loro superficie foliare,
- il ciclo delle acque, anche in relazione ai tassi estremi di umidità dell'aria
- il gioco delle masse idriche (laghi, fiumi, mari),
- i fenomeni di emissioni in aria (ozono, aerosol, vapori, particolati) che alterano il comportamento atmosferico,
- il gioco specifico di interscambio fra ambiti urbani e ambiti rurali (o marini, o montani).

Occorre inoltre sottolineare che gli impatti generati dall'isola di calore possono configurarsi come esito di sinergie tra fenomeni diversi quali:

- l'aumento delle polveri sottili, a causa della maggiore capacità di sospensione delle polveri secche e dell'esistenza di più forti correnti ascensionali dal suolo,
- l'aumento del tasso di ozono a bassa quota, per l'interazione fra gas climalteranti, calore e radiazioni ionizzanti,
- le modificazioni microclimatiche, che tendono a modificare la circolazione atmosferica di bassa quota e per tal via a ridurre la piovosità specifica.

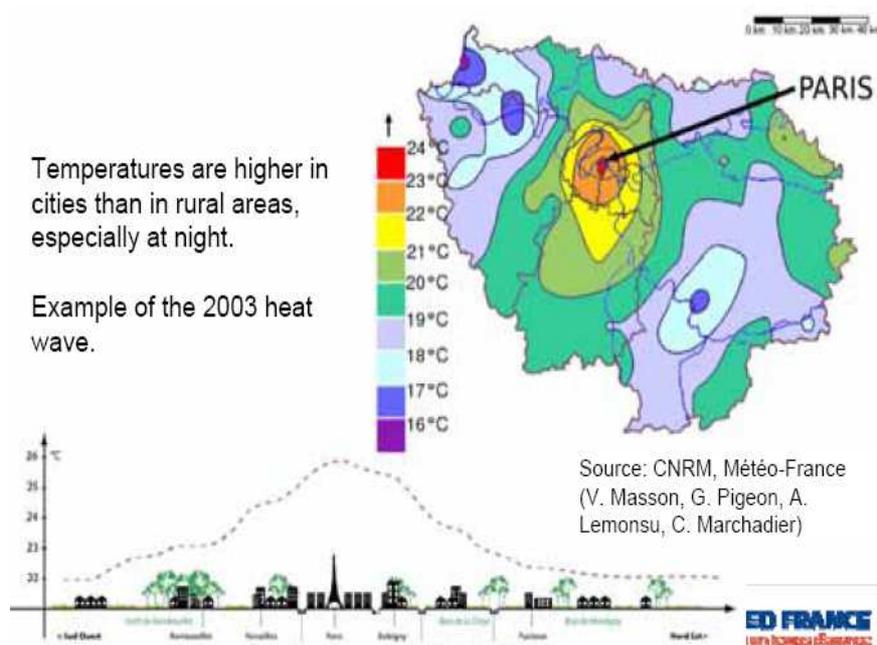


Figura 7.17: La configurazione dell'isola di calore a Parigi durante la heat wave del 2003 (Fonte: CNRM, Météo France).

In questi anni i dati sugli eventi di calore estremo in città mostrano una notevole accelerazione. A preoccupare non sono solo gli eventi atmosferici straordinari, come l'ondata di calore del 2003 o l'inverno eccezionalmente mite del 2007, ma l'andamento complessivo delle temperature dal 1961 ad oggi. Un trend che mostra un aumento particolarmente accentuato negli ultimi decenni e aggravato dall'effetto dell'isola urbana di calore.

**Ondata di calore dell'estate del 2003: differenza tra centro e periferia tra giugno e agosto**

	Media delle temperature Centro °C	Media delle temperature Periferia °C	Differenza °C
Torino	26,6	24,3	2,3
Bologna	23,4	23,0	0,4
Firenze	23,3	23,0	0,3
Napoli	25,1	22,8	2,4
Bari	24,0	22,0	2,0
Milano	28,2	27,3	0,9
Roma	28,2	27,1	1,1
Palermo	28,1	26,9	1,3

Figura 8.17: Gli effetti dell'isola di calore in 8 città italiane (Fonte: Legambiente, 2007).

Una delle anomalie termiche più rilevanti del 2007 è stata quella di Napoli, dove nel mese di gennaio la temperatura media è stata di 4,9 gradi superiore a quella del 1961-90. Dati che nel loro insieme ricordano quelli dell'ondata di calore del 2003, con però una differenza. Allora l'aumento delle temperature si concentrò nei mesi estivi, con ricadute sulla salute della popolazione, mentre in questo caso le anomalie più evidenti si sono registrate durante l'inverno e l'inizio della primavera, con estensioni anche sui mesi estivi. E' quanto accaduto con l'ondata di calore della fine del mese di giugno, con temperature massime particolarmente elevate per Bari, Napoli, Palermo e Catania.

In questo senso il fenomeno del 2007 costituisce sì un'anomalia ma contemporaneamente un preoccupante segnale di continuità del ripetersi con sempre maggiore frequenza di eventi meteorologici non ordinari che nel giro di qualche decennio potrebbero diventare normalità. Il quadro che ne emerge, con l'eccezione di Bari, è quello di realtà urbane che subiscono pesantemente gli impatti dei cambiamenti climatici in atto.

L'aumento delle temperature urbane è dunque il risultato di una amplificazione locale dei cambiamenti climatici. Il fenomeno dell'isola di calore comporta nelle aree centrali delle città

temperature costantemente superiori a quelle che si registrano nelle aree limitrofe, rurali o semi rurali, ed è dovuto alle maggiori capacità delle aree urbane di catturare le radiazioni solari, di conservare il calore, nonché alle fonti di calore interne alla città. Palazzi e strade hanno impermeabilizzato i suoli impedendo la naturale traspirazione contribuendo così a fare delle città degli immensi serbatoi a cielo aperto di calore. In linea generale il nesso tra aree edificate e temperature elevate è via via più stretto quanto più intensa è l'urbanizzazione. Il fenomeno delle isole di calore non è solo estivo, ma un fenomeno persistente, e per lo più costante durante tutto il corso dell'anno, che diviene maggiormente percepibile in estate in occasione dei caldi estremi.

Durante i primi mesi del 2007, le temperature del centro di Milano sono state mediamente superiori di un grado rispetto a quelle dell'aeroporto di Linate. Gli scarti maggiori si sono registrati nei mesi di febbraio, marzo e aprile, che sono stati anche i mesi più caldi rispetto ai valori normali. Nel mese di aprile, più caldo di ben 5,5 °C rispetto al valore 1960-1991, la differenza tra città e periferia si è mantenuta su uno scarto medio di 1,5 °C, mentre a maggio è tornata su 1°C.

Anche a Roma le temperature rilevate al centro sono state costantemente superiori a quelle delle aree extra-urbane. A marzo, quando contemporaneamente si è assistito a un calo pressoché totale delle precipitazioni, lo scarto rispetto alle aree periferiche è stato di 1,8°C.

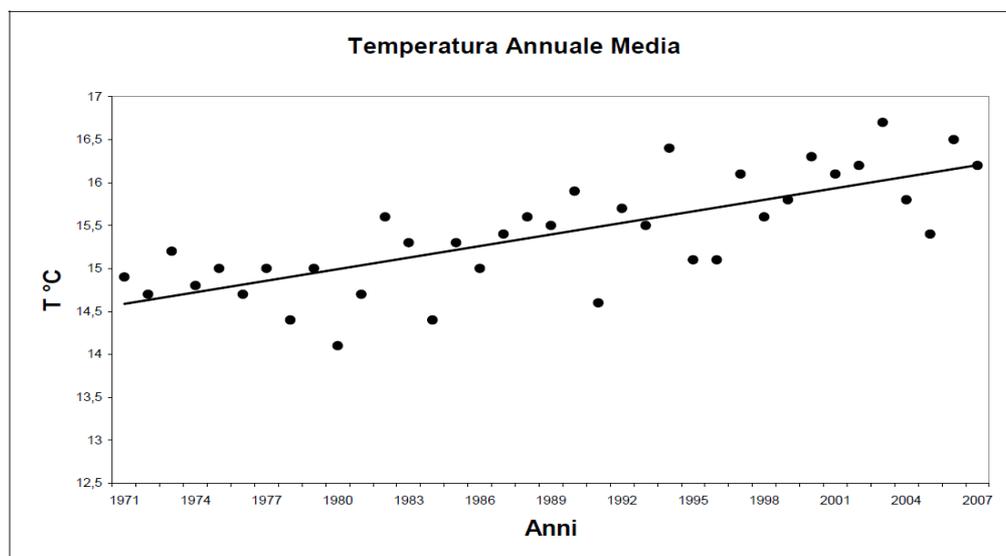


Figura 9.17: Temperatura media annuale a Firenze nel periodo 1971-2007 (Fonte: Osservatorio Ximeniano di Firenze).

I dati rilevati per la città di Palermo sono esemplificativi dell'importanza che può avere la collocazione geografica nel mitigare gli effetti dell'isola di calore. Nel capoluogo siciliano l'azione termoregolatrice del mare ha agito compensando lo squilibrio climatico centro-periferia. Anche qui tuttavia ci sono stati scarti evidenti, soprattutto ad aprile e a maggio, mese in cui la differenza tra le temperature centrali e quelle di Punta Raisi è stata mediamente di 0,7°C. Stesso discorso per Trieste, anch'essa aiutata dalla vicinanza con il mare. Il centro città nei primi sei mesi dell'anno è

stato costantemente più caldo dell'area circostante, con una media di mezzo grado di differenza a febbraio, maggio e giugno.

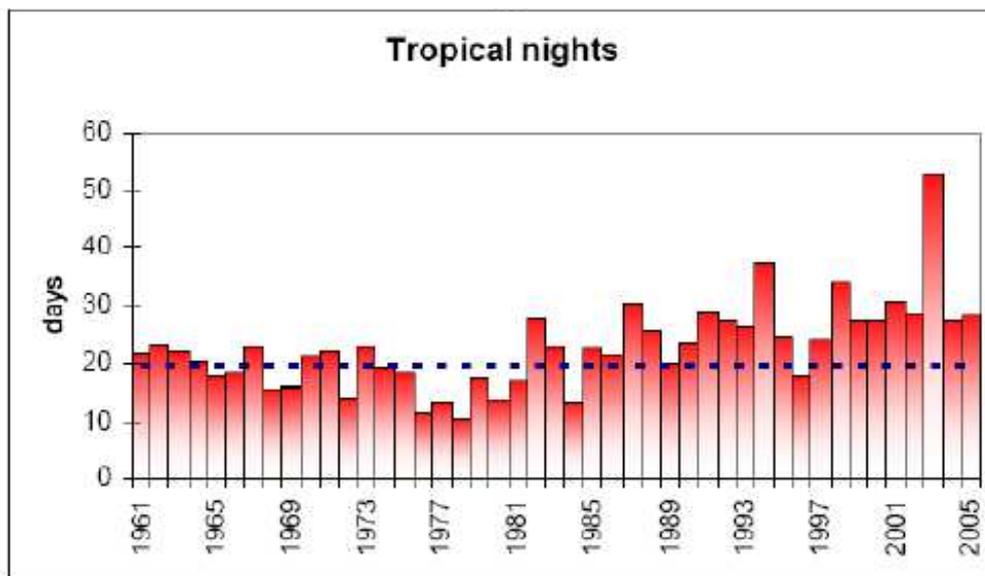


Figura 10.17: Aumento delle notti tropicali in Italia (Fonte: Legambiente, 2007).

In concomitanza con un clima particolarmente torrido e temperature massime che superano i 40 gradi, lo scarto tra città e aree circostanti diventa ancora più rilevante (2,3 gradi a Torino; 2,4 a Napoli, 1,1 a Roma). Considerando invece l'arco delle 24 ore gli impatti maggiori dell'isola di calore si verificano durante le ore notturne, nelle quali il calore assorbito dalle costruzioni durante tutto l'arco della giornata viene lentamente rilasciato e si registrano, sia in inverno che d'estate, le differenze più forti tra le temperature del centro e quelle delle aree extra-urbane. Ciò comporta un circolo vizioso, per cui all'alba del giorno seguente gli ambienti cittadini sono nuovamente sottoposti alle radiazioni solari senza il sollievo delle ore notturne, essenziale per rinfrescare l'ambiente.

Il numero delle notti tropicali nell'arco di un anno è aumentato sensibilmente in tutta Italia. Dal 1961 al 2005 si calcola un incremento del 50% delle notti in cui si registrano più di 20 gradi. Dal 1981 in poi non scende praticamente mai sotto la media (indicata dalla linea tratteggiata nella Figura 10.17). Una tendenza che non manca di produrre effetti specifici nelle grandi città, dove le notti tropicali sono più frequenti e intense della media. Un esempio lo offrono i dati del centro di Roma; le notti in assoluto più calde sono tutte concentrate tra il 1994 e il 2007 con l'ultimo record, la quarta temperatura minima più alta, che si è verificato nella notte del 23 luglio 2007, quando la colonnina di mercurio non è mai scesa sotto i 27,1° C.

### *Le iniziative locali in materia di adattamento urbano*

L'adesione a progetti comunitari ha rappresentato sino ad oggi – per le amministrazioni locali maggiormente sensibili – il veicolo privilegiato, anche se non esclusivo, per sperimentare percorsi operativi di adattamento urbano (ISPRA, 2012).

Il **progetto AMICA - Adaptation and Mitigation Integrated Climate protection Approach** (Interreg III, 2005-2007) ha coinvolto la città di Venezia e si è posto come obiettivo quello di esplorare le misure adottabili a livello locale per far fronte ai cambiamenti climatici, coniugando i versanti della mitigazione e dell'adattamento.

Decisamente orientato agli aspetti insediativi è stato il **progetto UHI - Urban Heat Island** (2008-2011) finanziato dalla ESA e finalizzato alla integrazione di dati satellitari e di stazioni meteo a terra per attività di prevenzione e riduzione dei rischi connessi con le ondate di calore; in Italia il monitoraggio ha riguardato la città di Bari, con coinvolgimento della locale sezione della Protezione Civile.

Il **progetto LAKs - Local Accountability for Kyoto goals** (LIFE+ 2008-2011) ha inteso supportare l'azione locale per il perseguimento degli obiettivi europei del 20/20/20, fornendo strumenti e mezzi per la considerazione degli aspetti climatici nelle politiche comunali, sviluppando metodi per la valutazione dell'impatto climatico delle politiche e per incrementare la trasparenza e l'accountability delle emissioni (bilancio clima) e indicando lineamenti per la redazione di Piani locali di adattamento e mitigazione. Ha coinvolto, come partner italiani, Reggio Emilia, Padova e l'ARPA Emilia Romagna (ARPA 2007; 2008).

Una iniziativa tarata soprattutto su azioni di formazione e sensibilizzazione sui temi del cambiamento climatico è il progetto **RACES - Raising Awareness on Climate change and Energy Saving** (LIFE+, 2009-2011), che ha coinvolto tra gli altri i comuni di Firenze e Modena nonché il CNR-IBIMET.

Di ampio respiro si presenta il **Progetto GRaBS - Green and Blue Space Adaptation for Urban Areas and Eco Towns** (Interreg IVC, 2007- in corso), che si propone di sensibilizzare le amministrazioni in merito alla opportunità di incrementare le reti naturali o seminaturali all'interno della città, di sviluppare buone pratiche che associno l'incremento della naturalità urbana alle strategie di adattamento, di elaborare risk and vulnerability assessment tools di facile utilizzo per la definizione di strategie di adattamento, di promuovere il coinvolgimento di cittadini e decisori. Partner italiani sono la provincia di Genova, l'Università di Catania ed Etnambiente, che hanno recentemente redatto (utilizzando i tools elaborati; ADAPTO- Adaptation Action Planning Toolkit) propri Piani di adattamento locali.

Di grande interesse per la loro natura operativa (e in qualche modo parallela al GRaBS) sono sia l'iniziativa **Boscoincittà** (Milano) – iniziata nel 1974 e quindi antesignana della forestazione urbana, che oggi si carica di nuovi significati climatici al tempo non in agenda - sia il **progetto GAIA - Green Areas Inner-city Agreement** (LIFE, 2011- in corso) promosso dal comune di Bologna insieme a Cittalia – Fondazione ANCI Ricerche, Impronta etica, Istituto di

Biometeorologia-CNR e Unindustria Bologna con l'obiettivo di incrementare la dotazione di aree verdi come contrasto al cambiamento climatico e come compensazione delle emissioni.

Il progetto **LIFE ACT - Adapting to Climate change in Time** (LIFE) è stato promosso nel 2011 da tre città europee (Ancona, Patrasso e Bullas) con la partecipazione di ISPRA e, nella prima fase, ha elaborato previsioni in merito agli scenari di cambiamenti climatici a livello locale nelle municipalità coinvolte approfondendo – nel caso di Ancona – l'analisi dei possibili impatti climatici sui beni culturali, sulle aree costiere, sul dissesto idrogeologico, sulle infrastrutture nonché – nel caso di Patrasso – sulla salute e sul turismo e – nel caso di Bullas – sul turismo, sul suolo e sulla qualità del vino. Obiettivo finale delle attività è la redazione di Linee guida per la redazione di piani di adattamento a livello locale. Anche il Comune di Bologna ha recentemente avviato (2012) il progetto **BLUE AP** (LIFE +) finalizzato alla redazione del Piano di Adattamento della città (vedi casella di approfondimento).

#### **Il Progetto BLUE AP**

Il Progetto BLUE AP (Bologna Local Urban Environment Adaptation Plan for a Resilient City) è un progetto LIFE + in corso presso il Comune di Bologna, finalizzato alla redazione di un Piano di Adattamento locale basato su sei azioni pilota:

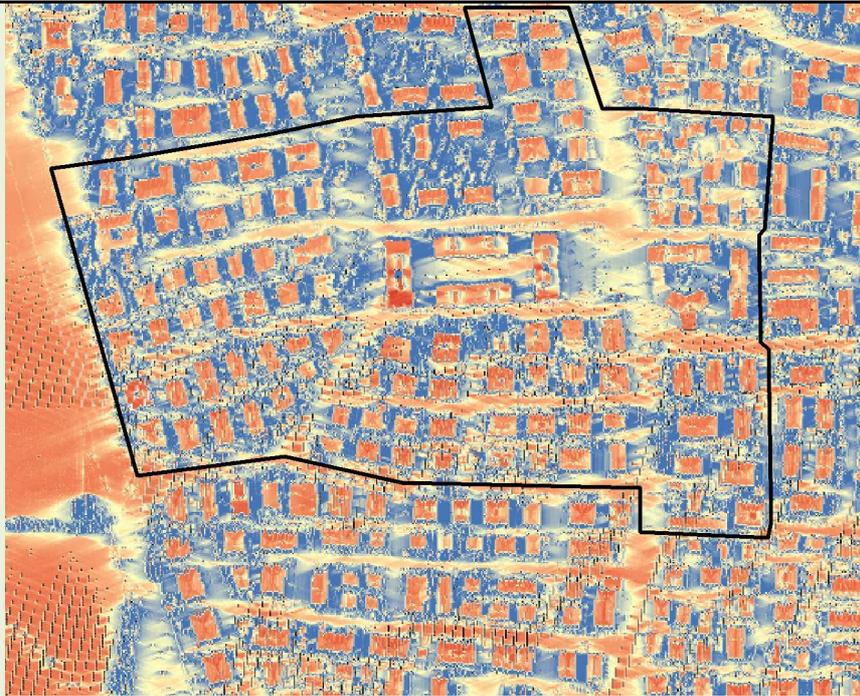
1. inserire misure di adattamento nel Regolamento Urbanistico Edilizio per incentivare l'utilizzo di pratiche ed accorgimenti in grado di migliorare la gestione degli effetti dei cambiamenti climatici;
2. definire linee guida per le infrastrutture a rischio, finalizzate a migliorare la loro capacità di funzionamento in occasione di eventi meteorologici estremi;
3. lanciare una campagna promozionale per la diffusione dei *tetti verdi*, utilizzando punti informativi e altri strumenti di comunicazione;
4. migliorare la capacità di drenaggio delle aree impermeabilizzate attraverso la sostituzione di aree asfaltate con pavimentazioni maggiormente permeabili, consentendo in tal modo un migliore deflusso delle acque piovane, la limitazione e il rallentamento dei deflussi nelle reti fognarie e diminuendo i rischi di allagamento;
5. realizzare sistemi di raccolta delle acque piovane che, filtrate e stoccate, possono essere riutilizzate per lo scarico dei WC e per l'irrigazione di aree verdi;
6. incentivare i meccanismi di assicurazione, informando imprese e cittadini sulle possibilità di assicurazione esistenti per fronteggiare, anche attraverso partnership pubblico/private, i rischi derivanti da eventi climatici estremi.

Il Progetto BLUE AP prevede intense attività di consultazione e partecipazione di cittadini ed associazioni; le esperienze maturate saranno utilizzate per la messa a punto di linee guida per la redazione di Piani di Adattamento per città di medie dimensioni.

**Il Progetto UHI - Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon** (programma Central Europe) si sviluppa in otto aree metropolitane (Varsavia, Praga, Vienna, Lubiana, Padova, Modena, Stoccarda, Budapest) ed intende fronteggiare – in particolare attraverso gli strumenti della pianificazione territoriale – il fenomeno delle isole di calore urbane (urban Heat Island – UHI) e degli effetti negativi che si riflettono sulle fasce più deboli e a rischio della popolazione (vedi casella di approfondimento). Il progetto ha portato alla specifica indicazione di misure di adattamento e mitigazione nell'ultima variante (Aprile 2013) al PTRC Piano Territoriale Regionale di Coordinamento della Regione Veneto (cfr. Legge Urbanistica Regione Veneto n. 11/2014).

**Il progetto UHI - Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon** (Arpa e Regione Emilia Romagna, Regione Veneto, Corila con il supporto scientifico dell'Università Iuav di Venezia (DPPAC) e dell'Università di Padova - 2011-2014)

Il progetto UHI ha permesso un lavoro di analisi sul tessuto urbano esistente delle otto città campione, considerando informazioni indispensabili per valutare la resilienza di un'area urbana alle ondate di calore, tra le quali: superficie aree pavimentate; superficie aree permeabili; superficie edificata; Sky View Factor; compattezza urbana; incidenza solare; riflettanza/albedo; conducibilità termica dei materiali. Le informazioni raccolte e tradotte in forma vettoriale, contenenti le quote e lo stadio di copertura di ogni singolo elemento individuato, permettono di interrogare il dato e scomporre la città in tutte le tre dimensioni, identificando le aree meno resilienti alle ondate di calore estive, favorendo l'individuazione delle strategie atte a mitigare il fenomeno e, adattando alcune porzioni di città ai fenomeni atmosferici estremi. Nel caso studio di Padova il lavoro di analisi eseguito, ha condotto alla costruzione di quattro differenti scenari progettuali di trasformazione dell'area: "green ground": scenario in cui si ipotizza di aumentare la superficie permeabile dell'area (dal 18% al 23%) mediante conversione di un parcheggio asfaltato in superficie erbosa e piantumazione di alberi alti 10 m lungo le principali strade della zona; "cool pavements": sostituzione dei tradizionali materiali utilizzati su strade e marciapiedi con materiali "freddi", cioè con elevato albedo; "cool roofs": sostituzione dei tradizionali tetti a tegola o piani rivestiti con materiali "freddi"; "green ground + cool pavements": scenario dato dalla contemporanea adozione delle due azioni di mitigazione descritte. Le simulazioni eseguite hanno permesso di chiudere il ciclo di lavoro, consentendo di testare virtualmente le azioni proposte, permettendo l'individuazione delle strategie migliori per l'area analizzata. La forza di queste tecniche di analisi risiede nella loro replicabilità in aree urbane eterogenee, estese e complesse, le quali richiederebbero mesi per raggiungere un simile dettaglio con analisi di tipo tradizionale.



*Figura 11.17: Radiazione solare ottenuta con sistema Lidar su quartiere pilota a Padova (elaborazione Maragno D., Iuav).*



*Figura 12.17: Esempio di manuale urbanistico per la calmierazione degli effetti di isola di calore (disegno di G. Fornaciari, Iuav).*

Discorso a parte va sviluppato per la regione alpina, dove un ampio network istituzionale (coadiuvato da partner quali MATTM, CMCC, WWF Italia) ha promosso con continuità, dal 2007 ad oggi, un insieme di progetti (AdaptAlp; ALP FFIRS; ALPSTAR; C3-Alps; ClimAlpTour, CLISP, MANFRED; PermaNET; SILMAS, SEAP-ALPS) in massima parte centrati sui temi dell'adattamento, anche urbano.

Geograficamente limitrofa è l'esperienza del Progetto Clima avviata nel 2007 dalla provincia Autonoma di Trento e tesa alla promozione di misure di mitigazione e adattamento all'interno degli strumenti di governo del territorio e di programmazione; Progetto Clima, oltre a numerose iniziative di sensibilizzazione, ha portato (2010) alla istituzione del Tavolo provinciale di coordinamento e di azione sui cambiamenti climatici e dell'Osservatorio Trentino sul Clima.

Altra interessante iniziativa è la recente istituzione nel 2013 dell'Osservatorio Città Clima, come un osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici nelle città e nel territorio, E' stato promosso dall'Università Iuav di Venezia (DPPAC) e Legambiente per dare continuità al lavoro intrapreso con la Conferenza internazionale "Il clima cambia le città" che si è svolta a Venezia a Maggio 2013. Obiettivo dell'osservatorio è di contribuire alla ricerca sugli impatti dei cambiamenti climatici nel territorio italiano attraverso una specifica attenzione alle aree urbane e lavorando in rete con enti di ricerca internazionali pubblici e privati, università e istituzioni pubbliche<sup>296</sup>.

Anche se hanno visto un coinvolgimento marginale di amministrazioni e realtà locali, appartengono al quadro dei programmi europei che hanno contribuito e contribuiscono all'avanzamento delle conoscenze e delle pratiche in materia di adattamento anche il progetto CIRCE (Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment, finanziato dal VI Programma Quadro, partner italiani INGV, CMCC, FEEM, ENEA, CNR, OGS, Università della Toscana, Università dell'Aquila, Università del Salento e Università di Bologna) finalizzato ad affinare le conoscenze sul clima mediterraneo (e dunque importante ai fini del downscaling indispensabile alla stima degli impatti sugli ambienti urbani) e il progetto CIRCLE 2 (Climate Impact Research & Response Coordination for a Larger Europe; VII Programma Quadro, partner italiano CMCC) che ha prodotto nell'ottobre 2012 un primo rapporto sullo stato della ricerca sull'adattamento climatico a scala nazionale e locale.

Contributi significativi, questa volta sul versante economico, sono emersi dalla ricerca ClimateCost (VII Programma Quadro, partner italiano FEEM – Fondazione Eni Enrico Mattei) che ha quantificato i costi dei cambiamenti climatici in assenza di efficaci politiche di contrasto e, di converso, costi e benefici delle politiche di adattamento (Johnson e Breil, 2012).

Gli esiti dei progetti europei, e l'azione di diffusione promossa da associazioni internazionali di amministrazioni locali (firmatari della Carta di Aalborg, ICLEI, C40 Cities, Covenant of Mayors)

---

<sup>296</sup> Si veda il portale [www.iuav.it/climatechange](http://www.iuav.it/climatechange).

hanno stimolato la considerazione degli aspetti climatici anche nella predisposizione di strumenti ordinari di governo del territorio, considerazione per molti versi espressiva di una linea di continuità – certo rafforzata da nuove sensibilità – di buone pratiche urbanistiche da tempo presenti nel dibattito disciplinare.

Nell'ambito di queste esperienze si collocano i piani contenenti norme per il contenimento dell'uso del suolo e della sua impermeabilizzazione (PTCP di Modena e alcuni piani comunali a "crescita zero"), per il rafforzamento delle reti ecologiche (PTCP di Forlì-Cesena e di Roma, ma gli esempi sono molti), per garantire la invarianza idraulica delle trasformazioni (PTCP di Modena, PS di Chiusi), per garantire una quota consistente di verde urbano nelle trasformazioni edilizie, anche di recupero (RU di Siena). Si tratta di esperienze importanti in quanto costituiscono degli apripista che mostrano la praticabilità di forme evolutive del planning volte alla incorporazione delle esigenze dell'adattamento climatico nel governo urbano.

Per quanto riguarda le prospettive future si può affermare con ragionevole certezza che la UE continuerà a rappresentare uno stimolo fondamentale per la evoluzione della realtà italiana. Va infatti richiamata la recente (aprile 2013) adozione – da parte della Commissione Europea - della "EU strategy on adaptation to climate change"<sup>297</sup>, che intende porre in essere almeno tre azioni direttamente interagenti con l'adattamento urbano:

- incoraggiare tutti gli stati membri ad adottare strategie di adattamento globali (l'Italia ha avviato questo processo con l'elaborazione di una strategia nazionale formazione della SNAC;
- sostenere il consolidamento delle capacità e rafforzare le azioni di adattamento in Europa con i fondi LIFE 2013-2014 (si è già visto in precedenza il ruolo positivo già svolto dai finanziamenti LIFE sulle attività di adattamento);
- includere l'adattamento nel quadro della Covenant of Mayor, estendendo la esperienza già consolidata in materia di mitigazione con i SEAP/PAES; questa linea di lavoro è di fatto già stata avviata il 20 marzo 2014.<sup>298</sup>

### *La percezione degli impatti climatici da parte dei cittadini*

Il comune di Ferrara ha svolto una indagine questionaria<sup>299</sup> finalizzata a comprendere la conoscenza, la sensibilità, l'interesse dei cittadini sul tema dei cambiamenti climatici e sulle prospettive future di azione; un'indagine importante in quanto restituisce indicazioni in merito al *cambiamento climatico percepito*. Circa l'80% dei compilatori ritiene che i cambiamenti climatici avranno *abbastanza* o *molto* impatto sulla città, indicando i disagi maggiori nell'aumento della

---

<sup>297</sup> Portale politiche di adattamento UE: [www.ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/index\\_en.htm](http://www.ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/index_en.htm).

<sup>298</sup> [www.mayors-adapt.eu](http://www.mayors-adapt.eu).

<sup>299</sup> L'adattamento ai cambiamenti climatici; conoscenza e sensibilità della comunità locale, questionario promosso nel 2009 dal comune di Ferrara, Ufficio Agenda 21L, nell'ambito del Progetto EUR-Adapt.

richiesta di energia elettrica per il funzionamento dei sistemi di raffrescamento, nell'aumento della presenza di insetti nocivi, nell'aumento di danni per episodi estremi di maltempo, negli spazi urbani surriscaldati con riduzione delle occasioni di aggregazione da vivere all'aperto. Il 40% circa ritiene che i soggetti maggiormente colpiti (a causa delle ondate di calore) saranno gli anziani e il 26% i bambini; le preoccupazioni principali appaiono quindi quelle legate alla salute. Il 20% ritiene che saranno inoltre colpiti gli addetti all'agricoltura e l'agricoltura in quanto tale, causa eventi estremi e siccità. Abbastanza sorprendente è la percezione della necessità di agire, ritenuta rispettivamente *molto* o *abbastanza* importante dal 58% e dal 22% dei compilatori; le priorità sono indicate nel *miglioramento nella gestione delle acque e del suolo*, nell'*incremento del livello di informazione e consapevolezza dei cittadini*, nella *prevenzione delle malattie*, nelle *misure di sostegno all'agricoltura*, compiti che si intende affidare prevalentemente al comune oppure ad altri enti pubblici. Gli esiti dell'indagine sono probabilmente influenzati sia dall'esiguità del campione (164 compilatori) sia dalla sua composizione (essendo on line il questionario ha attirato l'attenzione di persone probabilmente già sensibilizzate), ma non può non colpire la sostanziale coincidenza dei suoi esiti con consapevolezze proprie dei contesti europei più maturi.

## Comprendere e valutare le problematiche climatiche di ciascun insediamento urbano: percorsi e metodi

Attesa la grande variabilità dei potenziali impatti climatici sugli insediamenti urbani, la letteratura scientifica e le esperienze operative promosse in numerose città europee attribuiscono una importanza centrale alla determinazione delle problematiche climatiche specifiche di ciascun insediamento urbano, e di conseguenza alla necessità di fondare le strategie di adattamento locali su di un preventivo "climate resiliency study", strumento fondamentale per comprendere e territorializzare gli impatti climatici prevedibili in un dato insediamento.

Nello sviluppare gli strumenti di governo per l'adattamento urbano in Italia potrà farsi riferimento ad esperienze e metodologie diverse (vedi casella di approfondimento)

Tra gli altri la metodologia contenuta nel testo "Preparing for climate change, a guidebook for local, regional and state governments" (Snover A.K. et al., 2007) suggerisce un percorso articolato in cinque *milestone* sequenziali:

1. **Iniziare il climate resilience study**, comprendendo con il maggiore dettaglio possibile quali saranno i mutamenti climatici prevedibili nel territorio di riferimento e le loro manifestazioni (*exposure*), coinvolgendo i soggetti capaci di fornire contributi, formando adeguate strutture di supporto, identificando le *relevant planning areas* ai fini dell'adattamento climatico, intendendo come tali "the areas in which a government or community manages plans, or makes policy affecting the services and activities associated with built, natural and human systems". Le *relevant planning areas* (ad esempio la gestione delle infrastrutture energetiche o idriche, la pianificazione urbanistica, il rischio idraulico, la salute) diverranno i campi privilegiati ove comprendere i gradi di vulnerabilità e gli

impatti attesi e quindi le priorità di azione. Questa prima *milestone* pone il problema rilevante del *downscaling* dei modelli climatici, attualmente predisposti per territori molto ampi e quindi non compiutamente suscettibili di fornire indicazioni dettagliate in merito a situazioni locali; il *downscaling* si presenta tuttavia una operazione complessa, in quanto necessita di competenze scientifiche ad oggi esprimibili soltanto da qualificati enti di ricerca nazionali, gli unici in grado di fornire – se messi in grado con adeguate risorse - *climate services* alle amministrazioni locali. Alcune sperimentazioni nel contesto italiano sono state realizzate; ad esempio, nell'ambito del Progetto FP7 FUME, il CMCC ha concluso le attività di *downscaling* dinamico mediante l'utilizzo del modello COSMO-CLM (Rockel et al., 2008), utilizzando le condizioni al contorno fornite dal modello globale del CMCC (Scoccimarro et al., 2011). Due nuove versioni del modello sono state sperimentata sulla regione Alpina con una risoluzione orizzontale di 14 km (Bucchignani et al., 2011).e con una risoluzione orizzontale di 8 km (Montesarchio et al. 2014) in modo da rappresentare più fedelmente la complessa orografia della regione.

2. **Condurre un climate resilience study**, procedendo al *vulnerability assessment* (Figura 11.17; e relativa casella di approfondimento), attraverso un percorso di integrazione tra *exposure*, *sensitivity analysis*, *impact analysis*, *adaptive analysis* e pervenendo quindi alla individuazione delle *relevant planning areas*, operazione che necessita di un consistente sforzo ricognitivo e nel contempo richiama la centralità della *governance*. Identificare le *relevant planning areas* significa infatti anche comprendere gli *ambiti di competenza* all'interno del quale un determinato soggetto istituzionale (ad esempio una amministrazione comunale) è abilitato ad esercitare le propria azione di governo, e gli ambiti dove dovranno essere attivate collaborazioni e coordinamenti. Si tratta di una operazione non semplice in quanto - come ampiamente noto - nell'ordinamento italiano sono presenti numerose *competenze concorrenti* (si pensi ad esempio alla molteplicità dei soggetti coinvolti nel ciclo delle acque, oppure in materia di salute, di energia, ecc ) e di conseguenza – soprattutto laddove sia necessario affrontare congiuntamente una serie di temi diversi, situazione tipica per gli insediamenti urbani - risulterà indispensabile il coinvolgimento di un *network istituzionale* anche molto ampio, in cui ciascun soggetto dovrà collaborare con gli altri (facilitare queste relazioni è come noto il compito precipuo della *governance*).
3. **Definire gli obiettivi di preparedness e sviluppare il preparedness plan** (vedi casella di approfondimento), procedendo progressivamente alla messa a punto della *vision* e dei principi guida, degli obiettivi e dei target, delle azioni da porre in essere articolate in fasce di priorità;
4. **Attuare il preparedness plan**, assicurando sia adeguate risorse e strumenti che la partecipazione di cittadini, stakeholders, amministrazioni ai vari livelli;
5. **Monitorare i progressi del preparedness plan ed eventualmente aggiornarlo** attraverso una costante attività di misurazione dei risultati e di gestione delle criticità.

### **Linee-guida per l'adattamento urbano**

#### ***Preparing for climate change (Snover et al., 2007)***

Queste linee-guida hanno l'obiettivo di fornire ai decisori politici le basi per preparare ed attuare un piano per far front agli impatti dei cambiamenti climatici (climate change preparedness plan). Suggerisce una checklist di azioni articolata in 5 milestone:

1. Iniziare un climate resiliency study
2. Condurre un climate resiliency study
3. Definire gli obiettivi di preparedness e sviluppare il preparedness plan
4. Attuare il preparedness plan
5. Monitorare i progressi del preparedness plan ed eventualmente aggiornarlo

#### ***Guidelines on developing adaptation strategies (EC, 2013)***

Queste linee-guida (EC, 2013) sono incluse nella recente Strategia Europea di Adattamento della Commissione Europea (16 aprile 2013) e si basano sul cosiddetto "Adaptation Support Tool" della piattaforma Europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici Climate-ADAPT.<sup>300</sup> In realtà si riferiscono a strategie di adattamento, piani di adattamento e piani settoriali di adattamento. Contengono una sequenza ciclica composta di 6 passi raccomandati agli Stati Membri per sviluppare e attuare le proprie strategie di adattamento:

1. Preparare il terreno per l'adattamento attraverso la creazione di una serie di assetti istituzionali e attività organizzative
2. Valutare i rischi e le vulnerabilità ai cambiamenti climatici
3. Identificare le opzioni di adattamento
4. Valutare le opzioni di adattamento tra cui la valutazione costi-benefici delle misure di adattamento, e lo sviluppo e l'adozione di una strategia di politica
5. Attuare la strategia che implica lo sviluppo di un piano di azione e / o di un piano di settore con l'assegnazione dei ruoli e delle responsabilità, assicurando le risorse umane e finanziarie nel lungo termine
6. Monitorare e valutare la strategia

#### ***Planning for adaptation to climate change Guidelines for municipalities (Giordano et al., 2013)***

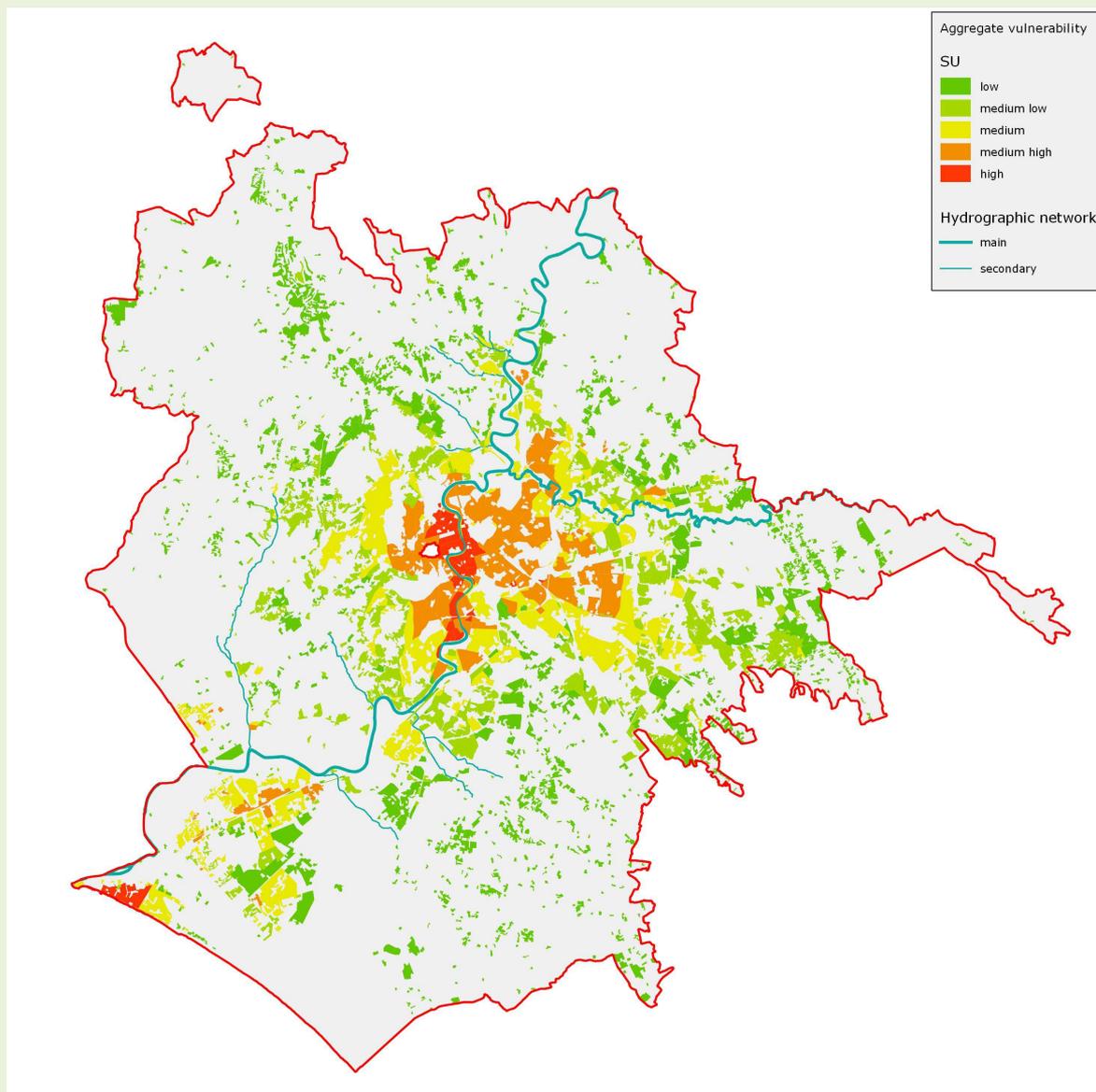
Queste linee-guida specifiche per le municipalità sono state sviluppate nell'ambito del progetto Life ACT (Adapting to Climate change in Time) da ISPRA in collaborazione con le municipalità di Ancona, Bullas (Spagna) e Patras (Grecia). Forniscono una guida pratica che include una metodologia per pianificare, attuare e monitorare un Piano di Adattamento Locale (PAL) in varie fasi:

1. iniziare il processo
2. revisionare la conoscenza disponibile e stabilire una baseline
3. valutare le vulnerabilità e i rischi
4. sviluppare un piano di adattamento

<sup>300</sup> <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>.

5. pianificare l'attuazione delle azioni
6. monitorare, valutare ed aggiornare il piano di adattamento
7. coinvolgere gli stakeholder
8. integrare l'adattamento in vari settori e attività
9. comunicare e far crescere la consapevolezza

### La Carta della Vulnerabilità Climatica di Roma 1.0



Il Dipartimento di Architettura (DipArch) della Università di Roma Tre ed ENEA/UTMEA (Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile; Unità Tecnica Modellistica Energia Ambiente ) hanno avviato una attività di ricerca congiunta finalizzata alla sperimentazione di una procedura speditiva e replicabile capace di fornire - in tempi brevi e con un limitato impiego di risorse - un quadro sintetico dei principali elementi di vulnerabilità climatica di un dato insediamento urbano.

Per procedura *speditiva* si è intesa una procedura capace di fornire risultati utili anche se alimentata da

informazioni di limitata entità, ma comunque costruita per poter essere aggiornata e migliorata nel tempo al crescere della disponibilità di informazioni.

Per procedura *replicabile* si è intesa una procedura chiaramente strutturata nei suoi diversi passaggi e soprattutto fondata sulla elaborazione di informazioni disponibili in maniera omogenea per l'intero territorio nazionale, e di conseguenza utilizzabile in contesti urbani diversi.

La ricerca ha scelto come campo di sperimentazione il territorio comunale di Roma, non solo per motivi legati alla collocazione territoriale del gruppo di ricerca, ma anche perché Roma presenta una varietà molto ampia di situazioni insediative e ha consentito quindi di testare in maniera sufficientemente completa la metodologia adottata, mutuata da ESPON.

Il prodotto attualmente più avanzato della ricerca è costituito da un elaborato di sintesi che – a sottolinearne gli ampi margini di perfettibilità – è stato denominato *Carta della Vulnerabilità Climatica di Roma 1.0* (CVCR 1.0). si tratta di un elaborato che – nei limiti dei dati utilizzati – indica il grado di vulnerabilità climatica delle differenti parti dell'insediamento romano, e che potrebbe in tal senso essere utilizzato come riferimento iniziale per strutturare nel tempo – avvalendosi progressivamente di crescenti informazioni e risorse - politiche e piani di adattamento.

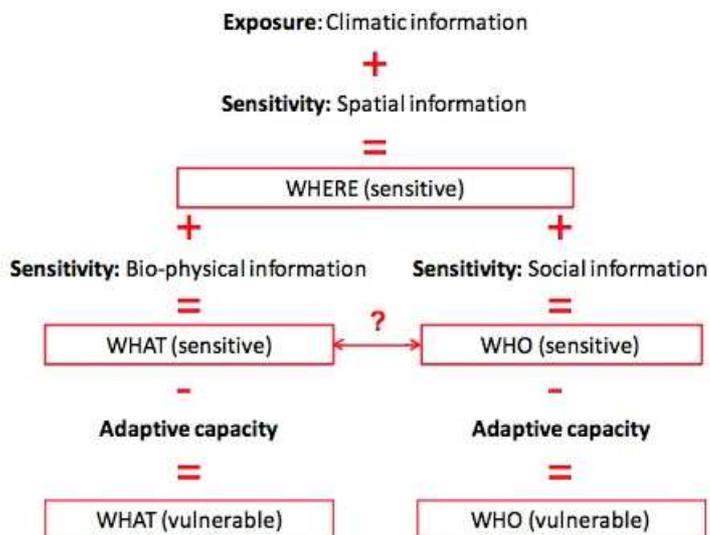


Figura 13.17: Le componenti del vulnerability assessment (Fonte: ETC/ACC, 2010).

### Copenhagen Climate Adaptation Plan (2011)<sup>301</sup>

Il Copenhagen Climate Adaptation Plan intende arginare gli effetti di tre principali fenomeni legati al climate change - la concentrazione delle precipitazioni, l'innalzamento del livello del mare e le ondate di calore - partendo dal presupposto che sia impossibile proteggere completamente la città da tutti i rischi e gli impatti climatici futuri, ma che sia comunque utile prevedere misure efficaci di adattamento. Il piano dichiara la sua dimensione sperimentale e la difficoltà di avere certezze nel selezionare gli interventi da attuare, ammettendo che *"the trick is choosing the right ones"*.

Vengono concepite tre forme principali di adattamento. La prima - *reduce likelihood* - ha come obiettivo quello di ridurre la probabilità che si producano danni, ad esempio migliorando l'efficienza delle reti fognanti oppure aumentando - nelle nuove costruzioni - i franchi di sicurezza dal livello del mare. La seconda - *reduce scale* - punta a limitare la incisività degli eventi negativi, ad esempio migliorando i sistemi di allerta oppure aumentando la capacità degli spazi pubblici di trattenere e stoccare l'acqua piovana. L'ultima forma di adattamento è finalizzata alla riduzione della vulnerabilità - *reduce vulnerability* - ad esempio attraverso la delocalizzazione di funzioni urbane a rischio.

L'adattamento urbano viene inteso come strategia complessa fondata su soluzioni flessibili capaci anche di incrementare nell'immediato la qualità di vita dei cittadini, nonché di generare non solo costi ma anche ritorni economici. La presenza di queste esternalità positive è considerata un requisito fondamentale per selezionare le azioni da includere nel piano, che ad esempio propone un progetto per lo sviluppo delle *reti verdi e blu* coordinato con il progetto di un sistema di raccolta delle acque piovane e con nuove piantumazioni nelle aree verdi e nei parchi esistenti.

Le linee guida del piano sono incorporate nel piano urbanistico municipale, garantendo una forte integrazione tra l'evoluzione della città e i progetti di adattamento climatico.

## Riflessioni sulla quantificazione dei costi per l'adattamento urbano

Lo studio dei fattori economici legati ai cambiamenti climatici ha costantemente accompagnato la crescita del livello di attenzione nei confronti delle strategie di adattamento da porre in essere.

In questo senso è emblematico il rapporto noto come *"Stern Review"* (HM Treasury 2006), commissionato dal governo britannico per comprendere quali fossero i costi legati ai cambiamenti climatici, stimati maggiori dei costi dovuti alle azioni di mitigazione e di adattamento in quanto colpiranno la produzione di beni e servizi e faranno aumentare il ricorso a interventi di emergenza.

In sede europea (EEA, 2007) viene sottolineata la difficoltà di formulare previsioni dei costi - sia dell'inazione che dell'adattamento - per gli insediamenti urbani, ma la convenienza delle strategie di adattamento viene confermata attraverso la presentazione di alcuni casi di studio.

---

<sup>301</sup> [www.kk.dk/klima](http://www.kk.dk/klima).

Anche negli USA è stato affrontato il tema dei costi dei cambiamenti climatici (NRDC, 2008) con ripercussioni su settori collegati agli insediamenti urbani. Il documento analizza quattro tipi di impatto: danni legati agli uragani; perdite nel settore immobiliare; costi energetici; costo dell'acqua. Il documento prevede che i costi di questi impatti cresceranno di anno in anno secondo lo scenario Business As Usual (BAU), cioè uno scenario in cui non sono previsti interventi di mitigazione o adattamento.

Gambarelli e Gorla (2004) hanno analizzato gli impatti dei cambiamenti climatici in Italia con uno studio sulla piana di Fondi, a sud di Roma, calcolando come che i costi dell'adattamento risultino più bassi (tra i 50 e i 100 milioni di Euro) dei costi derivanti dalla opzione "do nothing" (stimati come variabili tra 130 e 270 milioni di Euro). Un successivo studio economico sui costi dei cambiamenti climatici in Italia (Carraro e Sgobbi, 2008) ha calcolato che saranno relativamente bassi nella prima metà del XXI secolo per poi aumentare nella seconda metà. Gli autori però hanno sottolineato allo stesso tempo che alcuni costi sono stati sottostimati o non calcolati, e quindi hanno evidenziato l'importanza di migliorare le conoscenze riguardo gli impatti dei cambiamenti climatici e il loro valore economico. Anche Bosetti et al. (2008) hanno analizzato i costi dell'incertezza e della conseguente inazione nell'agire sui cambiamenti climatici, concludendo che i costi dell'inazione sono alti e spesso sottostimati.

In tempi molto recenti (vedi casella di approfondimento) alcuni Piani di Adattamento urbani redatti con elevati livelli di dettaglio (ovvero definendo progettualmente gli interventi da porre in essere e quantificandone costi e relativi tempi di attuazione) sono stati accompagnati da analisi costi-benefici (ACB) piuttosto affidabili. Queste ACB hanno confermato la preferibilità economica dell'agire rispetto all'inazione, ma nel contempo hanno evidenziato come la parte largamente maggioritaria dei costi ricada sui soggetti pubblici, e come di conseguenza si ponga il non semplice problema del reperimento di risorse pubbliche.

#### **Il Piano di adattamento di Copenhagen. Cloudburst adaptation; a cost-benefit analysis (2013)**

A seguito del nubifragio del 2011, che ha provocato danni stimati – sulla base delle richieste di risarcimento alle assicurazioni - in circa 800 milioni di Euro, la Municipalità di Copenhagen ha predisposto per le aree maggiormente critiche della città (Vesterbro e Lademager) due *masterplan* alternativi - ovvero basati su differenti mix di *soluzioni di superficie* (bacini di raccolta, canali di scolo, superfici drenanti) e di *soluzioni sotterranee* (reti fognarie) - finalizzati a migliorare la cattura, l'infiltrazione e il deflusso delle acque piovane.

I due *masterplan* sono stati successivamente comparati attraverso una analisi costi-benefici (ACB) che, al di là dei suoi obiettivi immediati - ovvero la selezione della alternativa economicamente più vantaggiosa – fornisce indicazioni di interesse più ampio in merito agli aspetti economici e gestionali delle azioni di adattamento.

L'ACB considera tre attori principali, ovvero le *Municipalities* di Copenhagen e di Frederiksberg, le rispettive *utility companies* (le aziende di gestione dell'acqua e dell'energia) e i cittadini. I due *masterplan* alternativi hanno costi stimati rispettivamente in 293 milioni di Euro (dei quali 235 a carico delle *Utilities* e

58 a carico delle *Municipalities*) e in 389 milioni ( 334 a carico delle *Utilities*, 55 a carico delle *Municipalities*). L'attuazione degli interventi di adattamento previsti dai *masterplan* è previsto venga completata entro 5 anni, il loro finanziamento si ipotizza assicurato da un prestito a 40 anni ad un tasso del 3%, la vita utile delle opere è stimata in 50 anni.

Sotto il profilo strettamente economico sono stati considerati nella ACB gli elementi canonici di spesa quali i costi di investimento e finanziari nonché i costi di gestione del progetto; sono state di converso considerate voci in entrata i risparmi dovuti alla sostituzione di reti fognarie attuali che comunque – in assenza degli interventi previsti dai *masterplan* – avrebbero assorbito costi di manutenzione.

Sotto il più ampio profilo sociale e ambientale l'ACB considera come benefici dell'adattamento:

1. l'attenuazione dell'inquinamento atmosferico indotta dalle nuove aree verdi previste - in quantità molto simili; circa 50 ha – da entrambi i *masterplan* (il beneficio è quantificato in circa 20 milioni di Euro);
2. l'incremento dei valori immobiliari dovuto al miglioramento della qualità dell'ambiente urbano nel quale si collocano, che verrà arricchito da nuove aree verdi, aree pedonali, alberature, ecc. Per quanto calcolato in maniera molto prudente dagli estensori della ACB, si tratta di un beneficio molto consistente, che si aggira per entrambi i *masterplan* attorno ai 190 milioni di Euro;
3. l'incremento delle tasse sulle abitazioni indotto dall'incremento dei valori immobiliari (le tasse riscosse dalle *Municipalities* sono infatti proporzionali al valore di ciascun immobile); il vantaggio per le amministrazioni è stato stimato in 42 milioni di Euro;
4. i danni potenzialmente prodotti dai nubifragi (cloudburst) che, grazie agli interventi di adattamento, saranno evitati; questi danni *mancati* sono stati stimati in oltre 300 milioni di Euro (320 nel *masterplan 1*, 338 nel *masterplan 2*).

L'ACB si conclude dimostrando la preferibilità del *masterplan 1* rispetto al *masterplan 2* (più costoso) ma, come si è accennato in precedenza, evidenzia almeno due elementi di interesse di carattere più generale.

Il primo consiste nell'aver dimostrato come investire nell'adattamento convenga; per attuare il *masterplan 1* si spenderanno 489 milioni di Euro ma si otterranno benefici per 631 milioni (142 milioni di *vantaggio netto*), mentre nel caso del *masterplan 2* se ne spenderanno 579 e se ne otterranno 658 di benefici (+ 78).

Il secondo elemento di interesse risiede nell'aver contabilizzato separatamente costi e benefici per ciascuno dei tre attori considerati; dal quadro generale si evince come i soggetti pubblici – *Municipalities* e *utility companies* - si faranno carico di tutti i costi (per il 20% circa le prime, per il rimanente 80% le seconde), mentre la parte largamente maggioritaria dei benefici verrà incamerata dai cittadini attraverso l'incremento dei valori immobiliari, il risparmio dei danni evitati, il miglioramento della qualità dell'aria, ecc.

Lette in questa chiave, le azioni di adattamento sembrerebbero potersi collocare nella sfera tradizionale delle *opere pubbliche* ma, almeno nel caso esaminato, è applicabile anche una lettura più complessa; infatti i principali soggetti attuatori – le *utility companies* – sono di natura pubblica e no-profit, e finanzieranno le loro spese prevalentemente (se non esclusivamente) attraverso un incremento dei prezzi dei servizi erogati (acqua, depurazione, energia). Saranno dunque i cittadini a pagare le opere che a loro volta produrranno

per essi i benefici, attivando un circolo virtuoso nel quale una comunità insediata investe sulla propria città con il fine prioritario di far fronte ai cambiamenti climatici, ma contemporaneamente curando la positiva performance economica delle azioni di adattamento. Non può sfuggire come le elevate capacità tecnico-amministrative dei soggetti pubblici (e non solo) si configurino come un requisito fondamentale per una efficace strategia di adattamento.

Tentando una sintesi non semplice in merito agli aspetti economici delle strategie di adattamento urbano, allo stato attuale si può comunque registrare come in letteratura non vi siano posizioni argomentate in merito alla preferibilità del “do nothing”, nonostante non vengano nascoste né le incertezze su quanto concretamente accadrà in termini di variazioni climatiche e sui relativi impatti, né le incertezze derivanti dai lunghi orizzonti temporali che è necessario adottare (la *programmazione climatica*, se riferita agli scenari IPCC, adotta di fatto orizzonti temporali 2050/2100, e non esiste oggi una forma di programmazione che adotti scenari comparabili). In un quadro con indiscutibili elementi di labilità va in ogni modo considerato il fatto che le realtà urbane più avanzate stanno comunque affrontando il tema dell'adattamento e del conseguente impiego di risorse economiche, in una logica pragmatica, incrementale e prudente ma non rinunciataria.

In termini generali, dunque, la quantificazione dei costi dell'adattamento urbano – e di conseguenza la programmazione delle relative risorse, sia a livello centrale che locale - non si presenta come una operazione agevole, dovendo considerare e temperare attentamente almeno quattro elementi di contesto che escludono il ricorso a facili generalizzazioni.

Il primo risiede nella **estrema variabilità degli impatti attesi in ciascun insediamento urbano**, si è già detto funzione della severità dei mutamenti climatici, delle condizioni pregresse dell'insediamento, dei livelli di consapevolezza e responsabilità della popolazione insediata. Un esempio può chiarire la rilevanza di questo aspetto. Si stima, in termini generali, che le piogge saranno in futuro più rare ma più concentrate, e ciò metterà alla prova i sistemi drenanti (fognature) delle città, che di conseguenza dovranno prevedibilmente essere adeguati. I costi dell'adeguamento dipenderanno da variabili quali l'effettivo livello di concentrazione delle piogge (influenzato da situazione microclimatiche), la situazione orografica (per quanto riguarda la efficienza dei deflussi fognari le città di pianura sono mediamente svantaggiate rispetto a quelle in collina, ma quelle in collina potrebbero essere maggiormente soggette a frane con conseguenti interruzioni delle reti), lo stato pregresso delle infrastrutture (alcune città presentano rilevanti problemi di efficienza delle reti già oggi, altre hanno reti in buone condizioni che potrebbero anche sopportare i carichi aggiuntivi), il grado di impermeabilizzazione del territorio (che rende maggiori o minori i tempi di corrivazione e quindi il carico idrico). In queste condizioni sarebbe in tutta evidenza possibile (ma non agevole) per una singola città calcolare le risorse necessarie per adeguare le proprie reti drenanti, ma a livello statale e regionale non avrebbe senso programmare risorse *indifferenziate* per un miglioramento infrastrutturale generalizzato senza conoscere localizzazione ed entità delle concrete criticità.

Il secondo elemento da considerare risiede nel fatto che azioni fondamentali di adattamento sono praticamente a costo zero, e dunque risulta indispensabile **ragionare anche in termini di consapevolezza (e di sensibilità amministrativa) oltre che di costi**; evitare di pianificare nuovi insediamenti in aree soggette a rischi idraulici prevedibilmente crescenti, evitare la proliferazione di porti che potrebbero dover far fronte a requisiti funzionali oggi non prevedibili causa l'innalzamento del mare, tutelare la naturalità residua in ambito urbano sono scelte che non comportano costi aggiuntivi e che nel contempo consentono di attenuare i rischi climatici e i relativi costi.

Il terzo importante elemento influente sulla stima dei costi consiste nel fatto che alcune opere di adattamento potrebbero essere riconducibili ad **azioni già contabilizzate nella ordinaria gestione urbana**, ovvero azioni non esclusivamente finalizzate all'adattamento climatico; già oggi le amministrazioni spendono per la manutenzione fognaria, per l'incremento del verde, per l'ammodernamento delle reti (si tratta in buona parte, se ne è accennato in precedenza, degli interventi "no regret"). I costi dell'adattamento, quindi, dovrebbero essere computati come *costi aggiuntivi* rispetto a *costi correnti* già consolidati, e di conseguenza risultare meno ingenti.

Il quarto – molto importante – elemento è che in genere **esistono differenti soluzioni ad un medesimo problema e queste soluzioni hanno costi che possono presentarsi estremamente diversi**. Un insediamento a rischio di inondazione, per fare un esempio, può essere messo in sicurezza attraverso interventi molto costosi (arginature, riconfigurazione di alvei, difese costiere la cui realizzazione può eccedere il valore dei beni da salvaguardare) oppure essere delocalizzato con costi considerevolmente minori. Sempre in tema di messa in sicurezza, i medesimi risultati – in termini di salvaguardia delle vite umane - della costruzione di nuovi argini potrebbero essere raggiunti attraverso la creazione di un sistema di allerta fondato sulla telefonia mobile, ovviamente di costo incomparabilmente inferiore. Anche in questo caso, i costi dell'adattamento sono funzione di *come si faranno le cose*, e *come si faranno le cose* dipenderà da scelte politiche e sociali non predeterminabili.

Le città europee che – progressivamente più numerose – stanno investendo sull'adattamento climatico dimostrano in ogni caso che le difficoltà di stima dei costi possono essere superate; in particolare è rilevabile una tendenza a coniugare la programmazione a lungo termine (quella prefigurata dai *piani di adattamento*) con un impiego a breve o medio termine delle risorse che assicuri priorità alle emergenze accertate, *inseguendo* gli effetti dei cambiamenti climatici laddove mostrano di manifestarsi con maggiore severità. Questo atteggiamento non rappresenta una rinuncia alla programmazione bensì il riconoscimento della necessità di comportamenti flessibili di fronte a fenomeni di cui si sa ancora troppo poco; una stima poco affidabile dei costi dell'adattamento urbano e la conseguente istituzione di linee di finanziamento settoriali che *ingessino* le strategie di adattamento sarebbe in tal senso quanto di meno auspicabile per l'Italia.

**La consapevolezza delle necessità dell'adattamento climatico urbano** appare oggi un pre-requisito indispensabile di qualsivoglia stima dei suoi costi complessivi; in tal senso una priorità certa appare quella di redigere – in ogni realtà urbana – *climate resiliency studies* che definiscano con

la maggiore chiarezza possibile i profili di una sfida che può e deve essere affrontata non solo con impegni economici, ma anche con adeguati strumenti culturali e amministrativi.

## Caratteristiche generali di una strategia di adattamento per gli insediamenti urbani

Gli elementi conoscitivi e le riflessioni svolte nel presente contributo consentono di anticipare alcune brevi considerazioni sia in merito alla *forma* che potrà assumere una strategia di adattamento climatico rivolta ad insediamenti urbani, sia in merito ad alcuni requisiti che ne assicureranno fattibilità ed efficacia. Si tratta ovviamente di considerazioni preliminari, suscettibili di essere ulteriormente sviluppate in seguito in sede di attuazione della Strategia nazionale di adattamento.

Per quanto concerne la *forma* del *piano di adattamento* urbano, il percorso più efficace appare quello di prevedere la redazione di uno strumento specifico (l'esperienza internazionale va in questa direzione, come testimoniato dai *Climate Plan* e dagli *Adaptation Plan* redatti da molte città), ma concepito in una logica di incorporazione della dimensione climatica negli strumenti ordinari di pianificazione e programmazione.

In altre parole sarebbe auspicabile configurare un *doppio binario*, ovvero affidare al *piano di adattamento* il compito di esprimere una strategia climatica compiuta, coerente e quindi intersettoriale, e in parallelo affidare agli strumenti *ordinari* di governo del territorio (e quindi ai rispettivi attori) il compito di attuarne – attraverso una pluralità di attività, ma curandone il coordinamento – le indicazioni. Questa soluzione appare particolarmente adatta per il contesto italiano, già appesantito da un sistema delle pianificazioni e programmazioni molto complesso, che di tutto ha bisogno meno che di crescere in quantità (mentre ampi sarebbero gli spazi per una sua crescita qualitativa e per l'integrazione tra strumenti diversi ai fini della semplificazione).

Sempre basandosi sulle esperienze internazionali, ma con il conforto di quelle avviate da alcune realtà locali italiane (se ne è dato sinteticamente conto nei paragrafi precedenti di questo capitolo) si possono con ragionevole certezza indicare almeno quattro caratteristiche auspicabili per le strategie di adattamento e per i successivi piani di adattamento rivolti agli insediamenti urbani:

1. **interscalarità**, che richiama una geometria variabile dei territori interessati e il coinvolgimento di un esteso network istituzionale: vi saranno pertanto ruoli importanti e differenziati sia per strategie e piani di adattamento a livello nazionale, sia per strumenti analoghi promossi da enti locali, singoli o associati;
2. **trasversalità**, ovvero la capacità di cogliere le interconnessioni settoriali e di costruire un mix di politiche ed azioni equilibrato: questo mix avrà un senso operativo solo e soltanto se troverà riscontro nella allocazione delle risorse necessarie a dare gambe e a politiche ed azioni.

3. **condivisione sociale:** premesso che qualsiasi forma di governo ha necessità della condivisione sociale, va rilevato che i piani di adattamento dovranno scontare la necessità di coinvolgere i cittadini in una prospettiva che spazia dal breve al lunghissimo termine, e come dunque le dimensioni della informazione e della formazione assumeranno un ruolo centrale;
4. **operatività mirata:** gli orizzonti dell'adattamento climatico urbano dovranno essere modulati associando interventi in grado di produrre risultati misurabili in tempi brevi (ponendo particolare attenzione a quelli no regret, ovvero quelli di cui, pur nelle incertezze dei mutamenti futuri, non ci si dovrà pentire) con quelli la cui efficacia sarà apprezzata pienamente dalle future generazioni.

## Bibliografia

- Andrienko, N., Andrienko, G. (2007). Intelligent Visualization and Information Presentation for Civil Crisis Management. *Transaction in GIS*, 11.
- Arpa Emilia-Romagna (2007). Il sistema di previsione del disagio bioclimatico in Emilia-Romagna. Studio del fenomeno dell'isola di calore sull'area urbana di Bologna
- Arpa Emilia-Romagna (2008). Il sistema di previsione del disagio bioclimatico in Emilia-Romagna. Studio del fenomeno dell'isola di calore su un'area urbana di piccole dimensioni: Nonantola (Modena)
- Bergeron, O., and I. B. Strachan (2011). CO2 sources and sinks in urban and suburban areas of a northern mid-latitude city. *Atmos. Environ.*, 45, 1564-1573.
- Blecic, I., Cecchini A., Falk M., Marras S., Pyles R. D., Spano D., Trunfio G. A. (2011). Towards a Planning Decision Support System for Low-Carbon Urban Development. *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2011*. ISBN 978-3-642-21927-6.
- Boccaletti S. et al. (2006). Complex Networks: Structure and Dynamics *Phys. Reports*, 424, 175-308.
- Bosetti, V., Carraro, C., Sgobbi, A. & Tavoni, M. (2008). Delayed Action and Uncertain Targets. How Much Will Climate Policy Cost?. Nota di lavoro 69.2008, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Borfecchia F., De Cecco, L., La Porta, L., Lugari, A., Martini, S., Pollino, M., Ristoratore, E., Pascale, C. (2010). Active and passive remote sensing for supporting the evaluation of the urban seismic vulnerability *European Journal of Remote Sensing* 42(3): 129-141 .
- Bucchignani E., Sanna A., Gualdi S., Castellari S., Schiano P. (2011). Simulation of the climate of the XX century in the Alpine space. *Natural Hazards* , DOI 10.1007/s11069-011-9883-82010, 2011.
- Carraro, C. & Sgobbi, A. (2008). Climate Change Impacts and Adaptation Strategies In Italy. An Economic Assessment. Nota di lavoro 6.2008, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Charvat, K., Kubicek, P., Talhofer, V., Konecny M., Jezek, J. (2008). Spatial Data Infrastructure and geo-visualization in emergency management. *Resilience of Cities to Terrorist and other Threats*, pp. 443- 473. Springer Science + Business Media B.V.
- Coordinamento Agende 21 Locali Italiane, LG Action (2010). Le azioni di coordinamento e supporto delle Regioni Italiane agli Enti Locali per l'energia sostenibile e la protezione del clima.
- Cova, T. J. (1999). GIS in emergency management. In: Longley, P. A. et al. (eds). *Geographical Information Systems, V 2: Management Issues and Applications*, pp. 845-858. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Crawford, B., Grimmond C. S. B, Christen A. (2011). Five years of carbon dioxide fluxes measurements in a highly vegetated suburban area. *Atmos. Environ.*, 45, 896-905.
- EEA (2007). Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation, EEA Technical report n. 13/2007.
- EEA (2009). Ensuring quality of life in Europe's cities and towns, EEA report n. 5/2009, EEA, Copenhagen.
- EEA (2010). The European environment – state and outlook 2010: thematic assessment – urban environment.
- EEA (2012a). Urban adaptation to climate change in europe, EEA Report 2/2012.
- EEA (2012b). Climate Change, impacts and vulnerability in Europe.

ETC/ACC (2010). Vulnerabilities, Vulnerability Assessments by Indicators and Adaptation Options for Climate Change Impacts.

Gambarelli, G. & Gorla, A. (2004). Economic Evaluation of Climate Change Impacts and Adaptation in Italy. Nota di lavoro 103.2004, Fondazione Eni Enrico Mattei.

Giordano F., Capriolo A. and Mascolo, R.A. (2013). Planning for adaptation to climate change Guidelines for municipalities. Report of Life Project ACT (Adapting to Climate change in Time).

Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R., Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructures, Built Environment vol. 33 n. 1.

GRaBS (2011). Climate Change Adaptation Action Plan Guidance.

Handley J., Carter J. (2006). Adaptation strategy for climate change in the urban environment, Report to the National Steering Group.

Harvey, A., Hinkel, J., Horrocks, L., Klein, R., Lasage, R., Hodgson, N., Sajwaj, T. and Benzie, M. (2009). Preliminary assessment and roadmap for the elaboration of Climate Change Vulnerability Indicators at regional level. Reference: ENV.G.1/ETU/2008/0092r. Final Report to the European- Commission (Restricted Commercial, ED45669, Issue Number: 3).

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

HM Treasury (2006). Stern Review on the Economics of Climate Change, Executive Summary, disponibile su: [http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Executive\\_Summary.pdf](http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Executive_Summary.pdf) [ultimo accesso 1 dicembre 2012].

ISPRA (2009). Adattamento ai cambiamenti climatici: strategie e piani in Europa.

ISPRA (2012). VIII Rapporto sulla Qualità dell'ambiente urbano.

ISPRA (2012a). Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche, Quaderno ISPRA 32/2012; a cura di F. Desiato, G. Fioravanti, P. Frascchetti, W. Perconti, E. Piervitali.

ICLEI (2010). Changing climate, Changing communities, Guide and Workbook for municipal climate adaptation.

Järvi, L., A. Nordbo, H. Junninen, A. Riikonen, J. Moilanen, E. Nikinmaa, and T. Vesala (2012). Seasonal and annual variation of carbon dioxide surface fluxes in Helsinki, Finland, in 2006–2010. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 8355–8396, [www.atmos-chem-phys-discuss.net/12/8355/2012/](http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/12/8355/2012/), DOI:10.5194/acpd-12-8355-2012.

Johnson, K., Breil M. (2012). Conceptualizing Urban Adaptation to Climate Change, Findings from an Applied Adaptation Assessment Framework. Nota di Lavoro, FEEM.

Legambiente (2007). Città: il clima è già cambiato. Rapporto.

Marras, S., M. Casula, R. D. Pyles, R. L. Snyder, K. T. Paw U, and D. Spano (2011). Evaluation of the impact of planning alternative strategies on urban metabolism with the ACASA model. American Geophysical Union Conference, San Francisco, December 2011.

Marras, S., R. D. Pyles, M. Falk, R. L. Snyder, K. T. Paw U, I. Blečić, G. A. Trunfio, A. Cecchini, and Spano D. (2012). Application of the ACASA model for urban development studies. European Geophysical Union Conference, Vienna, April 2012.

Montesarchio M., A.L. Zollo, E. Bucchignani P. Mercogliano and S. Castellari (2014). Performance evaluation of high-resolution regional climate simulations in the Alpine space and analysis of extreme events. Pubblicazione sottomessa.

Musco F., Patassini D. (2012). Mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici: valutazioni di efficacia di piani e politiche in Usa, in Europa e in Italia. In: Pierobon A., Nuovo manuale di diritto e gestione dell'ambiente, Maggioli Editore, Rimini.

Musco F., Maragno D., Gariboldi D., Vedovo E. (2013). Remote Sensing e cambiamenti climatici: rischi e opportunità nel riuso e riciclo intelligente delle città. In: Il Governo della Città nella Contemporaneità: La città come motore di sviluppo, Edizioni INU, Roma.

NRDC (National Resources Defense Council) (2008). The Cost of Climate Change. What We'll Pay if Global Warming Continues Unchecked, NRDC Publications, New York.

OECD (2010) Cities and Climate Change, OECD Publishing.

Petralli M., Bartolini G., Morabito M., Orlandini S., Prokopp A., Torrigiani T. (2006). Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze. In: Petralli M. et al. (a cura di) Rivista Italiana di Agrometeorologia n. 1/2006, pp. 51-58 [http://www.agrometeorologia.it/documenti/rivista2006\\_1/orlandini.pdf](http://www.agrometeorologia.it/documenti/rivista2006_1/orlandini.pdf)

Pollino, M., Fattoruso, G., La Porta, L., Della Rocca, A.B, James, V. (2012). Collaborative Open Source Geospatial Tools and Maps Supporting the Response Planning to Disastrous Earthquake Events. Future Internet, 4, 451-468.

Ricci P., Verderame, G. M., Manfredi, G., Pollino, M., Borfecchia, F., De Cecco, L., Martini, S., Pascale, C., Ristoratore, E. and James, V. (2011). Seismic Vulnerability Assessment Using Field Survey and Remote Sensing Techniques. LNCS - ICCSA 2011, pp. 109-124. Springer Berlin-Heidelberg.

Rockel, B., A. Will, and A. Hense (2008). The regional climate model cosmo-clm (cclm). Meteorologische Zeitschrift, 17 (4), 347-348.

Rosato V., Tiriticco F., Issacharo L., De Porcellinis S., Setola R., 2008 : Modelling interdependent infrastructures using interacting dynamical models Int. J. Crit. Infrastr. 4 ,63-79

Scoccimarro, E, S. Gualdi, A. Sanna, E. Bucchignani, and M. Montesarchio (2011). Extreme events in high resolution CMCC regional and global climate models. CMCC Research Paper RP0110.

Snover, A.K., L. Whitely Binder, J. Lopez, E. Willmott, J. Kay, D. Howell, and J. Simmonds (2007). Preparing for Climate Change: A Guidebook for Local, Regional, and State Governments. In association with and published by ICLEI – Local Governments for Sustainability, Oakland, CA.

UK Climate Change Risk Assessment: Government Report (2012).

Van Staden M., Musco F. (eds.) (2010). Local Governments and Climate Change – Sustainable Energy Planning and Implementation in Small and Medium Sized Communities, Springer Verlag, New York.

Velasco, E., and M. Roth (2010). Cities as net sources of CO<sub>2</sub>: review of atmospheric CO<sub>2</sub> exchange in urban environments measured by eddy covariance technique. Geogr. Compass, 4, 1238-1259.

Walsh, C. J., T. R. Oke, C. S. B. Grimmond, and J. A. Salmond (2004). Fluxes of atmospheric carbon dioxide over a suburban area of Vancouver. Preprints for Amer. Meteor. Soc. Fifth Symp. on the Urban Environment, Vancouver. B.

# Infrastruttura critica

## Patrimonio culturale

### Sintesi

La conoscenza dell'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale in Italia si basa, innanzitutto, sull'identificazione dei parametri climatici prioritari che ne determinano il degrado sia in ambiente esterno (principalmente patrimonio architettonico, archeologico, ecc.) che in ambiente interno (musei, chiese, ipogei, ecc.).

La valutazione della vulnerabilità e dei rischi cui il patrimonio culturale è soggetto, lo studio dei diversi materiali che costituiscono i beni diffusi sul territorio e le forme di degrado che li interessano - in relazione alle particolarità ambientali, alle caratteristiche del paesaggio, all'impatto antropico - costituiscono il tema prioritario nella messa a punto di strategie di protezione, controllo e prevenzione del danno per la conservazione del patrimonio culturale stesso. In questo senso la conoscenza dell'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio in Italia diventa essenziale e richiede innanzitutto l'identificazione dei parametri climatici prioritari che determinano il degrado sia in ambiente esterno che in ambiente interno. Nella fase successiva devono essere messe a punto strategie per la conservazione del patrimonio dagli impatti e per la riduzione del contributo antropico a questi, attraverso azioni che coinvolgano non solo gli enti preposti alla conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale, ma anche quelli coinvolti nello sviluppo economico e sociale.

In base alle conoscenze disponibili emerge il ruolo predominante dell'acqua come fattore di degrado diretto e indiretto dei materiali costituenti i beni culturali. Eventi estremi, sempre più frequenti come precipitazioni intense fino ad alluvioni e tempeste, sono responsabili di danni anche strutturali negli edifici storici, in particolare per quanto riguarda gli elementi ornamentali (guglie, pinnacoli, sculture, finiture, ecc).

I modelli di previsione indicano che durante il XXI secolo la dissoluzione chimica dei materiali lapidei carbonatici sarà dovuta principalmente alle precipitazioni e all'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica, determinando in Italia un aumento massimo della recessione superficiale pari al 30% rispetto al periodo di riferimento 1961-1999 e corrispondente a valori medi di 30 µm/anno.

I dati dimostrano che le regioni mediterranee inclusa la Sicilia, particolarmente ricche di monumenti e siti archeologici in materiale lapideo, continueranno a sperimentare un alto livello di rischio da stress termico, con valori a volte superiori a 200 eventi all'anno alla fine del secolo

La decoesione dei materiali da costruzione porosi è prevista aumentare per effetto dell'incremento dei cicli di cristallizzazione/solubilizzazione di sali in tutta Europa, inclusa l'Italia. Si avrà invece una generale riduzione dei danni prodotti dai cicli di gelo e disgelo.

Inoltre, per quanto riguarda il paesaggio, l'aumento della temperatura sta creando ben noti problemi di trasformazione, con lo spostamento in quota dei limiti altitudinali delle fasce di vegetazione, e processi di desertificazione nell'area mediterranea.

La ricerca sull'impatto che i cambiamenti climatici produrranno sul patrimonio culturale è stata fino ad ora molto limitata; va infatti evidenziato che gli scenari disponibili si riferiscono principalmente ai materiali da costruzione, mentre mancano valutazioni di impatto relativi ai sistemi complessi, quali centri storici e siti archeologici, sottoposti anche a intensa azione antropica determinata dai flussi turistici. E' urgente quindi inserire il patrimonio culturale nella catena dei valori dello sviluppo sostenibile, la problematica numero uno che si trova a fronteggiare il mondo oggi.

## **Stato delle conoscenze sull'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale in Italia**

Il patrimonio culturale - un settore estremamente complesso per la diversità dei materiali, delle strutture e dei sistemi che lo caratterizzano- è una risorsa non rinnovabile: va quindi incentivato l'interesse sociale e culturale verso tale risorsa, preservandone l'integrità per le generazioni future.

Per questo è urgente inserire il patrimonio culturale nella catena dei valori dello sviluppo sostenibile: la problematica numero uno che si trova a fronteggiare il mondo oggi.

La ricerca sull'impatto che i cambiamenti climatici produrranno sul patrimonio culturale è stata fino ad ora molto limitata e non ha ancora generato politiche generali di intervento atte a mitigare gli impatti e a produrre sistemi di controllo e di prevenzione.

### ***Parametri climatici prioritari per il patrimonio culturale***

Il presente rapporto di sintesi si basa principalmente sui risultati ottenuti nell'ambito del Progetto europeo Noah's Ark "Global climate change impact on built heritage and cultural landscapes" coordinato dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR a cui hanno partecipato 7 Paesi Europei, che ha affrontato per la prima volta l'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale.

Per produrre scenari futuri sull'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale costruito, sui siti archeologici e sul paesaggio culturale sono stati utilizzati gli output del modello Generale e Regionale prodotti dall'Hadley Center (HadCM3 e HadRM3) riferiti agli scenari emissivi A2 (IPCC 2001).

Le proiezioni future sono state effettuate per tre periodi temporali: 1961-1990 (periodo di riferimento), 2010-2039 (vicino futuro) e 2070-2099 (lontano futuro) per l'HadCM3 e il lontano

futuro (2070-2099) per HadRM3. L'area geografica selezionata su cui si è incentrato lo studio è l'Europa e ricopre una regione di longitudine 33° 75'W – 67° 50'E e latitudine 80°N – 25°N per il modello generale, e longitudine 30°W – 55°E e latitudine 72°N – 35°N per il modello regionale.

Innanzitutto sono stati identificati: a) i principali fenomeni di degrado che avvengono sui materiali da costruzione e sulle strutture caratterizzanti i beni culturali; b) i materiali sui quali effettuare le simulazioni che sono stati scelti in base alla rilevanza artistica e frequenza di utilizzo nel patrimonio costruito in Europa, ed alle tipologie di degrado che più interessano l'area europea; in particolare sono stati presi in considerazione marmi e calcari a bassa porosità, arenarie contenenti minerali argillosi, mattoni, metalli, legno e vetro.

Sono stati poi determinati i parametri meteorologici e climatici maggiormente critici per la conservazione del patrimonio culturale e del costruito, che sono stati suddivisi in: i) parametri correlati alla temperatura, quali variazioni stagionali e annuali di temperatura, cicli di gelo e disgelo e shock termici (ovvero escursione termica giornaliera > 10, 15 e 20 °C); ii) parametri correlati alle precipitazioni, quali valore medio stagionale e annuale, giorni consecutivi di pioggia ed eventi estremi di pioggia; iii) parametri correlati all'umidità, quali cicli di umidità relativa e shock di umidità relativa (variazione tra 2 giorni consecutivi >25%); iv) parametri correlati al vento, quali valore medio annuale e stagionale, trasporto e deposizione di spray marino e rosa delle precipitazioni; v) parametri correlati all'inquinamento atmosferico ovvero acidità delle precipitazioni e concentrazione di gas, quali SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub> e O<sub>3</sub> (Brimblecombe et. al., 2006). È stata fatta una revisione approfondita delle funzioni di danno presenti in letteratura, e sono state anche sviluppate ulteriori funzioni modificando le esistenti e proponendone di nuove.

Una volta prodotto il database su base europea degli output delle variabili climatiche e identificate le funzioni di danno sono state realizzate mappe delle medie trentennali relative al periodo di riferimento (1961-1990), al vicino futuro (2010-2039) e al lontano futuro (2070-2099) nonché mappe delle differenze tra le medie del vicino futuro e il periodo di riferimento e tra le medie del lontano futuro e il periodo di riferimento, utili per valutare e quantificare l'entità delle variazioni avvenute.

Le mappe realizzate sono state classificate in funzione delle elaborazioni effettuate e sono state suddivise in mappe climatiche, di danno, di rischio e di multi-rischio.

I risultati ottenuti consentono di proporre degli scenari futuri relativi all'impatto che i cambiamenti climatici avranno sul patrimonio culturale costruito, i siti archeologici e il paesaggio culturale che verranno sintetizzati nel presente capitolo.

## *Lacune esistenti su base osservativa e modellistica*

Non sono stati fatti fino ad ora studi specificatamente incentrati sull'impatto dei cambiamenti climatici in Italia, lacuna determinante se si tiene conto della complessità del territorio su cui il patrimonio culturale italiano è distribuito.

Si rileva la pressoché totale mancanza di dati osservativi: il monitoraggio è quindi necessario per poter correlare il degrado di materiali e sistemi caratterizzanti i beni culturali, con le variabili climatiche e con i suoi cambiamenti.

Vi è inoltre una evidente necessità di downscaling, se si vuole prevedere l'impatto che la variazione dei parametri climatici hanno non solo sui centri storici e sul paesaggio, ma anche su aree più specificatamente riferite ai singoli manufatti. A tale proposito si cita il progetto "Progetto preliminare integrato: studio del deterioramento delle superfici del Complesso del Vittoriano" condotto con finanziamento MiBAC (Giavarini et al., 2008; Clarelli et al., 2009).

Per elaborare scenari futuri mancano infine funzioni di danno: nell'ambito del progetto Noah's Ark è stata fatta una revisione approfondita delle funzioni di danno presenti in letteratura e sono state inoltre sviluppate funzioni modificando le esistenti e proponendone di nuove. Esiste oggi una evidente lacuna nella disponibilità di funzioni adatte a tale scopo, e la ricerca si deve orientare in questa direzione con urgenza.

Va infine evidenziato che gli scenari disponibili si riferiscono principalmente ai materiali da costruzione (quali ad esempio materiali lapidei, metalli, legno), mentre non vengono considerati i sistemi complessi, quali i centri storici e i siti archeologici, soggetti ad interazioni sinergiche e per questo molto probabilmente più intense rispetto a quelle misurabili in sistemi semplici e monomaterici.

L'Italia si è fatta promotrice nel proporre e sostenere questa area di ricerca in Unione Europea e attualmente il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) e il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) coordinano congiuntamente la Joint Programming Initiative "Cultural Heritage and Global Change: a New Challenge for Europe", che ha raccolto l'adesione di 17 Stati Membri e Paesi Associati, al fine di promuovere programmi di ricerca scientifica e tecnologica applicata alla protezione e gestione del patrimonio culturale e definire una comune Agenda di Ricerca in questo settore in cui l'Italia e l'Europa hanno la leadership nel mondo.

## **Vulnerabilità del patrimonio culturale e valutazione dei rischi**

### *Materiali lapidei naturali e artificiali in ambienti esterni*

Il patrimonio architettonico nel corso della storia è stato realizzato utilizzando diversi materiali lapidei naturali e artificiali, più o meno durevoli, e il loro degrado indotto da fattori naturali e antropici è stato estensivamente studiato negli ultimi decenni. Anche se vi sono varie funzioni di danno in grado di stabilire un legame quantitativo tra causa ed effetto, queste non sempre forniscono una stima accettabile dei processi di degrado, specialmente se si considerano i parametri fisici che differenziano i diversi supporti lapidei (naturali e artificiali), in particolare la porosità aperta totale e la distribuzione del volume cumulativo in funzione del raggio dei pori (Viles et al., 1997) e i parametri chimici, cioè la composizione dei diversi substrati (Doehne e Price, 2010).

I principali processi di degrado che agiscono in modo sinergico sul patrimonio architettonico e che possono subire variazioni di entità in funzione dei cambiamenti climatici sono: recessione superficiale, annerimento, termoclastismo, decoesione e fratturazione per cicli di gelo e disgelo, cristallizzazione di sali, biodegrado.

### *Recessione superficiale*

L'attacco chimico prodotto dall'acqua piovana in equilibrio con la CO<sub>2</sub> atmosferica e con specie gassose presenti in atmosfera (NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> in particolare) e dalla deposizione secca di gas inquinanti tra gli eventi di precipitazione, colpisce principalmente i materiali carbonatici e dà luogo alla recessione superficiale. L'applicazione della funzione di Lipfert (1989), che parametrizza questo fenomeno, agli scenari futuri mostra che l'effetto prodotto dalla dissoluzione del carbonato di calcio per azione della CO<sub>2</sub> predomina; ciò implica una diretta relazione fra recessione superficiale e cambiamenti nelle precipitazioni annuali. Tuttavia la funzione di Lipfert sovrastima il contributo dell'effetto carsico e non considera l'apporto del particolato atmosferico le cui concentrazioni, nelle aree urbane, spesso eccedono i limiti di legge.

Le mappe di vulnerabilità prodotte per il XXI secolo per marmi e calcari a bassa porosità mostrano che in Europa la recessione superficiale cambierà prevalentemente per effetto della precipitazione e dell'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub>. Nel periodo 2079-2099 mentre nell'Europa Centrale, Norvegia, regioni settentrionali dell'Inghilterra e della Spagna la recessione superficiale risulta variare fra 20-30 µm/anno, nell'Europa meridionale, inclusa l'Italia, questo fenomeno decrescerà con una diminuzione di circa 1-4 µm/anno. La recessione superficiale si prevede sia più alta nelle aree maggiormente interessate dalle precipitazioni, in particolare le catene montuose, ovvero Alpi e Appennini, dove si raggiungeranno valori superiori ai 30 µm/anno, corrispondenti ad un aumento del 30% rispetto al periodo di riferimento 1961-1999. Nella Val Padana si avranno valori inferiori, ovvero 5 µm/anno (Bonazza et al., 2009a).

## *Annerimento*

La deposizione di particelle carboniose deturpa gli edifici e i monumenti e attiva processi di degrado chimico dei supporti lapidei di natura carbonatica. Sulla base della percezione in termini di colore e luminosità, sono state proposte soglie accettabili di annerimento e “soiling” (Brimblecombe e Grossi, 2009) per le superfici architettoniche. Gli studi condotti hanno fornito valori indicativi di concentrazione di carbonio elementare (CE) nell’aria per una protezione sostenibile degli edifici storici, pari a circa 2-3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Nel prossimo futuro è prevista una riduzione nella concentrazione di CE come risultato delle direttive vigenti per il controllo di PM10 e PM2,5. Va però notato che gli strati di degrado recenti hanno un maggiore contenuto in carbonio organico (CO) e un colore differente (ovvero giallo/marrone), come è stato rilevato in vari monumenti europei, tra cui la Torre di Londra e S. Maria del Fiore a Firenze (Bonazza et al., 2007; Progetto Europeo TEACH “Technologies and tools to prioritize Assessment and diagnosis of air pollution impact on immovable and movable Cultural Heritage” Coordinato dal CNR-ISAC)<sup>302</sup>. Questi cambiamenti possono portare a processi ossidativi negli strati ricchi di composti organici e a polimerizzazioni, aumentando l’adesione delle particelle atmosferiche alle superfici.

La percezione dell’aspetto delle superfici di edifici e monumenti è influenzata, oltre che dal livello di annerimento superficiale, anche dalla distribuzione delle aree di annerimento (grigie o nere) che alterano le geometrie delle architetture e rendono poco leggibile il monumento.

## *Termoclastismo*

Il termoclastismo è un processo di decoesione in seguito a cicli di espansione e contrazione termica differenziale di grani minerali superficiali e depositi salini interstiziali (ad es. nitrati e cloruri), in risposta alle fluttuazioni di temperatura nel lungo e breve periodo sulla superficie del materiale, indotte dalla radiazione solare in condizioni di esposizione naturale. La temperatura superficiale di un materiale dipende principalmente dalla radiazione solare e dalla sua esposizione. Le condizioni meteorologiche influenzano fortemente i cicli termici giornalieri e la temperatura di superficie è controllata da una combinazione di albedo superficiale, che dipende da colore, tessitura e conducibilità termica del materiale.

Studi hanno dimostrato che una variazione di temperatura di 50° C produce tensioni interne nel marmo di Carrara vicine al carico di compressione massimo ammissibile per un monolite di marmo (Lazzarini e Tabasso, 1986). Va ricordato che escursioni giornaliere di temperatura superficiale di 25-30 ° C si verificano normalmente durante i periodi estivi nell’area mediterranea.

Sono state prodotte mappe di vulnerabilità per i periodi 2010-2039 e 2070-2099 valutando il numero di eventi all'anno che causano tensioni interne nel marmo superiori a 20 MPa, valore adottato come il carico massimo sostenibile per questo specifico materiale. I dati dimostrano che le

---

<sup>302</sup> [www.teach-project.eu](http://www.teach-project.eu).

regioni mediterranee, in particolare la Sicilia, continueranno a sperimentare un alto livello di rischio da stress termico, con valori a volte superiori a 200 eventi all'anno alla fine del secolo (Sabbioni et al., 2008; Bonazza et al., 2009b). Va ricordato che queste regioni sono particolarmente ricche di monumenti e siti archeologici, una parte dei quali in marmo.

### **Crioclastismo**

La decoesione e fratturazione per cicli di gelo e disgelo sono stati a lungo considerati un importante fattore di danno per gli edifici in materiale lapideo naturale ed artificiale.

Gli effetti del gelo-disgelo nei materiali lapidei si basano sulla propagazione delle fratture in seguito a cicli di temperatura intorno a 0°C. Il numero di cicli di gelo e disgelo, usato come indice di danno probabile, è stato mappato in tutta Europa e sono stati valutati i cambiamenti previsti per la fine del XXI secolo (2070-2099) in termini di deviazioni standard sopra o sotto la media rispetto al periodo 1961-1990. Si prevede una riduzione dei danni prodotti dal crioclastismo, dovuta ad un generale aumento della temperatura, con una eccezione per la Groenlandia, l'estremo Nord dell'Europa e la Russia. In Italia si avrà una generale riduzione dei danni prodotti dai cicli di gelo e disgelo.

### **Cristallizzazione di sali**

La presenza di sali solubili rappresenta la principale causa di degrado dei materiali lapidei naturali e artificiali. Il fenomeno è legato in particolare alla cristallizzazione dei sali all'interno dei pori con conseguente stress meccanico, sufficiente a generare disgregazioni del supporto. I sali possono entrare in contatto con i materiali attraverso deposizione di aerosol (in particolare per quanto riguarda solfati e nitrati), per risalita capillare di soluzioni saline, direttamente dai materiali da costruzione, da reazioni tra il substrato e prodotti di intervento, o in generale da attività antropiche.

Il numero di cicli l'anno di umidità relativa intorno a 75,5%, che è il valore in cui si passa dalla dissoluzione ( $UR > 75,5\%$ ) alla cristallizzazione ( $UR < 75,5\%$ ) del cloruro di sodio, è stato assunto come indicatore quantitativo degli eventi di cristallizzazione di sali: i dati ottenuti indicano che si avrà un aumento del numero di eventi l'anno in tutta Europa, inclusa l'Italia. In Italia Centrale in particolare si prevedono oltre 45 cicli/anno di umidità relativa intorno a 75,5% nel periodo 2070-2099 (Benavente et al., 2008; Grossi et al., 2011). Accanto ai processi di cristallizzazione-dissoluzione dei sali solubili in acqua, si possono verificare processi di degrado legati a cicli di idratazione-deidratazione di alcuni sali (ad es. solfato di sodio), le cui variazioni di volume molare comportano un significativo contributo al degrado fisico del supporto.

In tutti i casi l'intensità del degrado fisico legato all'azione dei sali dipende dalla distribuzione della porosità e dalla dimensione media dei pori del supporto. Allo stato attuale non sono ancora definiti modelli in grado di prevedere l'intensità del degrado fisico per azione diretta dei Sali, considerata anche la difficoltà di operare su sistemi costituiti da miscele di sali e in condizioni di non equilibrio.

## **Biodegrado**

Le attività umane hanno causato e continueranno a causare cambiamenti nella biodiversità attraverso cambiamenti di uso del suolo e copertura del suolo, inquinamento del suolo, delle acque e dell'aria, gestione intensiva degli ecosistemi, sfruttamento selettivo delle specie, introduzione di specie alloctone, ecc. Il cambiamento climatico, in particolare l'aumento dei valori di umidità relativa ambientale, influenzerà tutti gli aspetti della biodiversità, tra cui la biodiversità delle specie associate ai monumenti.

I materiali da costruzione sono generalmente soggetti a colonizzazione da parte dei microorganismi ed è stato rilevato che anche l'introduzione di nuovi materiali da costruzione potrà aumentare la biodiversità locale attraverso la colonizzazione di microrganismi specifici.

La colonizzazione e il biodegrado dei materiali da costruzione, che implica sia processi chimici che fisici del supporto, sono legati alle condizioni ambientali, soprattutto umidità, temperatura e luce, nonché dalla natura chimica del substrato. L'insediamento di organismi fototrofici su strutture artificiali, ed in particolare sulla superficie degli edifici storici, può causare problemi di natura culturale, sociale ed economica e per questo i processi di biodegrado sono stati oggetto di molti studi nel campo della protezione del patrimonio in questi ultimi anni. La presenza di organismi fototrofici su superfici in pietra non implica automaticamente un'azione distruttiva, ma se il biodegrado viene definito come qualsiasi modifica indesiderabile delle proprietà di un materiale causato dall'attività vitale degli organismi, la presenza di questi sulle superfici lapidee può essere considerata come biodegrado, semplicemente a causa dei cambiamenti estetici che determinano.

È previsto che il cambiamento climatico in Europa eserciterà un effetto considerevole sul microclima e successivamente potrà interferire con la colonizzazione e l'insediamento delle comunità fototrofiche sulle superfici dei monumenti.

Le proiezioni future indicano che, anche se tali cambiamenti climatici non influiranno significativamente sulla quantità di biomassa presente sui monumenti in rocce silicatiche e graniti per il periodo 2010-2039 in Europa, maggiori differenze saranno rilevabili in alcune regioni europee per il periodo 2070-2099. A fronte di un aumento di carico di biomassa nell'Europa settentrionale, nel sud dell'Europa ne è prevista una diminuzione. In Italia, quindi, eccetto nella fascia alpina dove si avrà un incremento, la crescita di biomassa ad esempio su rocce silicatiche alla fine del secolo è prevista in diminuzione (Gómez-Bolea et al., 2012).

## **Legno**

Il legno è sempre stato un materiale di vitale importanza nell'esistenza umana e i manufatti funzionali e decorativi in legno costituiscono una parte importante del nostro patrimonio culturale. Ci sono due principali meccanismi che deteriorano gli oggetti e le strutture storiche in legno:

1. danno meccanico causato da variazioni climatiche, principalmente umidità relativa;
2. attacco biologico da funghi.

Il primo meccanismo ha maggior rilevanza per gli oggetti storici in legno all'interno degli edifici, in quanto le strutture esterne in legno esposte agli agenti atmosferici si sono adattate nel tempo alle variazioni di umidità relativa. Il secondo meccanismo di danno è rilevante per le strutture in legno esposte agli agenti atmosferici.

### *Danno meccanico causato da variazioni di umidità relativa*

Il legno è un materiale igroscopico e risponde alle variazioni di umidità relativa (UR), subendo modifiche dimensionali che inducono a loro volta a sollecitazioni interne al materiale con conseguenti gravi danni fisici. Anche durante la fase di essiccaamento possono generarsi tensioni che, se superano il limite di snervamento del legno, comportano deformazioni plastiche irreversibili o fratture.

Il legno è stato inoltre ampiamente utilizzato come supporto di pitture, sculture policrome o arredi e accessori collocati all'interno di edifici storici, che possono essere interamente o parzialmente in legno. Le diverse risposte dei singoli materiali, in particolare in presenza di strati pittorici di finitura, rendono questi manufatti particolarmente vulnerabili alle rapide variazioni di UR, che possono comportare processi di delaminazione e danni meccanici ai delicati strati pittorici.

I danni meccanici si verificano nel legno ogniqualvolta la variazione di UR supera la soglia consentita, che è il punto in cui lo stress prodotto supera la grandezza critica corrispondente al punto di rendimento. Misure di laboratorio e simulazioni numeriche hanno consentito di produrre delle mappe di variazioni tollerabile di UR. Variazioni rapide di UR che eccedono il 30% producono un notevole potenziale di danno. Il numero di variazioni trimestrali dannose calcolate su due giorni consecutivi è stato utilizzato come indicatore del rischio di danno meccanico nel legno indotto da fattori ambientali per i tre periodi: 1961-1990, periodo di riferimento, 2010-2039, vicino futuro, e 2070-2099, lontano futuro. Il rischio risulta aumentare fino al 100 % in tutta Europa per la fine del secolo rispetto al periodo di riferimento e solo nel nord Europa risulta diminuire.

La ricerca mostra che forti variazioni di umidità rimarranno un importante agente di degrado dei manufatti storici in legno. Nel considerare le strategie di adattamento per un determinato edificio o collezione storico-artistica, si dovrebbe tener conto di un grande numero di fattori: la sensibilità specifica degli oggetti all'umidità relativa ambientale, l'uso dell'edificio (fruizione) e il sistema di climatizzazione degli ambienti. Bilanciare questi fattori costituisce una grande sfida nella gestione sostenibile a lungo termine del patrimonio culturale. Il monitoraggio sia del microclima, principalmente UR e sue fluttuazioni, che delle condizioni di conservazione dei manufatti in legno deve essere effettuato su scala più ampia, incentivando l'utilizzo di strumenti non invasivi, particolarmente con controllo remoto.

Condizioni microclimatiche idonee che replicano le condizioni medie del passato devono essere definite. Infine è stato rilevato come sia indispensabile progettare specifici sistemi di

riscaldamento, umidificazione o deumidificazione all'interno degli edifici storici, ottimizzando il controllo della UR, migliorando le pratiche di pulizia e aumentando la frequenza dei regimi di manutenzione dei sistemi esistenti.

### *Attacco biologico da funghi*

È generalmente noto che i maggiori problemi da attacco biologico da funghi in edifici storici e collezioni avviene in presenza di eccesso di umidità. È stato messo a punto un indice di rischio climatico per il legno specifico nel campo dei beni culturali, sviluppato nell'ambito del progetto Noah's Ark, che tiene conto della reale profondità di penetrazione di umidità e del risultante reale volume di infestazione. È stato inoltre calcolato il tempo in cui il contenuto di umidità è al di sopra del livello critico del 20% (a cui avviene la crescita fungina). Il tasso di degrado da funghi è stato assunto proporzionale al numero di gradi di cui la temperatura supera i 2°C. L'indice, che è stato applicato per l'abete rosso, mostra che fra il 1961 e il 2099 il rischio di attacco fungino su legno negli esterni aumenterà fino al 50% nel nord ed est dell'Europa per effetto dell'aumento della temperatura; al contrario, il rischio diminuirà fino al 30% nel sud e ovest dell'Europa, inclusa l'Italia. Questi risultati di ricerca consentiranno misure di protezione contro il cambiamento climatico, da applicare più oggettivamente e in maniera più mirata che in passato.

### *Metalli*

I metalli hanno una vasta gamma di utilizzo negli edifici e oggetti del patrimonio culturale. L'acciaio è stato tradizionalmente usato per fissaggi, accessori e oggetti forgiati, mentre la ghisa è stata usata in recinzioni e cancelli. Sebbene oggi lo zinco sia comunemente usato come pigmento nei rivestimenti e nelle zincature a caldo, in passato veniva usato come fogli di zinco per coperture e grondaie. Anche il piombo è stato usato tradizionalmente come materiale di copertura, soprattutto in Francia e in Italia; il tetto della Basilica di S. Pietro a Roma, per esempio, è in piombo. Negli edifici l'alluminio è utilizzato principalmente come materiale di copertura e di facciata. Fin dal 1897 il tetto della Chiesa di San Gioacchino a Roma è stato rivestito in alluminio. I principali impieghi del rame includono tetti e davanzali. Molto diffuso è infine l'uso del bronzo, soprattutto nelle statue.

Le principali cause di corrosione atmosferica dei metalli possono essere raggruppate nelle seguenti categorie: parametri climatici, inquinanti gassosi, aerosol atmosferico, piogge acide.

L'evoluzione della corrosione dei metalli per effetto dei cambiamenti climatici è stata studiata per due effetti principali:

1. l'effetto combinato di temperatura e inquinamento da SO<sub>2</sub> specificatamente per l'acciaio, ma indicativo anche della corrosione del bronzo;
2. l'effetto combinato di temperatura e deposizione di cloruri per lo zinco, ma indicativo anche per piombo e rame.

Va sottolineato che questi due effetti principali sono entrambi importanti per tutti i metalli, ma con diverso grado di priorità. In futuro ulteriori inquinanti da prendere in considerazione saranno l'acido nitrico e gli acidi organici.

### *Effetto combinato di temperatura e inquinamento da SO<sub>2</sub>*

Su una superficie metallica la temperatura agisce in combinazione con l'umidità relativa per determinare la presenza di acqua in fase liquida, che favorisce la deposizione e cattura di gas e particelle inquinanti; quindi gli effetti indotti dal clima e dall'inquinamento atmosferico vanno considerati congiuntamente.

Proiezioni per il XXI secolo effettuate sulla cella di griglia che include la città di Roma mostrano che l'aumento della temperatura riduce il tempo di bagnamento, diminuendo quindi la velocità di corrosione per l'acciaio e per il bronzo. Per acciaio e bronzo si prevede quindi una generale diminuzione della corrosione nelle aree urbane italiane.

### *Effetto combinato di temperatura e deposizione di cloruri*

La velocità di corrosione della maggior parte dei metalli è fortemente influenzata dalla concentrazione di cloruri sulla superficie. Uno dei motivi è che i cloruri hanno proprietà igroscopiche e contribuiscono così alla creazione di uno strato elettrolitico. Questo porta ad un allungamento dei periodi in cui la superficie è bagnata, anche a temperature elevate. Pertanto, in presenza di cloruri, non si osserva affatto la diminuzione della corrosione per effetto dell'aumento della temperatura, al contrario la corrosione continua ad aumentare per temperature superiori ai 10°C. L'altro principale motivo è che i cloruri esercitano una significativa azione di corrosione e possono causare 'pitting' (ovvero corrosione localizzata che si forma sulla superficie dei metalli).

Proiezioni della corrosione dello zinco dal 1960 al 2100 sono state calcolate per effetto della deposizione di cloruri a concentrazioni di 300 mg m<sup>-2</sup> giorno<sup>-1</sup>, valore che è relativamente elevato, ma che può verificarsi a distanza di alcune centinaia di metri della riva del mare o in aree dove viene utilizzato sale per contenere il rischio di formazione di ghiaccio sulle strade. Nonostante quindi si preveda che l'umidità relativa diminuisca con l'aumento della temperatura, per l'effetto della deposizione dei cloruri la temperatura assume un ruolo prioritario nel determinare la corrosione dello zinco e ovunque in Europa si osservi una tendenza all'aumento della corrosione a causa dell'aumento della temperatura. In Italia la corrosione dello zinco si prevede aumenti nelle aree sia urbane che rurali caratterizzate da elevati valori di deposizione di cloruri.

È importante sottolineare che questi effetti sono stati previsti assumendo una deposizione costante di cloruri. Tuttavia, la concentrazione cloruri potrebbe cambiare in futuro a causa di cambiamenti dell'intensità e direzione dei venti.

### ***Impatto dell'aerosol marino***

La produzione di aerosol marino è fortemente legata alla velocità del vento. Episodi estremi di vento, come tempeste e uragani, possono causare una significativa deposizione del sale marino sulle superfici, spesso pari a diversi mesi di deposizione in condizioni meteorologiche normali.

La deposizione media di sale marino sulle superfici diminuisce in funzione della distanza dalla costa. Il gradiente dipende dalla velocità del vento, ed è particolarmente elevato entro i primi 100 metri dalla riva.

La presenza di vento non è ugualmente distribuita in tutta Europa e la deposizione di sali provenienti dal mare quindi varia di conseguenza. La deposizione di cloruri nei primi 100 m dalla costa è stata prevista per il periodo di riferimento (1961-1990), prossimo futuro (2010-2039) e lontano futuro (2070-2099). I risultati mostrano che il cambiamento previsto rispetto al periodo di riferimento per il futuro (vicino e lontano) è molto modesto. È quindi probabile che i futuri cambiamenti climatici abbiano un basso impatto sulla deposizione di sale di mare sulle superfici nella fascia costiera.

### ***Strutture e infrastrutture dei beni culturali***

Il patrimonio costruito - che include manufatti, strutture e infrastrutture storiche e archeologiche all'aperto - è esposto all'impatto del clima e dei suoi cambiamenti non soltanto in funzione dei materiali di cui è composto (trattati nei precedenti paragrafi sulla base delle conoscenze attualmente disponibili), poiché la sua vulnerabilità è influenzata da vari fattori (ovvero vento e precipitazioni).

Il vento provoca principalmente danni meccanici alle strutture. Due sono i possibili effetti prodotti dal vento: i) abrasione superficiale dei materiali da costruzione che può causare significativi cambiamenti delle superfici esterne della struttura; ii) danni strutturali causati dal vento, specialmente se in combinazione con la pioggia, che può provocare danni meccanici locali o, in caso di vento estremo, anche il crollo delle strutture stesse o di parti di esse.

Le precipitazioni e la conseguente saturazione del suolo è una delle principali cause di frane che possono produrre perdite rilevanti del patrimonio architettonico, interessando vaste aree e determinando danni in gran parte irreparabili. Gli eventi climatici estremi dunque costituiscono il maggiore pericolo. Per la valutazione del rischio di frana connesso ai cambiamenti climatici si rimanda al capitolo "Dissesto idrogeologico".

Le alluvioni producono danni agli edifici e alle infrastrutture del patrimonio culturale a causa di carichi statici e dinamici (ovvero pressione e portata d'acqua), impatto di oggetti trascinati dalle correnti, bagnamento dei materiali da costruzione (il cui degrado avviene principalmente nella fase di asciugamento), rischio di trasferimento di sostanze inquinanti e contaminazione biologica. Un'alluvione, anche se di breve durata, produce conseguenze che richiedono interventi lunghi e di grande portata. Oltre a danni meccanici, durante e soprattutto dopo le alluvioni, si possono verificare attacchi chimici ai materiali principalmente dovuti all'inquinamento delle acque ed alle

efflorescenze saline durante i processi di essiccazione. I problemi si intensificano nel momento in cui vengono coinvolti i siti archeologici, già vulnerabili in quanto esposti nella maggior parte dei casi all'azione diretta degli eventi meteorici e in quanto strutture soggette a una manutenzione spesso insufficiente. Il patrimonio archeologico necessita quindi e a maggior ragione di particolari attenzioni sia nella definizione di progetti di monitoraggio e di valutazione della vulnerabilità, includendo anche eventi legati al dissesto idrogeologico, che di manutenzione e prevenzione del danno.

Per la valutazione del rischio da alluvioni connesso ai cambiamenti climatici si rimanda al capitolo sul dissesto idrogeologico del presente rapporto tecnico.

## ***Materiali di interesse storico-artistico in ambiente museale***

### ***Effetti combinati del microclima e della qualità dell'aria***

Le condizioni ambientali associate all'inquinamento atmosferico sono responsabili del degrado dei materiali caratterizzanti il patrimonio culturale. Le cause di degrado dei manufatti artistici in ambienti interni sono molteplici e molto spesso i meccanismi di danno cambiano in funzione di particolari fattori ambientali. Per esempio, gli inquinanti gassosi possono attaccare i manufatti in misura maggiore o minore in funzione del livello di umidità relativa dell'aria. Inoltre sono stati rilevati effetti sinergici, in cui l'azione di una classe di inquinanti quali i composti organici volatili (VOC), viene amplificata da altri fattori quali, ad esempio, la luce, che esercita un effetto catalizzante nelle reazioni foto-ossidative.

Sebbene negli ambienti museali raramente si presentino condizioni ambientali così severe da determinare presenza di acqua in fase liquida, vale tuttavia la pena ricordare il ruolo fondamentale che essa gioca, anche in fase vapore, perché rappresenta il mezzo attraverso il quale avvengono principalmente le reazioni di trasformazione sia delle sostanze aggressive, sia dei substrati che costituiscono i manufatti. Luoghi deputati alla conservazione, quali ad esempio antiquarium o siti archeologici musealizzati, rappresentano situazioni particolarmente vulnerabili a causa della instabilità delle condizioni termo-igrometriche e delle difficoltà di operare un controllo.

### ***L'Atto di indirizzo e i protocolli di monitoraggio***

Dal 1998 il MiBAC ha promosso la costituzione di una Commissione paritetica Stato-Regioni per l'individuazione di standard minimi per la gestione e cura delle collezioni museali. Il documento che va sotto il nome di "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" (D. Lgs. n.112/98 art. 150 comma 6) rappresenta uno strumento culturale e normativo di grande portata che ha consentito di colmare, o iniziare a colmare, l'oggettivo divario che separa i musei italiani dai musei d'Europa e del resto del mondo. Per ragioni storiche i musei italiani sono rimasti o sono stati installati principalmente in edifici d'epoca, quali regge, palazzi civici e nobiliari, residenze e ville, complessi ecclesiastici, complessi conventuali saldamente inseriti nel "sistema" dei beni culturali, tanto civili quanto religiosi, dei centri maggiori e minori del Paese. Questa specificità italiana ha dato luogo ad una carenza generalizzata di strategie di

conservazione preventiva e di controlli ambientali determinati, oltre che da ragioni culturali, anche da oggettive difficoltà riconducibili alle caratteristiche architettoniche di questi particolari contenitori museali.

Secondo il documento “la gestione delle collezioni museali deve fondarsi su idonee politiche volte a garantire la prevenzione dei rischi di degrado che possono interessare le collezioni stesse”. Il museo deve essere dotato di un idoneo piano di prevenzione nei confronti dei fattori umani, ambientali e strutturali che possono generare rischi per la conservazione dei manufatti. Tale piano deve riguardare tutte le possibili situazioni in cui le opere vengono esposte temporaneamente o permanentemente al pubblico, conservate nei depositi, soggette ad interventi di restauro o movimentate all'interno e all'esterno del museo.

Ai fini della programmazione degli interventi di restauro e della definizione delle modalità di esposizione, immagazzinaggio e movimentazione è opportuno che il museo si doti di una scheda conservativa contenente informazioni specifiche su materiali costitutivi, procedimenti esecutivi e stato di conservazione dei manufatti, periodicamente aggiornata e compilata da restauratori professionisti, specializzati per classi di manufatti; e di una scheda tecnica ambientale contenente informazioni sulle condizioni ambientali rilevate e sulle misure da adottare per il raggiungimento delle condizioni ritenute ottimali per la conservazione.

Data l'importanza dei fattori ambientali ai fini della conservazione dei manufatti, il museo deve procedere al periodico rilevamento delle condizioni termoigrometriche, di luminosità e di qualità dell'aria degli ambienti in cui si trovano i manufatti stessi, dotandosi di strumentazioni di misura fisse o mobili oppure affidando il servizio a terzi responsabili. Il responsabile della conservazione deve inoltre redigere, ricorrendo a competenze professionali specifiche, un rapporto tecnico finalizzato ad evidenziare l'influenza dell'ambiente sullo stato di conservazione dei manufatti e contenente indicazioni circa i provvedimenti necessari al raggiungimento delle condizioni ottimali per la conservazione.

In occasione di mostre, aperture prolungate e altri eventi particolari con elevato afflusso di pubblico, in considerazione delle prevedibili consistenti instabilità delle condizioni ambientali, il museo deve sempre prevedere il rilevamento con apparecchiature di registrazione continua dei parametri ambientali significativi per la conservazione dei manufatti esposti.

Il museo deve programmare gli interventi di manutenzione, conservazione e restauro sulla base degli elementi conoscitivi e delle priorità emerse dalla schedatura conservativa.

In caso di movimentazione dei manufatti, il museo deve adottare imballaggi idonei alla tipologia degli stessi ed atti a soddisfare le esigenze di stabilità dimensionale e resistenza meccanica, di impermeabilità all'acqua, al vapore acqueo e agli inquinanti gassosi, di protezione dalla polvere e di inerzia e coibenza termica.

Gli imballaggi devono essere tali da consentire l'introduzione di sonde per il monitoraggio delle condizioni di trasporto e su di essi devono essere riportate indicazioni e avvertenze chiare circa le modalità di trasporto e di assemblaggio/disassemblaggio del sistema.

Proprio sulla base delle indicazioni contenute nel documento, nella Tabella 1.18 sono sintetizzate le attività svolte dall'Istituto Superiore Centrale di Restauro (ISCR) relativamente all'applicazione di protocolli di monitoraggio finalizzati alla raccolta sistematica di dati ambientali che ha dato luogo ad un archivio storico consultabile e utilizzabile per la messa a punto di strategie di adattamento per una corretta conservazione di collezioni e manufatti musealizzati.

<b>Caso studio</b>	<b>Periodo</b>	<b>Obiettivo</b>	<b>Sviluppo della scheda SA</b>
Roma – Galleria Doria Pamphjli (quattro sale espositive)	1999-2001	Controllo delle attività di manutenzione e strategie di miglioramento per l'apertura di quattro sale al pubblico.	Uso di una specifica scheda per la valutazione dell'ambiente museale e del deposito in accordo con le linee guida prescritte dall' "Atto di indirizzo" . Prima versione della scheda ambientale (SA).
Roma – Palazzo Venezia (deposito temporaneo della collezione di armi)	2002-2003	Valutare l'idoneità del deposito per la conservazione di manufatti metallici.	Implementazione della SA per i depositi Divisione del monitoraggio biologico in ispezione visiva e monitoraggio entomologico.
Pesaro - Musei Civici (sale espositive)	2003-2004	Raccogliere informazioni per pianificare il nuovo allestimento del Museo.	Validazione della scheda SA Museo/Sezione deposito dal confronto con i risultati dei monitoraggi. Evidenziazione di alcune criticità di gestione (riscaldamento, pulizie, aperture delle porte e delle finestre ecc.).
Napoli – Museo Archeologico Nazionale (area depositi)	2003-2006	Migliorare le condizioni ambientali per la conservazione delle pitture murali romane di Ercolano, Pompei e Stabia.	Necessità di migliorare la metodologia di monitoraggio chimico della qualità dell'aria. Validazione del periodo di tempo per il monitoraggio entomologico. Uso di datalogger per il monitoraggio in continua del microclima per supportare il monitoraggio a spot.
Imperia – Museo Civico	2005-2006	Raccogliere informazioni per il riallestimento del Museo e per l'esposizione del presepe del XVIII secolo.	Uso della SA per la valutazione delle caratteristiche delle vetrine.
Roma – Galleria Nazionale d'Arte Moderna	2007-2008	Ridurre i rischi ambientali durante le operazioni di movimentazione periodica degli oggetti dai depositi alle sale e vice versa.	Uso della sezione monitoraggi della SA per controlli speditivi in caso di prestiti, mostre temporanee e controllo degli impianti ecc.
Roma - Scuderie del Quirinale (mostra temporanea su G. Bellini)	2008-2009	Controllo dei rischi ambientali correlati al trasferimento di una grande opera lignea e valutazione della compatibilità tra l'ambiente di provenienza, (Musei Civici di Pesaro) e l'istituzione ospitante.	Test di una nuova metodologia per il monitoraggio chimico della qualità dell'aria. Validazione della SA per I trasporti di opera Aggiornamento della SA presso i Musei Civici di Pesaro redatta nel 2004. Test della versione informatizzata della SA.

Tabella 1.18: Applicazioni e implementazione della Scheda Ambientale (SA) (1999-2009).

## Vulnerabilità del paesaggio, valutazione dei rischi e strategie di base per la prevenzione del rischio naturale

La Convenzione Europea del Paesaggio (CEP), tenutasi nell'ottobre del 2000 a Firenze, definisce il paesaggio come *“una determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni”*. Fra questi appaiono qui di prioritario interesse quelli definiti come *“Paesaggi Culturali”* (PC), con riferimento ad un termine adottato formalmente nel 1995 dall'UNESCO (von Droste et al., 1995; Jones, 2003) per individuare quei territori che *“illustrano l'evoluzione della società e degli insediamenti umani nel corso dei secoli, sotto l'influsso di sollecitazioni e/o di vantaggi originati nel loro ambiente naturale e delle forze sociali, economiche e culturali successive, interne ed esterne”*.

Per quanto concerne la normativa italiana, va evidenziato che il D.Lgs. n. 42 del 2004, recante il Codice dei beni culturali e del paesaggio (cd. Codice Urbani), pur in parte ricalcando la precedente legge 1497/1939<sup>303</sup>, all'art.131 propone un concetto di paesaggio sostanzialmente in linea con la definizione contenuta nella Convenzione europea del Paesaggio, evidenziandone la derivazione dalle relazioni complesse e secolari fra dato naturale ed azione umana: *“per paesaggio si intende il territorio espressivo di identità, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni”*.

---

<sup>303</sup> Le categorie di beni individuate dalla legge del 1939 sono riportate, con alcune integrazioni e rettifiche, all'art.136:

le cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale o di singolarità geologica o memoria storica, ivi compresi gli alberi monumentali;

le ville, i giardini e i parchi, non tutelati dalle disposizioni della Parte seconda del presente codice, che si distinguono per la loro non comune bellezza;

i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, inclusi i centri ed i nuclei storici;

le bellezze panoramiche e così pure quei punti di vista o di belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si goda lo spettacolo di quelle bellezze.

All'art.142 figurano invece le *“aree tutelate per legge”* così come a suo tempo individuate dalla legge 431/1985, c.d. *“Galasso”*.

### ***Vulnerabilità del paesaggio e dei beni paesaggistici vincolati***

La vulnerabilità di un paesaggio deriva sia da fattori legati alla cultura e all'economia di un luogo, sia a fattori legati a rischi naturali, connessi alla realtà fisica del suo ambiente. Fra questi assumono un ruolo rilevante sia le caratteristiche geomorfologiche ed edafiche che lo caratterizzano, sia i fattori climatici del contesto territoriale. Questi, per loro natura, sono soggetti a cambiamenti tanto su scala ciclica che evolutiva, oggi di particolare rilievo per i cambiamenti climatici in atto (Adger, 2003). La rapida urbanizzazione che si sta verificando nelle zone pianeggianti e costiere sia nei Paesi industrializzati che in quelli meno sviluppati, sta rendendo particolarmente critica la situazione delle aree costiere, particolarmente esposte ai rischi di erosione, e talvolta perfino di sommersione, e ai fenomeni di turbolenze tropicali. In parallelo, l'abbandono che si sta realizzando nelle aree montane rappresenta un fattore di minaccia per la conservazione dei paesaggi, anche classificabili come PC, legati al pascolo o all'agricoltura tradizionale. In parallelo, per quanto riguarda i rischi naturali, il surriscaldamento termico sta creando ben noti problemi di trasformazione del paesaggio con lo spostamento in quota dei limiti altitudinali delle fasce di vegetazione; inoltre la vulnerabilità dei paesaggi dell'area mediterranea, per sua natura più calda e arida, è fra le più critiche per i processi di desertificazione in atto (Adger et al., 2009; Vos e Meekes, 1999; Caneva, 2010).

### ***Valutazione dei rischi del paesaggio e dei beni paesaggistici vincolati***

Le differenze di morfologia del paesaggio e di struttura socio-economica tra i diversi PC sono notevoli, ma oltre alla minaccia che deriva dal progressivo degrado delle aree coltivate per effetto del declino della redditività delle produzioni locali, esistono rischi collegati ai fattori ambientali, che possono essere più o meno incidenti. Gli elementi più critici individuati come minaccia sono riassunti nella Figura 1.18 (Caneva, 2010) e che li descrive a livello qualitativo. Una valutazione quantitativa di tali rischi è però un elemento più complesso, in quanto le conoscenze sull'esatta incidenza dei diversi fattori richiede lo sviluppo di tecnologie complesse e presenta elementi differenziali nei diversi contesti.

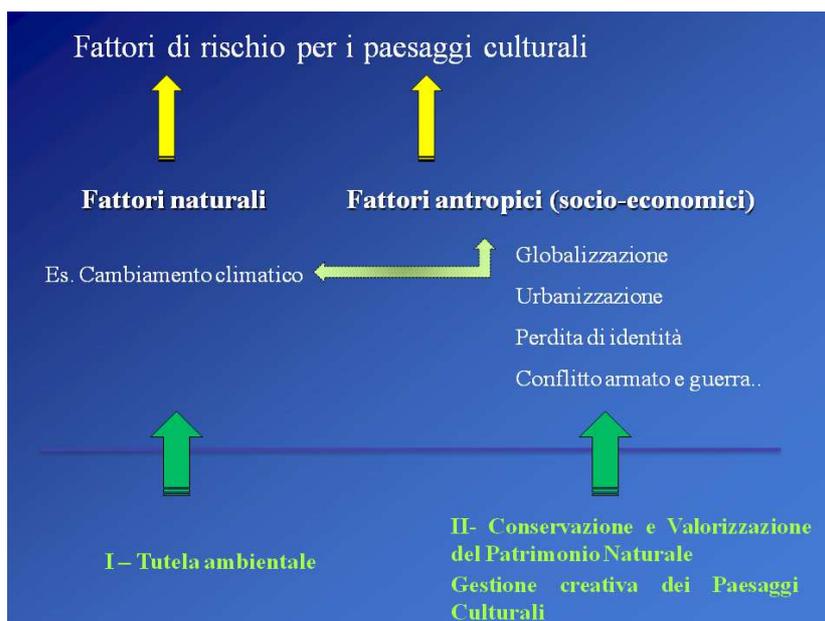


Figura 1.18: Fattori di rischio per i paesaggi culturali (Fonte: Caneva, 2010).

Le intersezioni tra il paesaggio e le tematiche trattate negli altri capitoli sono notevoli ed emerge la forte necessità di coordinare le azioni che possono avere incidenza sui paesaggi.

In particolare, si fa riferimento agli impatti dovuti ai cambiamenti climatici, alla valutazione dei rischi e alle strategie di adattamento riportate nei seguenti capitoli: capitolo "Risorse Idriche", capitolo "Desertificazione, degrado del territorio e siccità", capitolo "Dissesto idrogeologico", capitolo "Biodiversità ed ecosistemi", capitolo "Foreste", capitolo "Agricoltura, pesca e acquacoltura", capitolo "Zone costiere", capitolo "Area alpina e appenninica" e capitolo "Distretto idrografico del fiume Po". Si raccomanda quindi di curare il massimo coordinamento al fine di assicurare le esigenze della tutela del paesaggio, primario bene nazionale costituzionalmente protetto.

## Bibliografia

- Adger, W. N. (2003). Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change. *Economic Geography* Volume 79 (4), 387-404.
- Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., Naess, L. O., Wolf, J., Wreford, A. (2009). Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change* April 2009, Volume 93, Issue 3-4, 335-354. doi 10.1007/s10584-008-9520-z.
- Benavente, D., Brimblecombe, P., Grossi C.M. (2008). In: M.P. Colombini and L. Tassi, *Salt weathering and climate change in Trends in Analytical, Environmental and Cultural Heritage Chemistry*, TSN Trivandrum, 277-286.
- Bonazza, A., Brimblecombe, P., Grossi C.M., Sabbioni C. (2007). Carbon in black crusts from the Tower of London. *Environmental Science and Technology* 41, 4199-4204. doi: 10.1021/es062417w.
- Bonazza, A., Messina, P., Sabbioni, C., Grossi, C.M., Brimblecombe P. (2009a). Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe. *Science of the Total Environment* 407, 2039-2050.
- Bonazza, A., Sabbioni, C., Messina, P., Guaraldi, C., De Nuntiis, P. (2009b). Climate change impact: mapping thermal stress on Carrara marble in Europe. *Science of the Total Environment* 407, 4506-4512.
- Brace, C., Geoghegan, H. (2011). Human geographies of climate change: Landscape, temporality, and lay knowledges. *Progress in Human Geography*. June 2011, Volume 35 (3), 284-302. doi: 10.1177/0309132510376259.
- Brimblecombe, P., 2010a. Heritage climatology. In: R. A. Lefevre and C. Sabbioni (Editors), *Climate Change and Cultural Heritage*. Edipuglia, Bari - Italy, (ISBN 978-88-7228-601-2 ) pp. 49-56.
- Brimblecombe, P., 2010b. Mapping heritage climatologies, in *Effect of Climate Change on Built Heritage* edited by Ton Bunnik, Hilde de Clercq, Rob van Hees, Henk Schellen and Luc Schueremans, WTA-Publications, Pfaffenhofen, (ISBN: 978-3-937066-18-9) 34, pp. 18-30.
- Brimblecombe, P., Grossi C.M., 2009. Millennium-long damage to building materials in London, *Science of the Total Environment*, 407, 1354-1361.
- Brimblecombe, P., Grossi, C.M., 2008. Millennium-long recession of limestone facades in London, *Environmental Geology*, 56, 463-471.
- Brimblecombe, P., Grossi, M.C., Harris, I., 2006. Climate change critical to cultural heritage, *Heritage Weathering and Conservation*, Taylor and Francis, London (ISBN 0415412722) pp. 387-393.
- Brimblecombe, P., Grossi, C.M., 2010. Potential damage to modern building materials from 21st century air pollution, *The Scientific World Journal*, 10, 116-125.
- Caneva, G., (2010). Cultural landscapes and climate change. In: *Climate change and cultural heritage*, edited by R. A. Lefèvre and C. Sabbioni, Bari, Edipuglia, (Scienze e materiali del patrimonio culturale, 10).
- Clarelli, F., Fasano, A., Natalini, R. (2009). Mathematics and monument conservation: free boundary models of marble sulfation. *SIAM J. Appl. Math.* 69(1), 149-168.
- Doehne, E., Price, C.A. (2010). *Stone Conservation: An Overview of Current Research*. In: *Research in Conservation*. Getty Conservation Institute.
- Farina, A. (2000). The Cultural Landscape as a Model for the Integration of Ecology and Economics. *BioScience* 50(4), 313-320.

- Giavarini, C., Santarelli, M. L., Natalizi, R., Freddi, F. (2008). A nonlinear model of sulphation of porous stones: numerical simulations and preliminary laboratory assessments; *Journal of Cultural Heritage* 9 (issue 1), 14-22. doi:10.1016/j.culher.2007.12.001.
- Gómez-Bolea, A., Llop, E., Ariño X., Saiz-Jimenez, C., Bonazza, A., Messina, P., Sabbioni, C. (2012). Mapping the impact of climate change on biomass accumulation on stone, *Journal of Cultural Heritage* 13, 254-258. doi: 10.1016/j.culher.2011.10.003.
- Grossi, C.M., Brimblecombe, P., Harris, I., 2007. Predicting long term freeze-thaw risks on Europe built heritage and archaeological sites in a changing climate. *Science of the Total Environment*, 377, 273-281.
- Grossi, C.M., Brimblecombe, P., Lloyd, H., 2010. The effects of weather on visits to historic properties, *Views*, 47, 69-71.
- Grossi, C.M., Brimblecombe, P., Menéndez, B., Benavente, D., Harris, I., Déqué, M. (2011). Climatology of salt transitions and implications for stone weathering. *Science of the Total Environment* 409, 2577-2585. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.03.029.
- Grossi, M.C., Bonazza, A., Brimblecombe, P., Harris, I., Sabbioni C. (2008). Predicting 21st century recession of architectural limestone in European cities, *Environmental Geology*, 56, 455-461.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). Technical Summary; *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, IPCC Working Group II.
- Jones, M. (2003). The concept of cultural landscape. In: Palang H., Fry G., *Landscapes interfaces: cultural heritage in changing landscapes*, 21-51.
- Lankester, P., Brimblecombe, P. (2010). Predicting future indoor climate at Knole, *Views*, 47, 71-73.
- Lazzarini L, Tabasso M.L. (1986). *Il restauro della pietra*. Padova, CEDAM, 317
- Sabbioni, C., Bonazza, A., Messina, P. (2008). Global climate change and archaeological heritage: prevision, impact an mapping. In: *ARCHAIA Case Studies on Research Planning, Characterisation, Conservation and Management of Archaeological Sites*. (Eds. Marchetti, N., Thuesen, I., Archaeopress), Oxford, 295-300.
- Sabbioni, C., Brimblecombe, P., Cassar, M. (2010). *Atlas of climate change impact on European Cultural Heritage*. Anthem Press. ISBN 9781843317982.
- Storm, J., Cattaneo, A., Weltje, Trincardi, F. (2008). Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to Early Holocene evolution of barrier-lagoon systems on the Northern Adriatic shelf (Italy). *Quaternary Science Reviews*, 27: pp.1107-1123.
- UNESCO World Heritage Convention, <http://whc.unesco.org/en/>.
- Viles, H.A., Camuffo, D., Fitz, S., Fitzner, B., Lindqvist, O., Livingston, R.A., Maravelaki, P. N.V., Sabbioni, C., Warschied, T. (1997). Group Report: What is the state of our knowledge of the mechanisms of deterioration and how good are our estimates of rates of deterioration? In: *Saving Our Architectural Heritage*. N.S. Baer and R. Snethlage, 95-112. Chichester: John Wiley and Sons.
- Von Droste, B., Plachter, H., Rossler, M. (Eds) (1995). *Cultural landscapes of universal value- Components of a Global Strategy*. Jena. Gustav Fisher. UNESCO.
- Vos, W., Meekes, H. (1999). Trends in European cultural landscape development: perspectives for a sustainable future. In: *Landscape and Urban Planning*, Volume 46 Issues 1-3, 3-14.

# Trasporti e infrastrutture

## Sintesi

In Italia, allo stato attuale, non esiste ancora un riferimento univoco, specifico e completo che consenta di valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sui trasporti. Un esempio positivo a proposito di adattamento delle infrastrutture e dei trasporti è dato dal Piano di adattamento di Ancona (ACT, 2013<sup>304</sup>).

I cambiamenti climatici influenzeranno le infrastrutture di trasporto attraverso quattro tipi di fenomeni:

- i. **l'aumento delle temperature**, che comporta da una parte una maggiore vulnerabilità delle infrastrutture stradali (asfalto) e ferroviarie (binari) dovuta alla crescente frequenza di giorni caldi, dall'altra una loro minore vulnerabilità a causa di un calo della frequenza di giorni con basse temperature;
- ii. **la variazione nelle precipitazioni**, che influenza negativamente la stabilità dei terreni e di conseguenza delle infrastrutture stradali e ferroviarie localizzate in contesti instabili e che porta al rischio di allagamento delle infrastrutture sotterranee;
- iii. **la variazione nel livello del mare**, che pone dei rischi per le infrastrutture stradali e ferroviarie localizzate sui litorali e per le infrastrutture portuali;
- iv. **le alluvioni**, che hanno impatti sulle infrastrutture di trasporto che si trovano in prossimità dei corsi d'acqua.

L'adattamento del sistema infrastrutturale e dei trasporti può trovare attuazione attraverso diversi strumenti di pianificazione della mobilità. A livello comunale esistono due possibili dispositivi: il piano urbano della mobilità (PUM) e il piano urbano del traffico (PUT). Ai livelli provinciale, regionale e nazionale svolgono questa funzione i piani di settore.

## Introduzione

Il settore dei trasporti è fondamentale per il funzionamento della società, poiché garantisce lo spostamento di persone, beni e servizi. Come già indicato nei precedenti capitoli, i cambiamenti climatici avranno molti effetti su diversi settori, compreso quello dei trasporti: le infrastrutture subiranno danni e, conseguentemente, la gestione dei sistemi di trasporto e la domanda di movimento saranno influenzate dal clima che cambia.

---

<sup>304</sup> Adapting to climate change in time (ACT) (2013), Piano di adattamento del comune di Ancona, ACT. Disponibile su: <http://www.actlife.eu/medias/260-actpianoadattamentoancona.pdf>.

All'interno di questo capitolo del rapporto tecnico della Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici vengono affrontati diversi temi. Prima di tutto i rischi e gli impatti principali per il settore dei trasporti, che si possono suddividere per tipo di impatto e per ambito interessato. E' quindi approfondita la questione dei criteri di adattamento, in particolare la resilienza e la necessità di una progettazione adeguata delle infrastrutture. Successivamente sono presentate le strategie di adattamento a livello nazionale nel settore, nonché gli strumenti di adattamento: la pianificazione settoriale della mobilità, le valutazioni ambientali, le assicurazioni e la gestione del rischio. Infine sono descritti gli approcci e le diverse opzioni di adattamento e viene affrontata la questione delle basi conoscitive dell'adattamento nel settore dei trasporti.

## **Rischi e impatti**

L'intensificarsi dei cambiamenti climatici porterà a diversi impatti nel settore dei trasporti. Per esempio le infrastrutture saranno soggette ad impatti sulla stabilità dei manufatti stradali, ferroviari o portuali o la tenuta di asfalti stradali e binari ferroviari. Inoltre, i cambiamenti climatici saranno all'origine di impatti più generali sulle dinamiche del settore, per la ripartizione modale in ambito urbano e per il trasporto marittimo.

Per i motivi elencati sopra, il legame tra i cambiamenti climatici e il settore dei trasporti può essere distinto in tre diversi aspetti di sensibilità: i) le infrastrutture; ii) le operazioni di trasporto; e iii) la domanda di trasporto (Mills & Andrey, 2002).

### ***Infrastrutture***

I cambiamenti climatici sono destinati ad aumentare la frequenza e l'intensità di eventi meteorologici estremi, che già oggi provocano danni alle infrastrutture. In particolare (Caserini & Pignatelli, 2010; Mills & Andrey, 2002):

- *L'aumento delle temperature* comporterà da una parte una maggiore vulnerabilità delle infrastrutture stradali (asfalto) e ferroviarie (binari) dovuta alla crescente frequenza di giorni caldi, dall'altra una loro minore vulnerabilità a causa di un calo della frequenza di giorni con basse temperature con formazione di ghiaccio.
- *Le modifiche nel regime delle precipitazioni*, caratterizzate da eventi estremi più frequenti e intensi, influenzeranno negativamente la stabilità dei terreni e di conseguenza delle infrastrutture stradali e ferroviarie localizzate in contesti instabili; un ulteriore rischio è quello di allagamento delle infrastrutture sotterranee.
- *L'aumento del livello del mare* comporterà rischi per le infrastrutture stradali e ferroviarie localizzate sui litorali e per quelle portuali. Dal mare deriva anche l'impatto delle grandi onde generate dalle mareggiate che avvengono durante le tempeste (storm surge).

Oltre ai tre principali effetti dei cambiamenti climatici indicati sopra, potrà aumentare il rischio di alluvioni, frane e incendi, con le relative conseguenze sulle infrastrutture di trasporto stradale e

ferroviario. La tabella sottostante – adattata a partire da quella pubblicata dalla Commissione Europea nel documento della strategia di adattamento relativo alle infrastrutture (EC, 2013a) – indica i rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici suddivisi per tipo di infrastruttura e pressione climatica.

TIPO		PRESSIONI CLIMATICHE	RISCHI	PERIODO DI RIFERIMENTO dell'impatto
<b>Infrastruttura FERROVIARIA</b> (Ferrovie)		Temperature estive	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cedimento dei binari;</li> <li>• fatica dei materiali;</li> <li>• instabilità delle massicciate;</li> <li>• surriscaldamento dei macchinari (p.e. ventilazione del motore, acclimatazione);</li> <li>• aumento di incendi che possono danneggiare l'infrastruttura.</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025; 2080) a fortemente negativo (2080)
		Precipitazioni estreme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Danni all'infrastruttura causati da alluvioni e/o frane;</li> <li>• erosione delle strutture;</li> <li>• destabilizzazione della massicciata.</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025) a fortemente negativo (2080)
		In generale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicurezza ridotta;</li> <li>• aumento dei costi di riparazione e manutenzione;</li> <li>• disservizi nel trasporto di beni e passeggeri (es. ritardi)</li> </ul>	
<b>Infrastruttura STRADALE</b>	Strade (ponti, tunnel, ecc. compresi)	Temperature estive	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioramento e subsidenza del piano stradale</li> <li>• fusione dell'asfalto;</li> <li>• vita ridotta delle superfici di asfalto stradale (p.e. crepe sulla superficie);</li> <li>• aumento di incendi che possono danneggiare l'infrastruttura;</li> <li>• espansione/cedimento dei ponti</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025; 2080) a fortemente negativo (2080)
		Precipitazioni estreme e allagamenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Danno alle infrastrutture (p.e. piano stradale, dilavamento della strada);</li> <li>• strade sommerse;</li> <li>• erosione delle strutture;</li> <li>• allagamento dei sottopassi;</li> <li>• sovraccarico dei sistemi fognari;</li> <li>• rischio di frane</li> <li>• instabilità delle massicciate.</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025) a fortemente negativo (2080)
		In generale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione della velocità;</li> <li>• chiusura delle strade o pericoli per la sicurezza stradale;</li> <li>• disservizi nel trasporto di beni e passeggeri "just in time"</li> <li>• costi economici e sociali;</li> <li>• costi di riparazione e manutenzione più alti.</li> </ul>	
	Strade costiere	Innalzamento del livello del mare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Danni alle infrastrutture causati dagli allagamenti;</li> <li>• erosione costiera;</li> <li>• chiusura delle strade.</li> </ul>	Mediamente negativo (2080)
		Eventi di pioggia		Da mediamente

TIPO		PRESSIONI CLIMATICHE	RISCHI	PERIODO DI RIFERIMENTO dell'impatto
	Sistema fognario	intensa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il sovraccarico del sistema fognario può causare allagamento stradale e inquinamento dell'acqua.</li> </ul>	negativo (2025) a fortemente negativo (2080)
<b>Infrastruttura AEREA</b> (Aeroporti e piste)		Temperature estive	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maggiore necessità di raffreddare il suolo;</li> <li>degradazione delle piste e delle loro fondamenta;</li> <li>la maggiore densità dell'aria alle alte quote causerà una ridotta efficienza della combustione dei motori;</li> <li>calo della portanza e aumento della lunghezza delle piste.</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025; 2080) a fortemente negativo (2080)
		Eventi di pioggia intensa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Danni dovuti all'allagamento delle piste e di altre infrastrutture;</li> <li>il flusso d'acqua eccede la capacità di drenaggio.</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025) a fortemente negativo (2080)
		Innalzamento del livello del mare	<ul style="list-style-type: none"> <li>Allagamento di piste, edifici e strade d'accesso.</li> </ul>	Mediamente negativo (2080)
		In generale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interruzione dei servizi e dell'accesso da terra;</li> <li>chiusure periodiche degli aeroporti</li> <li>costi di manutenzione più alti.</li> </ul>	
<b>Infrastruttura PORTUALE</b>	Navigazione interna	Alto livello del corso d'acqua (p.e. precipitazioni estreme, fusione delle nevi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemi di passaggio sotto i ponti;</li> <li>limiti di velocità a causa dell'instabilità degli argini;</li> <li>limiti all'altezza delle barche.</li> </ul>	Mediamente negativo (2080)
		Basso livello del corso d'acqua (p.e. siccità)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forti limiti alla capacità di carico;</li> <li>problemi di navigazione, riduzione della velocità.</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025) a fortemente negativo (2080)
		In generale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disservizi nel trasporto di beni "just in time";</li> <li>interruzione della navigazione interna</li> <li>costi economici e sociali.</li> </ul>	
	Trasporto marittimo	Innalzamento del livello del mare	<ul style="list-style-type: none"> <li>La navigabilità potrebbe essere influenzata da cambiamento nei tassi di sedimentazione e nella localizzazione delle secche; chiusure più frequenti.</li> </ul>	Mediamente negativo (2080)
		Meno giorni con temperature al di sotto dello zero	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riduzione dei problemi di accumulazione di ghiaccio su barche, ponti, attrezzature e moli;</li> <li>possibilità di nebbia ghiacciata</li> </ul>	Mediamente positivo (2080)
	Porti	Innalzamento del livello del mare	<ul style="list-style-type: none"> <li>Devastazione delle infrastrutture;</li> <li>interruzioni e colli di bottiglia nel flusso di prodotti attraverso i porti</li> </ul>	Mediamente negativo (2080)
		Allagamenti/frane		Da mediamente negativo (2025) a fortemente

TIPO		PRESSIONI CLIMATICHE	RISCHI	PERIODO DI RIFERIMENTO dell'impatto
				negativo (2080)
		In generale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disservizi nel trasporto di beni "just in time";</li> <li>costi economici e sociali;</li> <li>aumento dei costi di riparazione e manutenzione.</li> </ul>	
<b>TRASPORTO URBANO</b> (infrastrutture stradali, piste ciclabili, marciapiedi, infrastruttura ferroviaria, canali, trasporto pubblico e privato)		Innalzamento delle temperature e ondate di calore	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento dell'effetto isola di calore (p.e. fusione dell'asfalto, aumento dei danni all'asfalto a causa di limiti materiali, espansione termica dei giunti dei ponti e delle superfici coperte, e danni alle strutture dei ponti)</li> </ul>	Mediamente negativo (2025)
		Eventi di precipitazione intensa ( <i>flash floods</i> estremi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Danni alle infrastrutture e alle proprietà a causa degli allagamenti</li> </ul>	Da mediamente negativo (2025) a fortemente negativo (2080)
		Innalzamento del livello del mare e allagamento dovuto a mareggiate	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rischio di inondazione delle infrastrutture stradali e di allagamento dei tunnel sotterranei</li> <li>Degrado della superficie stradale e degli strati di base a causa della penetrazione del sale</li> </ul>	Mediamente negativo (2025)
		Tempeste estreme, venti forti	<ul style="list-style-type: none"> <li>Danni, aumento dei costi di manutenzione</li> </ul>	Impatti scarsi o di media intensità

**Tabella 1.19:** Rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici suddivisi per tipo di infrastruttura e pressione climatica  
(Fonte: Adattato da EC (2013a), pp. 32-33).

## Operazioni

La gestione delle operazioni di trasporto ha un ruolo basilare nel funzionamento delle infrastrutture e dei sistemi di spostamento di persone e beni. I cambiamenti climatici porteranno impatti in questo ambito del settore dei trasporti in termini sia di nuovi contesti climatici in cui operare, sia di maggiore frequenza degli eventi estremi da affrontare e gestire.

In particolare (Mills & Andrey, 2002):

- La *sicurezza* è una questione importante per il buon funzionamento dei sistemi di trasporto. I danni alle infrastrutture possono causare direttamente e indirettamente deragliamenti ferroviari e incidenti di varia natura (stradali, aerei e navali) dovuti a eventi meteorologici avversi. Se da una parte le temperature invernali potranno aumentare, con una conseguente riduzione complessiva di eventi meteorologici avversi quali le gelate, dall'altra potrà aumentare la frequenza e l'intensità degli eventi estremi.

- La *mobilità* nel suo complesso subisce disservizi a causa del maltempo, specialmente nei mesi invernali. Le proiezioni disponibili (IPCC, 2013) indicano che in alcune aree l'aumento delle temperature potrebbe portare dei benefici in termini di minori precipitazioni (ad esempio nel Sud Italia), mentre in altre (ad esempio, il Nord Europa) sono attesi aumenti delle precipitazioni. La riduzione attesa nel ghiaccio marino potrebbe portare nuove possibilità di navigazione nel mare Artico.
- L'*efficienza* è una questione aperta perché, se da un lato le temperature in aumento riducono i costi di manutenzione delle strade in inverno, dall'altro li aumentano in estate. Allo stesso modo, l'aumento delle temperature implica un aumento dei consumi energetici per il condizionamento dei mezzi di trasporto e una riduzione degli stessi in inverno per il loro scongelamento.
- Le *esternalità ambientali*, infine, saranno influenzate dal modo in cui avverranno le operazioni di trasporto in futuro. La modifica delle condizioni di dispersione dell'atmosfera (stabilità, altezza dello strato di mescolamento) potrà influire negativamente sulla concentrazione degli agenti inquinanti nell'atmosfera. D'altro canto l'aumento delle temperature, che determina una minore entità delle emissioni legate al riscaldamento invernale, o la riduzione dell'uso di sale e altri agenti chimici in caso di neve e ghiaccio, potrebbe avere effetti positivi sull'ambiente.

## *Domanda*

Per quanto riguarda la domanda di trasporto, le questioni da affrontare sono simili a quelle legate alle operazioni. Di fatto, la domanda di mobilità è governata da diversi fattori, tra cui quelli climatici, o meglio, nel breve periodo, da quelli meteorologici: basti pensare alle differenti scelte modali che alcune persone fanno durante una giornata di tempo sereno rispetto a quelle fatte quando il tempo è perturbato.

Proprio perché la domanda di trasporto è influenzata da eventi che si manifestano nel breve periodo, oltre agli impatti sulle infrastrutture già affrontati sopra, è necessario approfondire gli effetti degli eventi estremi sul settore dei trasporti. In particolare (Taylor & Philp, 2010; Jaroszweski et al., 2010; Koetse & Rietveld, 2009; Böcker et al., 2013):

- Le *precipitazioni intense* (pioggia, grandine, neve) generano uno spostamento modale (per esempio, dal mezzo pubblico alla macchina) con un conseguente aumento della congestione e del traffico. Inoltre causano spesso incidenti stradali a causa della minore visibilità e dell'asfalto bagnato.
- Le *ondate di calore* hanno conseguenze sulla funzionalità e l'efficienza dei mezzi di trasporto, dal punto di vista del riscaldamento del motore e dal ricorso ai sistemi di condizionamento con un conseguente maggior uso di energia. Anche questo tipo di evento genera spostamenti modali significativi.

## **Criteria e norme per l'adattamento: resilienza e *climate proofing***

Nelle condizioni climatiche attuali, i costi di manutenzione delle infrastrutture stradali a livello europeo dipendono dagli eventi meteorologici per il 30%-50% (tra 8 e 13 miliardi di Euro l'anno); il 10% di questi costi (all'incirca 0,9 miliardi l'anno) è associato agli eventi meteorologici estremi (Nemry & Demirel, 2012).

Lo studio sopra citato conclude che, rispetto ad oggi, il degrado delle infrastrutture di trasporto su strada indotto dalla media delle precipitazioni aumenterà solo leggermente in futuro. Tuttavia, la maggiore frequenza delle precipitazioni estreme e delle inondazioni (fluviali e pluviali), prevista in diverse regioni d'Europa, potrebbe tradursi in un costo aggiuntivo tra 50 e 192 milioni di Euro l'anno, nel periodo 2040-2100, secondo lo scenario IPCC A1B. Questi dati rappresentano un valore aggregato per l'intera EU-27; e non sono escluse conseguenze più gravi a livello regionale o locale.

Ad esempio, il Progetto Kyoto Lombardia<sup>305</sup> (Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2006) valuta il danno economico indotto dagli eventi alluvionali sull'insieme delle infrastrutture lombarde nella situazione attuale e nell'ipotesi di un dimezzamento del tempo di ritorno. Il danno economico per le infrastrutture situate in fascia B (piena con tempo di ritorno di 200 anni) passerebbe da 1,5 a 3 milioni di Euro, mentre quello per le infrastrutture in fascia C (tempo di ritorno di 500 anni) aumenterebbe da 2,4 a 4,8 milioni di Euro. L'ipotesi di un dimezzamento del tempo di ritorno non viene associata dallo studio ad uno scenario climatico definito, ma appare in linea con le previsioni di aumento degli eventi intensi di precipitazione contenute, ad esempio, negli scenari di riferimento della SNAC. Tra i diversi aspetti dei cambiamenti climatici attesi in Italia per la fine del XXI secolo, nel capitolo "Variabilità climatica futura" di questo documento, si segnala infatti un aumento della frequenza degli eventi estremi di precipitazione, per gran parte delle regioni e delle stagioni (Coppola e Giorgi, 2009).

A fronte delle previsioni di aumento dei danni indotti dagli eventi meteorologici estremi, è fondamentale che le infrastrutture di trasporto (in particolare quelle di nuova costruzione) presentino un comportamento resiliente. L'importanza del criterio della resilienza per le infrastrutture è legato alla loro elevata vita media: si tratta di strutture costruite per durare nel tempo, ed è per questo che bisogna garantirne la funzionalità nel lungo termine. Diversi studi a livello internazionale sono concordi nel valutare che la vita media delle nuove infrastrutture stradali possa arrivare a 100 anni, e perfino superare questo limite.

Le risposte ai cambiamenti climatici devono essere date, in primo luogo, privilegiando l'ottimizzazione delle reti esistenti rispetto alla realizzazione di nuove e grandi opere e effettuando una valutazione ponderata degli standard di efficienza delle infrastrutture e della loro vulnerabilità ai cambiamenti climatici rispetto alla loro funzionalità (MATTM, 2010); questo consente, tra l'altro, di limitare il consumo di suolo non antropizzato.

---

<sup>305</sup> <http://kyotolombardia.it/>.

La lunga vita media dei sistemi di trasporto (in particolare di quelli stradali e ferroviari) giustifica interventi di adattamento delle infrastrutture esistenti. È auspicabile che le nuove infrastrutture siano costruite secondo criteri climate proof, e cioè possano adattarsi ai cambiamenti futuri. Per climate proofing si intendono infatti le azioni mirate a modificare progetti esistenti per fare in modo che non siano soggette ai rischi dovuti al cambiamento climatico (Klein et al., 2007).

Per questo è importante che le norme e i criteri di costruzione delle infrastrutture di trasporto siano modificati per favorire l'adattamento ai cambiamenti climatici. Semplici esempi sono la previsione di strutture e asfalti più resistenti al deterioramento dovuto alle variazioni di temperature e alle piogge intense, o la costruzione di ponti più alti dove è maggiormente probabile una piena.

Alcune di queste misure potranno avere effetti positivi sulla riduzione delle emissioni di gas-serra, mentre in altri casi potranno esserci effetti negativi. Ad esempio, un intervento di riforestazione eseguito per proteggere una infrastruttura di trasporto dalle valanghe comporterebbe un assorbimento di carbonio dall'atmosfera nella vegetazione, mentre la ri-costruzione di un ponte troppo vulnerabile alle piene presenterebbe elevati costi in termini economici, energetici e di emissioni di anidride carbonica. È necessario che l'analisi costi-benefici di una possibile opzione di adattamento tenga conto anche di queste interazioni, prendendo in considerazione i seguenti tre fattori: i) benefici aggiuntivi dell'opzione di adattamento (in termini di mitigazione, ma anche rispetto ad altri obiettivi); ii) costi aggiuntivi dell'opzione a scapito di altri settori; iii) mutamento degli impatti e della vulnerabilità nell'arco di tutta la vita dell'infrastruttura (ADB, 2011).

## **Riferimenti per la valutazione di impatti e azioni di adattamento settoriali**

A livello europeo, la Commissione Europea ha dedicato all'adattamento delle infrastrutture ai cambiamenti climatici uno specifico documento di lavoro che accompagna la Strategia europea di adattamento.<sup>306</sup> Il testo riguarda le infrastrutture nel senso più ampio, tenendo conto dei trasporti, dell'energia e degli edifici. Gli impatti sono analizzati sia dal punto di vista territoriale, sia da quello settoriale. Il documento si concentra in seguito sulle politiche europee in tema di infrastrutture: in particolare si intende intervenire sull'adattamento della rete europea di trasporto TEN-T<sup>307</sup>, soprattutto per quanto riguarda i progetti futuri, adeguando le nuove linee guida a criteri di resilienza. In quanto ai diversi strumenti di adattamento, la strategia descrive quelli tecnici (standard, valutazioni ambientali, e gestione del flood risk) e finanziari (fondi pubblici europei, fondi privati, assicurazioni).

---

<sup>306</sup> [http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/swd\\_2013\\_137\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/swd_2013_137_en.pdf).

<sup>307</sup> Le reti di trasporto trans-europee (TEN-T, dall'inglese Trans-European Networks - Transport), pongono la loro base giuridica sul Trattato di Amsterdam siglato il 2 ottobre 1997. Tuttavia il loro sviluppo in fase avanzata è dovuto al Trattato di Maastricht. Le reti TEN-T sono parte di un più ampio sistema di "reti trans-europee" (TEN) che, oltre alle reti di trasporto, includono anche le "reti di telecomunicazioni trans-europee" (eTEN) e le "reti energetiche trans-europee" (TEN-E). Oltre alle TEN-T, esistono i corridoi paneuropei che sono vie di collegamento tra le maggiori città e i maggiori porti dell'Europa orientale.

In Italia, allo stato attuale, non esiste ancora un riferimento univoco, specifico e completo che consenta di valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sui trasporti. Un esempio positivo a proposito di adattamento delle infrastrutture e dei trasporti è dato dal Piano di adattamento di Ancona (ACT, 2013), cui si rimanda più sotto nella relativa casella di approfondimento.

Gli unici studi sistematici condotti in occasione e a seguito della Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici 2007<sup>308</sup>, e alcuni esempi di analisi a scala locale, come il Progetto Kyoto Lombardia (Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2006), hanno evidenziato questa criticità dello stato conoscitivo, che si caratterizza sia per la carenza di studi di dettaglio degli scenari di impatto sul territorio, sia per la conseguente difficoltà di analisi di rischio per il sistema infrastrutturale, sia per l'assenza di un sistema che possa raccogliere in maniera organica e sistematizzare le informazioni sulle problematiche, sulle buone pratiche, sulle opzioni disponibili a livello locale e nazionale e sui relativi costi.

Nell'ambito della definizione del Programma Operativo Nazionale Reti e Mobilità (PON 2007-2013)<sup>309</sup>, tra gli obiettivi specifici per la cooperazione territoriale vi era quello di definire strategie di lungo periodo per la mitigazione e la gestione degli effetti dei cambiamenti climatici, coordinando e rafforzando azioni congiunte di monitoraggio, sorveglianza, prevenzione nei contesti più esposti e a rischio (contesti montani, ecc.). Tuttavia nel PON, nonché nella relativa VAS<sup>310</sup>, i cambiamenti climatici sono trattati esclusivamente in termini di prevenzione dei cambiamenti climatici, e non come oggetto di opzioni di adattamento.

#### **Le infrastrutture nel Piano di adattamento di Ancona**

All'interno del Piano di adattamento del comune di Ancona, recentemente pubblicato, è stata sviluppata una sezione riguardante la gestione delle infrastrutture di trasporto della città.

Le aree di analisi che sono state approfondite all'interno del sistema infrastrutturale della città, definite vetrini territoriali/urbani, sono tre:

1. vetrino territoriale d'accesso/connettività SUD;
2. vetrino territoriale d'accesso/connettività NORD;
3. piastra logistico-produttiva portuale.

Gli impatti per le infrastrutture in queste tre aree sono principalmente dovuti all'innalzamento del livello del mare, all'aumento delle precipitazioni (eventi estremi e alluvioni), alla variabilità delle temperature, ai fenomeni franosi.

Per quanto riguarda i primi due vetrini le infrastrutture analizzate sono assi stradali che forniscono accesso alla città e ad altre aree di interesse: a nord il porto e l'aeroporto; a sud la caserma dei vigili del

<sup>308</sup> <http://www.isprambiente.gov.it/it/publicazioni/atti/sintesi-dei-lavori-della-conferenza-nazionale-sui>.

<sup>309</sup> <http://ponreti.mit.gov.it/>

<sup>310</sup> Valutazione Ambientale Strategica del Programma Operativo Nazionale Reti e Mobilità (PON)

fuoco, il cimitero cittadino, istituti scolastici, l'università e aree sportive: in entrambe le aree l'autostrada e i centri limitrofi.

L'area del porto riunisce diversi tipi di infrastrutture: oltre al porto, nel quale sono gestiti passeggeri e merci, sono d'interesse l'area ferroviaria e la viabilità interna.

Nel complesso la vulnerabilità legata alle infrastrutture e agli aspetti locali (popolazione, attività economiche, sviluppo locale) è di valore medio. Per quanto concerne la gestione operativa delle infrastrutture, lo studio ha rilevato una carenza conoscitiva in termini di programmazione, confronto e integrazione dei modi e dei gestori di trasporto. Le infrastrutture stradali di accesso sono strategiche per le loro funzioni di collegamento della città con il porto (NORD) e i centri limitrofi (NORD-SUD). In termini di vulnerabilità, l'asse stradale nord è a rischio idrogeologico, poiché si trova ai piedi di una frana che potrebbe essere attivata con fenomeni di precipitazione, mentre l'asse sud ha una bassa vulnerabilità rispetto alle inondazioni e all'innalzamento delle temperature. Il porto è vulnerabile per quanto riguarda i collegamenti con il resto della città e per quanto riguarda l'impatto finanziario dei cambiamenti climatici sulle attività portuali. Inoltre la gestione operativa del porto è resa particolarmente difficile dal grande numero di attori presenti nell'area portuale e dalla rete infrastrutturale.

Il monitoraggio delle infrastrutture, rispetto al quale va evidenziata una carenza conoscitiva, è fondamentale per la loro gestione. Consiste sia nel controllo dello stato delle strade della città e del porto, sia nella misurazione della frana che interessa in particolare la direttrice nord.

Sono quindi auspicabili un maggiore coinvolgimento e una migliore integrazione tra gli attori che gestiscono le infrastrutture della città. Inoltre, saranno necessari ulteriori approfondimenti per colmare le mancanze conoscitive in tema di cambiamento climatico e infrastrutture di trasporto.

## **Verso l'individuazione di azioni di adattamento**

L'adattamento ai cambiamenti climatici può avvenire in diverse maniere, a seconda degli approcci adottati. I tre principali strumenti esistenti qui descritti sono: i) gli strumenti di pianificazione della mobilità, che regolano il funzionamento del sistema dei trasporti di un dato ambito e possono così agire per contrastare i cambiamenti climatici; ii) le valutazioni ambientali di progetti e di piani, tra i quali criteri possono essere aggiunte norme per garantire l'adattamento; iii) le assicurazioni contro i danni dovuti ai cambiamenti climatici, che possono contribuire a ridurre i potenziali costi di riparazione e a contribuire alla consapevolezza dei rischi.

## **Pianificazione della mobilità**

L'adattamento del sistema infrastrutturale e dei trasporti può trovare attuazione attraverso diversi strumenti di pianificazione della mobilità. A livello comunale esistono due possibili dispositivi: i) il piano urbano della mobilità (PUM) e ii) il piano urbano del traffico (PUT). Ai livelli provinciale, regionale e nazionale svolgono questa funzione i piani di settore.

## **Valutazione**

L'applicazione, obbligatoria per le infrastrutture di trasporto, della valutazione ambientale di progetti (VIA) e piani (VAS), è uno strumento fondamentale per valutarne la resilienza e favorire interventi di adattamento. Le norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale, che già fanno riferimento all'importanza della caratterizzazione delle condizioni climatiche dei siti e agli effetti di possibili perturbazioni meteorologiche, dovrebbero essere integrate per fornire elementi di riferimento ad eventuali opere di adattamento.

## **Assicurazioni**

Uno studio elaborato per conto dell'OECD<sup>311</sup> (Paklina, 2003) sull'assicurazione dal rischio di allagamento sottolinea la scarsa copertura assicurativa per questo tipo di rischio in parte dell'Europa. Più in generale, con l'intensificarsi degli impatti dei cambiamenti climatici, e tenendo conto dell'elevata incertezza relativa alla localizzazione e alla intensità degli eventi, il sistema assicurativo può decidere di non coprire i rischi climatici interamente, o in alternativa di non assicurare infrastrutture particolarmente a rischio per la loro localizzazione.

È necessario quindi pensare al ruolo dello stato nella gestione del rischio, in particolare quello legato alle alluvioni e agli allagamenti, attraverso misure di tutela del territorio, diffusione della consapevolezza dei rischi, possibilità di un'assicurazione obbligatoria, introduzione di meccanismi di compensazione. La costituzione di un panel scientifico che, attraverso l'uso di scenari climatici con un'elevata risoluzione spaziale, elabori una mappatura dei rischi per le infrastrutture può rappresentare uno strumento utile per ridurre il grado di incertezza.

### **Adattamento e Disaster Risk Reduction**

Come già visto nel paragrafo sulla domanda di trasporto, il sistema dei trasporti è influenzato dai cambiamenti climatici in particolare attraverso l'aumento della frequenza e della intensità degli eventi meteorologici estremi. Diversamente dagli altri effetti dei cambiamenti climatici (ad esempio l'innalzamento del livello del mare), che avvengono gradualmente e possono essere in parte previsti, gli eventi estremi sono più difficilmente prevedibili essendo spesso improvvisi, particolarmente intensi e potenzialmente all'origine di eventi catastrofici. La prevenzione e la gestione di questi eventi riveste

---

<sup>311</sup> <http://www.oecd.org/>.

quindi un ruolo molto importante all'interno delle strategie di adattamento.

L'IPCC definisce l'adattamento ai cambiamenti climatici come "una modifica dei sistemi naturali o umani in risposta a stimoli climatici in atto o attesi o ai loro effetti, che riduce i danni o sfrutta le opportunità vantaggiose".

La Disaster Risk Reduction (DRR, riduzione del rischio di disastri) può essere invece definita come "lo sviluppo nel senso più ampio e l'applicazione di politiche, strategie e le pratiche per minimizzare la vulnerabilità e i rischi di disastri in tutta la società, attraverso la prevenzione, l'attenuazione e la preparazione".

E' quindi evidente che l'adattamento ha molti elementi in comune con la DRR, dal momento che l'uno e l'altra cercano di migliorare la resilienza nei confronti dei pericoli. Entrambi si concentrano sulla riduzione della vulnerabilità delle persone nei confronti dei rischi, attraverso il miglioramento dei metodi per anticipare, resistere, affrontare gli impatti e riprendersi dalle loro conseguenze negative (Tearfund, 2008).

Esistono ovviamente alcune differenze tra i due concetti. In particolare, le catastrofi provocate dai cambiamenti climatici rappresentano soltanto una delle tipologie di disastri dei quali si occupa la DRR. L'adattamento, peraltro, non si concentra solo sulla gestione degli eventi a rischio più imminenti, ma prende in esame gli impatti più a lungo termine dei cambiamenti climatici, come la perdita di biodiversità, i cambiamenti nei servizi degli ecosistemi e la diffusione di malattie influenzate dal clima.

Nonostante queste differenze, le strategie di adattamento dovrebbero cercare di utilizzare al meglio l'esperienza acquisita nel corso degli anni dalla comunità che si occupa della gestione del rischio di catastrofi. Dovrebbero essere utilizzate, ad esempio, le linee-guida dello Hyogo Framework for Action 2005-2015 concordato da 168 governi nel 2005 a Kobe, Hyogo, in Giappone<sup>312</sup> per promuovere un approccio globale, basato sulla riduzione del rischio e l'adattamento ai cambiamenti climatici (UNISDR, 2005).

È in questo contesto che uno studio dell'UNISDR, l'ufficio delle Nazioni Unite per la DRR, promuove l'inclusione di politiche assicurative e di disaster risk management (DRM) all'interno delle più ampie azioni nel campo dell'adattamento ai cambiamenti climatici (Warner et al., 2009). Sebbene non sia sempre lo strumento più adatto per la gestione del rischio, l'assicurazione può essere utile per gestire eventi imprevisti e per far crescere la consapevolezza dell'esistenza di dati rischi, attraverso l'assegnazione di un prezzo per la protezione dal verificarsi di un evento.

Possibili esempi sono la crescita della consapevolezza del rischio (risk awareness) attraverso la pubblicazione di dati e documenti esplicativi. Inoltre, come accennato poco sopra è necessario che i premi assicurativi rispecchino il livello di rischio da cui si è protetti. Nel campo normativo può essere utile elaborare regolamenti edilizi che tengano conto dei rischi e degli impatti dei cambiamenti climatici. Un ulteriore esempio è il pagamento diretto da parte degli assicuratori di interventi di riduzione del rischio, come accade per la piantumazione delle mangrovie a protezione delle coste di alcuni paesi del sud-est asiatico. Infine la riduzione del rischio può essere il prerequisito per l'acquisto di

---

<sup>312</sup> <http://www.unisdr.org/we/coordinate/hfa>.

un'assicurazione.

In conclusione, il documento propone alcune politiche di livello nazionale e internazionale per l'inserimento di misure di riduzione del rischio nell'ambito dell'adattamento: sviluppo di piani di riduzione del rischio all'interno dei piani di adattamento; promozione della consapevolezza e di basi informative sui diversi rischi meteorologici; assegnazione di un prezzo ai rischi meteorologici; facilitazione dell'accesso alle assicurazioni e alla riduzione del rischio; finanziamento di misure di riduzione del rischio legate all'adattamento; impegno a ridurre il rischio come prerequisito per la partecipazione a programmi internazionali di assicurazione.

## **Basi conoscitive per lo studio degli impatti, della vulnerabilità e dell'adattamento**

Ad oggi, le conseguenze dei cambiamenti climatici e degli eventi meteorologici per il settore dei trasporti sono state oggetto di un'attenzione molto limitata. Eppure, è ampiamente noto che le prestazioni dei sistemi di trasporto peggiorano in condizioni meteorologiche avverse ed estreme. Ciò è particolarmente vero nelle regioni densamente popolate (come molte zone costiere di tutto il mondo), in cui un singolo evento può portare a una catena di reazioni che influenzano gran parte del sistema di trasporto (Koetse & Rietveld, 2009).

La natura degli impatti che riguardano il settore dei trasporti, e in particolare le infrastrutture, richiede una particolare attenzione nei confronti della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, più che dell'andamento dei valori medi dei principali parametri climatici. Nonostante il miglioramento dei modelli climatici consenta valutazioni più affidabili sui trend degli eventi estremi a livello globale, esistono ancora notevoli incertezze, in particolare per quanto riguarda la distribuzione delle precipitazioni su scala regionale, soprattutto per la scarsa disponibilità di dati misurati (IPCC, 2013).

Risulta quindi prioritario, per garantire una migliore comprensione di questi fenomeni e una descrizione sufficientemente affidabile dei possibili sviluppi futuri, garantire la disponibilità più ampia dei dati provenienti dalle osservazioni meteorologiche. Questi dati dovrebbero essere utilizzati più largamente per mettere a punto valutazioni sulla possibilità dei diversi tipi di fenomeni estremi (ondate di calore, precipitazioni intense) su una scala spaziale dettagliata.

Dal punto di vista modellistico, diversi progetti europei di ricerca tra i più recenti hanno avviato la collaborazione tra i ricercatori dei settori dei trasporti e dei cambiamenti climatici e gli specialisti meteo. Questa cooperazione è fondamentale per i ricercatori di trasporto che si propongono di integrare le incertezze sui cambiamenti climatici nella varietà di modelli di trasporto che sono usati per scopi di pianificazione e gestione, in particolare per le reti urbane e metropolitane (Aparicio et al., 2013). Per far questo, è necessario disporre di ensemble di dati simulati ottenuti attraverso l'uso di diversi modelli.

Un'altra priorità per la ricerca dovrebbe essere rappresentata dalla revisione delle pratiche attuali di manutenzione e di gestione, in particolare per quanto riguarda le infrastrutture di trasporto.

È necessario infine continuare ad approfondire il rapporto tra mitigazione e adattamento per il settore dei trasporti, ben di più di quanto non si sia fatto fino ad ora.

È importante che per ognuna di queste scelte siano attentamente valutati tutti i costi e i benefici ambientali, non solo su scala globale ma anche a livello regionale, in funzione dei diversi scenari di cambiamento climatico previsti per le diverse aree geografiche.

## Bibliografia

ACT - Adapting to climate change in time (2013). Piano di adattamento del comune di Ancona, <http://www.actlife.eu/medias/260-actpianoadattamentoancona.pdf>.

Aparicio A., Leitner M., Mylne K., Palin E., Sobrino N. (2013). Support to transport and environment assessments – Adaptation to Climate Change in the Transport Sector, European Environment Agency – European Topic Centre on Climate Change impacts, vulnerability and Adaptation, ETC/CCA Technical Paper 03/2013, 30 September 2013.

ADB, Asian Development Bank (2011). Guidelines for Climate Proofing Investment in the Transport Sector - Road Infrastructure Projects, Asian Development Bank, Manila, 28-29.

Böcker L., Prillwitz J., Dijst M. (2013). Climate change impacts on mode choices and travelled distances: a comparison of present with 2050 weather conditions for the Randstad Holland, *Journal of Transport Geography*, 28, 176-185.

Caserini S., Pignatelli R. (2010). Cambiamenti climatici e trasporti: il contesto e gli impatti. In: Castellari S., Artale V. (eds) *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, Bononia University Press, Bologna.

CEDEX, Centro de estudios y experimentación de obras públicas (2012). La consideración del cambio climático en la evaluación ambiental de planes y programas – aplicación al caso de planes y programas de infraestructuras de transporte, Centro de estudios y experimentación de obras públicas.

Coppola E., Giorgi F. (2009). An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations, *Int. J. Climatol.*, doi: 10.1002/joc.1867.

DRI, Danish Road Institute. (2010). The blue spot concept. Methods to predict and handle flooding on highways, Report 181, Road Directorate, Danish Road Institute.

EC, European Commission. (2013a). Adapting infrastructure to climate change, European Commission, Brussels.

EC, European Commission. (2013b). Technical information on green infrastructure (GI), European Commission, Brussels.

Fondazione Lombardia per l'Ambiente (2006). Cambiamenti climatici a scala regionale: danno economico generato da eventi alluvionali sul sistema delle infrastrutture lombarde, Progetto Kyoto Lombardia.

HM Government (2011). *Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate*, TSO, London.

IFC, International Finance Corporation. (2011). *Climate Risks and Business. Ports. Terminal Marítimo Muelles el Bosque*. Cartagena, Colombia, International Finance Corporation.

IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2014). Urban Areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jaroszweski D., Chapman L., Petts J. (2010). Assessing the potential impact of climate change on transportation: the need for an interdisciplinary approach, *Journal of Transport Geography*, 18, 331-335.

Klein R. J. T., Eriksen S. E. H., Naess L. O., Hammil A., Tanner T. M., Robledo C., O'Brien K.L. (2007). Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance, *Climatic Change*, 84, 23-44.

Koetse M. J., Rietveld P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings, *Transportation Research Part D*, 14, 205-221.

Mayor of London (2010). The draft climate change adaptation strategy for London - Public Consultation Draft, Greater London Authority, London.

Milano Serravalle (2012). 2007-2011: 5 anni di rapporto ambientale. [http://www.serravalle.it/doc/64testi\\_6RSA\\_2007 -  
\\_2011.pdf](http://www.serravalle.it/doc/64testi_6RSA_2007_-_2011.pdf).

Mills B., Andrey J. (2002). Climate Change and Transportation: Potential Interactions and Impacts. <http://climate.dot.gov/documents/workshop1002/mills.pdf>.

MATTM, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2010). La Strategia Nazionale per la Biodiversità.

[http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/allegati/biodiversita/Strategia\\_Nazionale\\_per\\_la\\_Biodiversita.p  
df](http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/allegati/biodiversita/Strategia_Nazionale_per_la_Biodiversita.pdf)

Nemry F., Demirel H. (2012). Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Paklina N. (2003). Flood Insurance- OECD, <http://www.oecd.org/insurance/insurance/18074763>.

Taylor M. A. P., Philp M. (2010). Adapting to climate change – implications for transport infrastructure, transport systems and travel behaviour, *Road & Transport Research*, 19: 4, 69-82.

Tearfund (2008). Linking climate change adaptation and disaster risk reduction. Tearfund, July 2008 [http://www.preventionweb.net/files/3007\\_CCAandDRRweb.pdf](http://www.preventionweb.net/files/3007_CCAandDRRweb.pdf).

TfL, Transport for London (2011). Safety, health and environment assurance committee - Sustainability and Crossrail, 9 March 2011. <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/Item08-SHEAC-9-March-2011-Sustainability-Crossrail.pdf>.

UNISDR (2005). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction, 18-22 January 2005, Kobe, Hyogo, Japan (A/CONF.206/6), [www.unisdr.org/wcdr](http://www.unisdr.org/wcdr).

Warner K., Ranger N., Surminski S., Arnold M., Linnerooth-Bayer J., Michel-Kerjan E., Kovacs P., Herweijer C. (2009). Adaptation to climate change: linking disaster risk reduction and insurance, UNISDR, Genève.

Wurms S., Schröder M. (2012). Investigations on Adaptation of Hydraulic Engineering Measures to Extreme Low Water Discharges. In: Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development & KLIWAS, Conference Proceedings - KLIWAS - Impacts of Climate Change on Waterways and Navigation in Germany - Second Status Conference, 25 and 26 October 2011, Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development Waterways and Shipping Directorate-General, Bonn.

# Industrie ed infrastrutture pericolose

## Sintesi

Il settore industriale (con l'eccezione di quello energetico e dei settori grandi consumatori di risorse idriche) non è comunemente percepito come un settore economico particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici, essendo anzi prevalente la considerazione delle nuove opportunità che questi potranno offrire ad alcuni *business* (ad es. delle tecnologie ambientali, dei materiali di costruzione e per l'isolamento, ecc.).

Tuttavia i cambiamenti climatici comportano non solo opportunità ma anche rischi. In particolare l'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, con il loro corredo di fulminazioni, alluvioni e frane, potrebbero direttamente produrre effetti sulle infrastrutture e le attività industriali che utilizzano processi e sostanze chimiche pericolosi, nonché sulle operazioni che in essi vengono svolte.

La capacità produttiva di alcuni settori industriali potrebbe infatti essere influenzata negativamente da alcuni fenomeni meteorologici estremi legati ai cambiamenti climatici, mentre la fuoriuscita dagli impianti di sostanze pericolose per la salute umana e l'ambiente potrebbe aumentare i rischi per i lavoratori e la popolazione che vive nelle aree circostanti, per le quali agli effetti immediati dell'evento estremo o dell'alluvione, potrebbero aggiungersi ulteriori effetti indiretti immediati o differiti (effetti sanitari dovuti all'esposizione a sostanze pericolose, interruzione dei servizi di approvvigionamento idrico, distruzione o inagibilità abitazioni ad esito di incendi ed esplosioni, ecc.).

Si concretizzerebbe, in sostanza, quello che viene definito come un **evento NaTech**, acronimo che definisce gli eventi nelle quali un disastro Naturale innesca uno o più disastri Tecnologici.

Sebbene gli eventi NaTech siano stati in passato eventi relativamente rari, c'è sempre maggiore evidenza che esse stiano aumentando; studi dedicati ai cambiamenti climatici (vedi bibliografia) riportano che la frequenza delle alluvioni sta aumentando. Questo incremento comporterà anche un aumento degli eventi NaTech, in parte anche dovuto al fatto che ci sono più strutture e persone esposte; i dati incidentali estratti dalla banca dati MARS della Commissione Europea mostrano che dal 1985 ad oggi nei Paesi UE è accaduto in media un incidente rilevante NaTech all'anno.

Le società moderne sono più vulnerabili, soprattutto nelle aree urbane, a causa dell'elevata densità di popolazione, del maggior numero di industrie e di infrastrutture a rischio: uno dei fattori di aggravamento degli eventi NaTech è che le *facilities* impattate sorgono in aree urbanizzate, o comunque popolate, e pertanto le sostanze pericolose rilasciate hanno messo in pericolo la vita e la salute di un elevato numero di persone.

La potenzialità di un pericolo di trasformarsi in un disastro dipende principalmente da quanto la comunità è esposta ad esso. Azioni e misure di adattamento, se ben implementate, possono

ridurre l'impatto sulla salute e l'ambiente e quello economico di un evento NaTech. A partire dagli anni '90 le politiche per la gestione e riduzione dei rischi di disastri sono evolute verso un approccio integrato basato sul ciclo completo prevenzione-preparazione-risposta-recupero.

Le industrie che stoccano o utilizzano grandi quantità di sostanze pericolose sono già soggette nel nostro Paese a normative che prevedono l'adozione di precauzioni contro le alluvioni e gli altri eventi meteorologici estremi; le norme europee e nazionali prevedono un riesame periodico dei rischi e dell'adeguatezza delle misure di prevenzione. In questo contesto dunque adattamento significa prendere misure tempestive per adattarsi alle probabilità modificate degli eventi e prepararsi a limitare e gestire i potenziali danni risultanti dagli effetti dei cambiamenti climatici.

Anche per questo settore la strategia di adattamento ai cambiamenti climatici si deve basare su un insieme di approcci complementari per la gestione dei maggiori rischi associati all'incremento degli eventi meteorologici estremi.

## **Introduzione**

I cambiamenti climatici probabilmente aumenteranno l'intensità, la frequenza e l'occorrenza geografica di una serie di rischi naturali quali: temperature estreme, aumento del livello del mare, precipitazioni violente, alluvioni, erosione costiera e delle sponde dei fiumi, tempeste, fulminazioni, siccità ed incendi boschivi. Attività industriali già esposte ad eventi idro-meteorologici possono essere le più vulnerabili in caso di aumento delle precipitazioni estreme e di alluvioni riconducibili ai cambiamenti climatici: ad esempio molte delle maggiori infrastrutture petrolifere e per il gas sono localizzate in terre basse e perciò estremamente vulnerabili a mareggiate, alluvioni e uragani/tifoni.

Secondo i dati raccolti da Munich Re<sup>313</sup>, il numero dei disastri naturali nei Paesi UE mostra una tendenza all'aumento a partire dal 1980 (vedi Figura 1.20); mentre però il numero e l'impatto degli eventi meteorologici e collegati al clima sono cresciuti considerevolmente tra il 1980 ed il 2011, il numero degli eventi collegati a pericoli geofisici (terremoti, tsunami, eruzioni vulcaniche) appaiono stabili. Eventi di natura idrogeologica hanno costituito circa il 75% dei disastri naturali occorsi in Europa dal 1980 e contribuito per il 64% ai danni stimati.

Tendenze similari emergono da altre elaborazioni di fonte assicurativa, riferite al mondo ed effettuate per decenni (Figura 2.20).

---

<sup>313</sup> <http://www.munichre.com/geo> online.

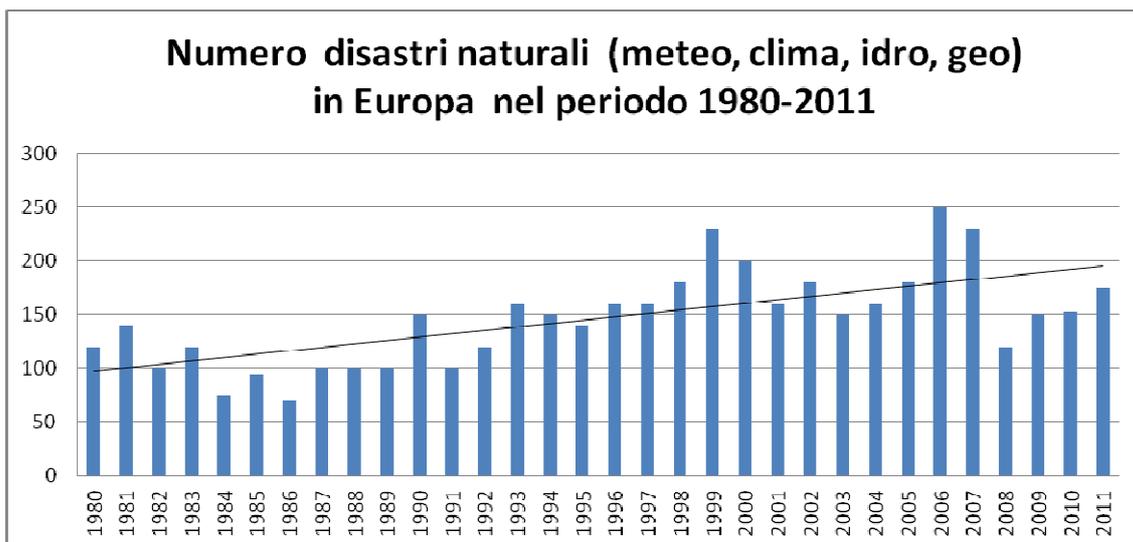


Figura 1.20: Numero di disastri naturali verificatisi in Europa nel periodo 1980-2011 (Fonte: EEA, 2012).

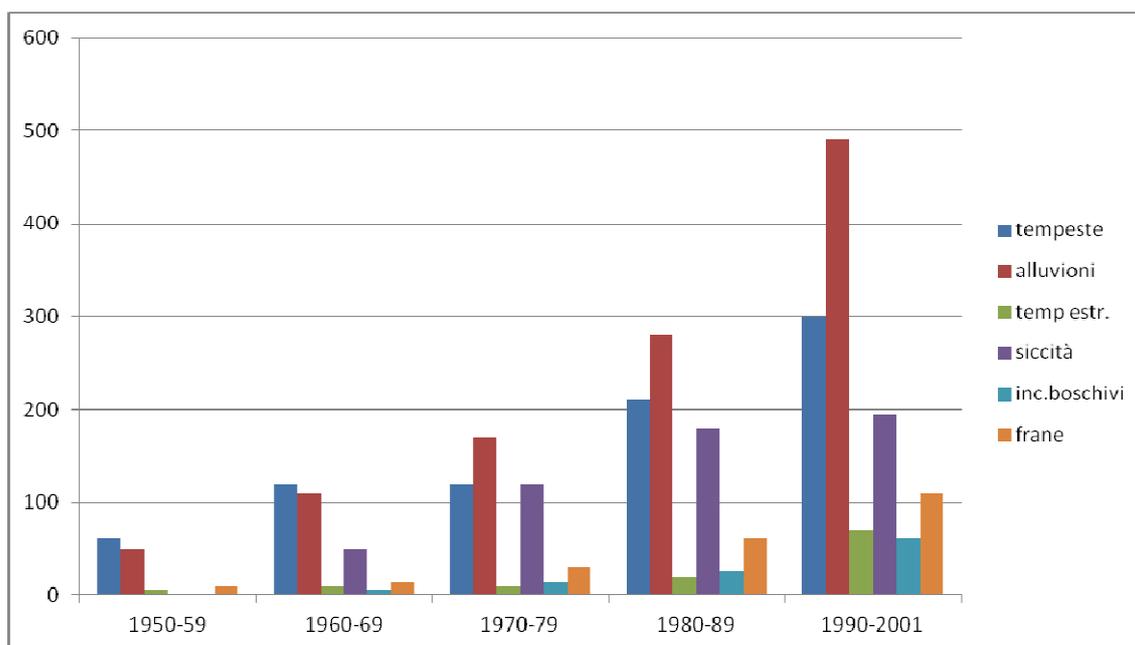


Figura 2.20: Numero di disastri naturali verificatisi nel mondo nella seconda metà del XX secolo (Fonte: Swiss-Re Climate Change Futures. Health, Ecological and Economic Dimensions, (2005) riportata in Sieber (2012)).

Più di due terzi delle perdite economiche riconducibili a disastri naturali nel periodo 1980-2011 sono stati causati da alluvioni ed uragani, poiché questi eventi tendono ad interessare aree estese.

Una domanda importante che è stata posta è se l'incremento osservato delle perdite è attribuibile ai cambiamenti climatici o piuttosto ad altri fattori. Secondo autorevoli esperti il fattore più rilevante è stato l'incremento della popolazione, dei beni esposti e, in ultima analisi, delle attività umane in aree soggette ai rischi, anche se un ruolo dei cambiamenti climatici non è stato escluso.

Secondo alcuni non può essere nemmeno escluso che l'incremento dei danni osservato sia semplicemente l'esito, in una certa misura, del miglioramento dei sistemi di raccolta ed analisi dei dati. Normalizzando, sulla base dei cambiamenti intercorsi nel periodo di osservazione della ricchezza e/o della popolazione, gli andamenti delle perdite economiche ed umane appaiono rimanere stabili nei Paesi OECD.

Sebbene sia attualmente difficile determinare accuratamente la proporzione di perdite attribuibile ai cambiamenti climatici, tuttavia, alla luce degli impatti e dei rischi attuali e previsti in associazione ai cambiamenti climatici, ci si attende un suo incremento, con particolare riguardo per le perdite riconducibili ad alluvioni. I cambiamenti climatici possono influire sullo stato quantitativo e qualitativo delle risorse idriche,

alterando i cicli e i sistemi idrogeologici. Il riscaldamento globale, infatti, avrà l'effetto di intensificare il ciclo idrologico ed incrementare la frequenza di eventi alluvionali in larga parte d'Europa, anche se permangono incertezze sulle stime quantitative di frequenza e magnitudo degli eventi.

Le conseguenze principali relative alle risorse di acqua dolce sono infatti gli spostamenti nei cicli delle precipitazioni e della neve, le modifiche nella disponibilità e nella domanda di acqua, i cambiamenti nella qualità dell'acqua, ivi comprese la temperatura e il contenuto di nutrienti, lo scioglimento accelerato dei ghiacciai e l'aumento della frequenza e dell'intensità delle inondazioni e dei periodi di siccità e, soprattutto, l'insorgenza di "*flash floods*" (piene improvvise). Modificandosi il ciclo stagionale delle precipitazioni, il pericolo di inondazioni potrebbe anche aumentare negli inverni più piovosi e caldi, con un incremento costante di pioggia e una minor frequenza di neve.

Per quanto riguarda l'Europa, cambiamenti in futuro nel pericolo di alluvioni si evidenziano dalle simulazioni effettuate con modelli idrologici alimentati con dati relativi ad un insieme di simulazioni climatiche; un crescente pericolo di alluvioni è previsto da modelli climatici e da scenari di emissione per molti dei maggiori fiumi europei. Dunque si può affermare che è probabile che inondazioni provocate da eventi localizzati di forte intensità ("*flash floods*" e "*pluvial floods*") avverranno con frequenza maggiore in tutta Europa,

Esistono molti differenti tipi di inondazione; esse possono essere distinte sulla base dell'origine (fiumi, laghi, alluvioni costiere o in aree urbane, conseguenti ad allagamenti per piogge torrenziali e combinato traboccamento dei sistemi fognari, allagamenti dovuti a risalita di acque sotterranee), del meccanismo di inondazione (tracimazione naturale, rottura di opere di difesa o infrastrutture) o da altre caratteristiche (inondazioni provocate da eventi localizzati e di forte intensità, da piogge intense, da nevi disciolte, colate detritiche).

Le inondazioni fluviali sono un disastro naturale piuttosto comune in Europa (325 eventi dal 1980 e 200 eventi dal 2000 ad oggi) e, insieme alle tempeste, il più importante pericolo naturale. La causa principale è costituita dalle piogge torrenziali o dallo scioglimento delle nevi; esse possono risultare in enormi danni economici dovuti alla distruzione di infrastrutture, proprietà e terre

agricole. Esse possono inoltre condurre alla perdita di vite umane e ad altri danni indiretti attraverso il danneggiamento di attività ed infrastrutture, che a loro volta possono provocare effetti dannosi alla salute umana, all'ambiente ed al patrimonio culturale.

Gli effetti sulla salute umana si manifestano attraverso annegamenti, infarti, ferimenti, infezioni, conseguenze psicosociali, nonché per danni indotti dalle sostanze chimiche (presenti nei sedimenti o nelle attività industriali) disperse nell'ambiente o dall'interruzione di servizi essenziali.

Informazioni sulla frequenza e l'intensità in Europa di eventi estremi idrologici e le loro modificazioni possono essere ricavate dai data-base disponibili, quali EM-DAT<sup>314</sup> gestito dal Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) e il NatCatService gestito da Munich Re (entrambi focalizzati sull'aspetto impatti) e il database Dartmouth Flood Observatory<sup>315</sup> focalizzato sugli eventi.

Emerge comunque la necessità di un più dettagliato e comprensivo database, che includa anche gli eventi non caratterizzati da danni catastrofici, in modo da separare gli effetti dei cambiamenti climatici da quelli delle modifiche socioeconomiche.

Da segnalare come la Direttiva 2007/60/EC "alluvioni", preveda, come parte della valutazione preliminare del rischio di alluvioni, che ogni Paese UE fornisca una panoramica delle alluvioni accadute in passato; inoltre un database europeo sugli impatti potrebbe mettere insieme tutti i catasti delle alluvioni accessibili al pubblico. Questo strumento potrebbe essere di supporto per determinare le tendenze delle perdite derivanti dalle alluvioni, per il monitoraggio dei programmi di adattamento e per ottenere un quadro più chiaro dei collegamenti tra i cambiamenti climatici e le alluvioni.

L'incertezza delle valutazioni penalizza, come sopra più volte evidenziato, inevitabilmente una chiara quantificazione dell'impatto del cambiamento in atto sul ciclo idrologico, anche perchè le variabilità spaziale (tra le diverse aree geografica, nelle diverse zone climatiche), è senza dubbio elevata.

Questa incertezza si scontra inevitabilmente con la consapevolezza, sempre più diffusa, che il cambiamento sia già in atto. Tuttavia non sembra ancora completamente chiara e condivisa una misura di quanto il clima sia cambiato nei suoi effetti più impattanti dal punto di vista dell'idrologia, e in particolare degli eventi meteorologici estremi.

Una riprova autorevole di quanto sopra evidenziato, si estrae dai contenuti del rapporto *Global Risks 2014* redatto a cura del *World Economic Forum*, una *community* globale di *leader* e decisori politici appartenenti al mondo economico, politico, accademico ed alle organizzazioni internazionali (vedi casella di approfondimento) (WEF, 2014).

---

<sup>314</sup> <http://www.emdat.be> online.

<sup>315</sup> <http://floodobservatory.colorado.edu/> online.

### Rapporto World Economic Forum *Global Risks 2014*: percezione tra i *decision-maker* dei cambiamenti climatici e della loro connessione con gli eventi meteorologici

Una *survey* condotta su oltre 700 esperti *multi-stakeholder* aderenti al WEF, ai quali è stato richiesto di indicare i rischi di maggiore preoccupazione tra 31 rischi globali e sistemici di natura economica, geopolitica, ambientale, sociale e tecnologica, ha evidenziato come i rischi considerati di maggiori impatto probabilità, oltre a quelli economici, sono i rischi ambientali, ed in particolare quelli associati ad una maggiore incidenza degli eventi meteorologici estremi, il fallimento delle misure di mitigazione ed adattamento dei cambiamenti climatici, le crisi idriche: tale percezione appare particolarmente elevata tra gli intervistati più giovani.

Tra i rischi ambientali sottoposti ad indagine sono stati inclusi i disastri naturali (terremoti, tsunami, eruzioni vulcaniche, tempeste geomagnetiche), rischi antropogenici (incidenti industriali e tecnologici), crisi idriche, fallimento delle misure di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici.

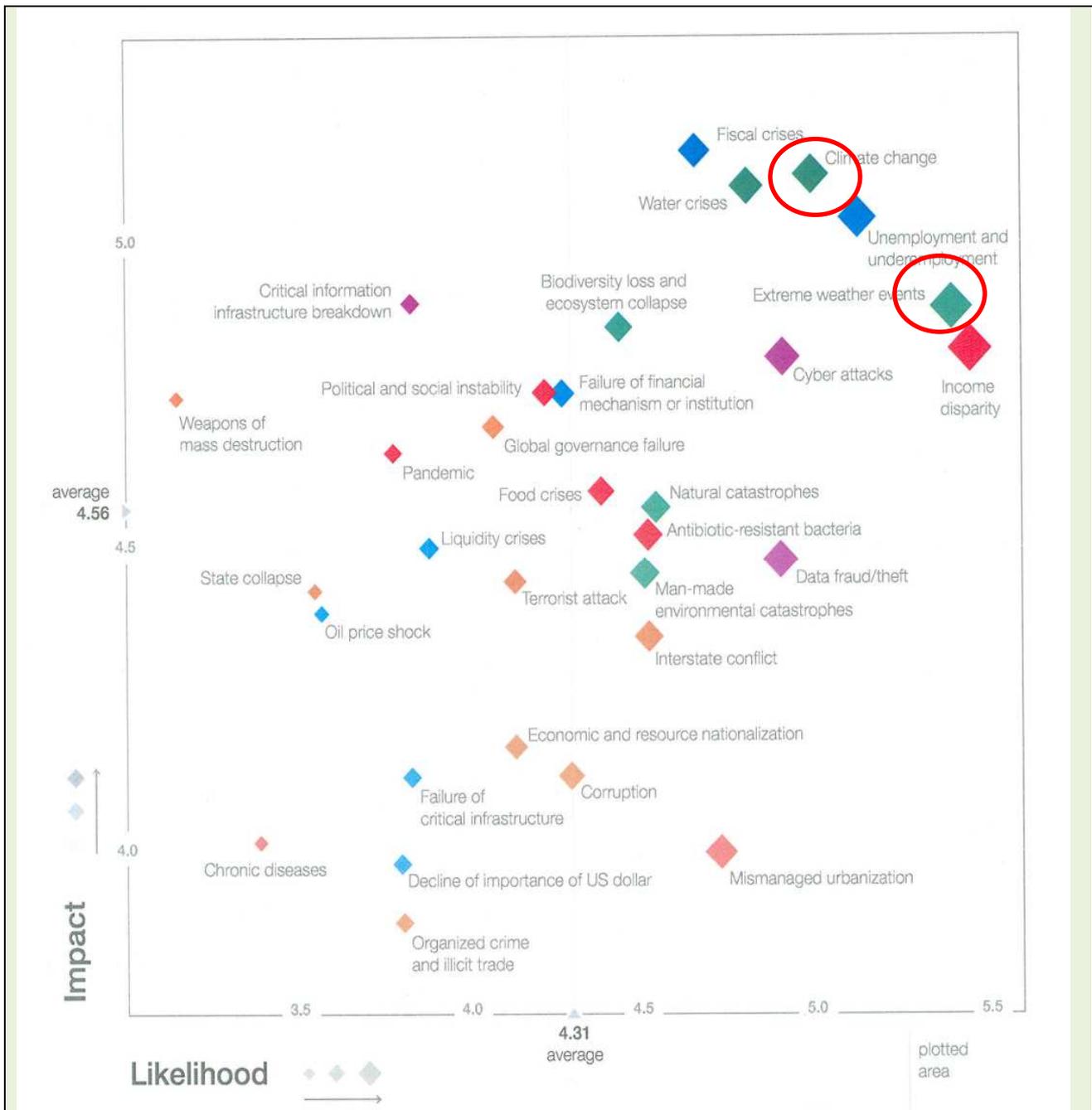
Al fini dell'indagine per *maggiore incidenza di eventi meteorologici (alluvioni, tempeste, incendi)* si è inteso l'aumento dei danni a beni, infrastrutture ed all'ambiente connesso agli sviluppi in aree soggette al pericolo e l'aumento della frequenza degli eventi, mentre per *fallimento delle misure di mitigazione ed adattamento dei cambiamenti climatici* si è inteso che i governanti ed il mondo economico falliscono nel mettere in atto e far rispettare misure efficaci di protezione della popolazione e di aiuto ai settori economici impattati dai cambiamenti climatici per il superamento della transizione.

La Tabella 1.20 mostra i 10 rischi che emergono dall'indagine come i più preoccupanti, mentre la figura 3.20 evidenzia una mappa dei 31 rischi globali secondo la loro probabilità e il loro potenziale impatto, secondo quanto percepito dagli intervistati.

N.	Rischio globale
1	Crisi fiscali nelle principali economie
2	Elevata disoccupazione/sottoccupazione
3	Crisi idriche
4	Grave disparità di reddito
5	Fallimento delle misure di mitigazione ed adattamento dei cambiamenti climatici
6	Maggiore incidenza di eventi meteorologici (ad es. alluvioni, tempeste, incendi)
7	Fallimento della governance globale
8	Crisi alimentari
9	Fallimento di un/a grande meccanismo/istituzione finanziario/a
10	Profonda instabilità politica e sociale

**Tabella 1.20:** I 10 rischi globali più preoccupanti nel 2014 (Fonte: WEF *Global Risks Perception Survey 2013-2014*).

*Nota metodologica:* è stato richiesto agli intervistati di identificare i 5 rischi che li preoccupano di più in un elenco di 31 Rischi globali.



**Figura 3.20:** Impatto e probabilità percepiti per i rischi globali 2014 (Fonte: WEF Global Risks Perception Survey 2013-2014). Nota metodologica: è stato richiesto agli intervistati di stimare la probabilità e l'impatto di ogni rischio in una scala da 1 a 7 assegnando 1 ad ogni rischio che non è probabile che accada o che abbia impatto e 7 ad un rischio che è molto probabile che accada e con impatto massivo e devastante.

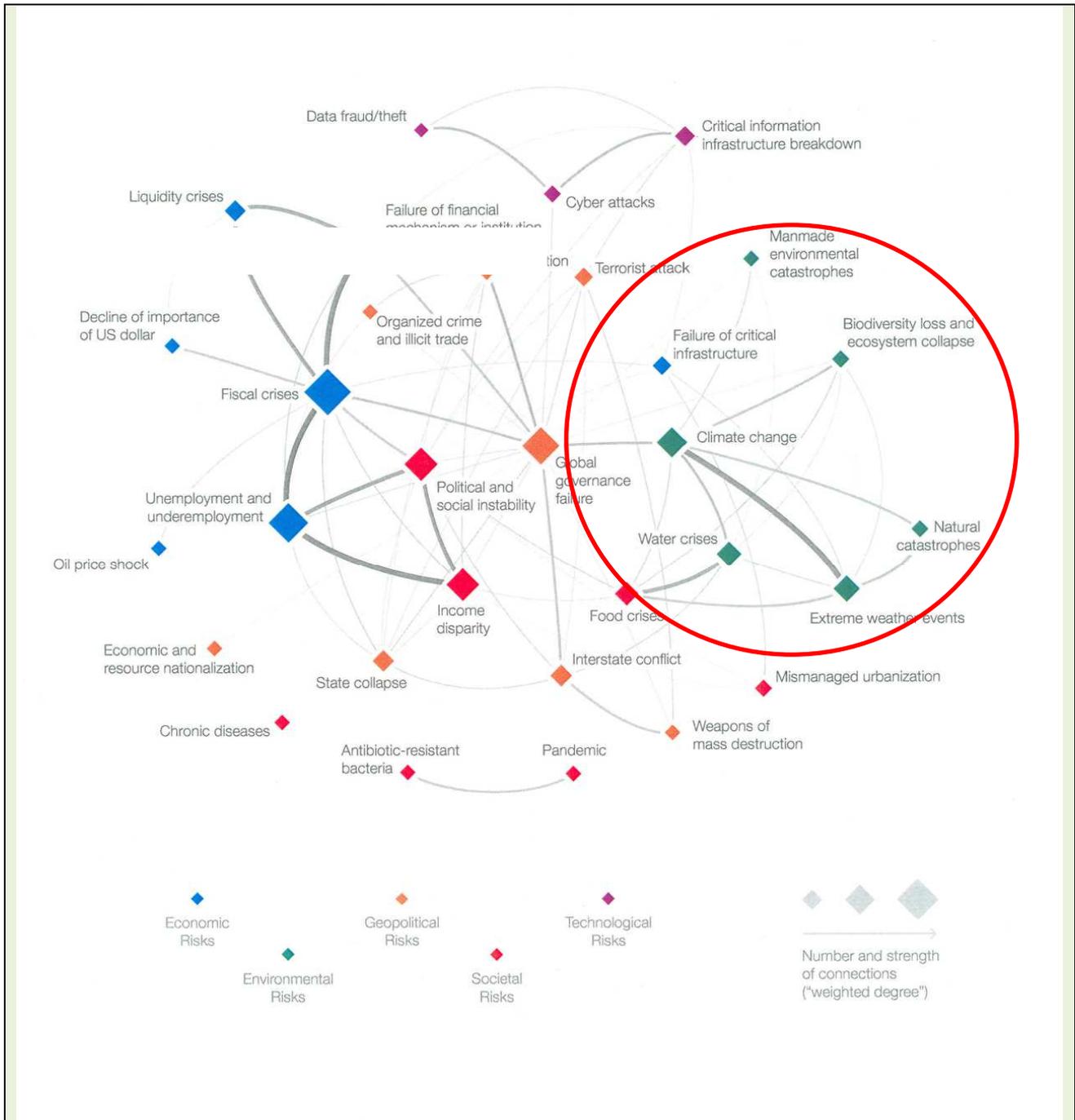
Dalla Tabella e dalla Figura emerge come i rischi ambientali occupino, a giudizio di un campione di *decision-maker*, un posto di primo piano nell'elenco dei rischi 2014, comparando in tre sui dieci rischi considerati al top.

I cambiamenti climatici, al quinto posto, costituiscono il fattore chiave delle incerti e mutevoli condizioni meteorologiche, determinando un aumento della frequenza di eventi estremi, che sono considerati al secondo posto tra i rischi ambientali più probabili.

A tale riguardo, nel Rapporto WEF si suggerisce una necessità impellente di una migliore informazione dell'opinione pubblica sulle potenziali conseguenze delle minacce all'ambiente, considerato che un'azione collettiva avrà bisogno di essere basata su una comprensione comune dei rischi. Il terzo rischio ambientale percepito è costituito dalla crisi idriche, che vanno intese non solo come scarsità di acqua, ma anche come scarsa qualità della risorsa idrica, altro argomento critico ed interconnesso agli eventi meteorologici estremi ed alle loro conseguenze (alluvioni). Il Rapporto WEF evidenzia, a tale riguardo, come incidenti industriali, che hanno provocato estesi inquinamenti delle acque, abbiano recentemente paralizzato l'economia in vaste aree della Cina ed altrove, interrompendo catene economiche importanti e danneggiando la reputazione delle aziende coinvolte; uno degli effetti delle alluvioni è di mettere a rischio gli approvvigionamenti idrici a causa della possibile dispersione nelle acque di sostanze pericolose per la salute (rilasciate dai sedimenti o da installazioni danneggiate).

Un'ulteriore osservazione, tratta dal Rapporto WEF, riguarda le modifiche nel tempo della percezione dei rischi più preoccupanti; si rileva che i tre rischi ambientali, oggi giudicati più importanti, sono stati inclusi nei *top-five* solo a partire dal 2011, da cui sono invece usciti i rischi connessi alla salute (pandemie e malattie croniche).

L'indagine ha inoltre riguardato l'analisi delle interdipendenze tra i rischi, integrando i tradizionali strumenti del *risk management* con concetti innovativi ideati per gli ambiti affetti da incertezze; è stata pertanto individuata una mappa delle interconnessioni percepite, riportata in figura 4.20. Ciò consente di fornire una rappresentazione olistica della complessità e del quadro di riferimento necessari per comprendere il potenziale impatto dei rischi globali.



**Figura 4.20:** *Mapa delle interconnessioni dei rischi globali 2014 (Fonte: WEF Global Risks Perception Survey 2013-2014). Nota metodologica: è stato richiesto agli intervistati di identificare tra tre e sei coppie di rischi globali ritenuti come i più interconnessi.*

Tutti i rischi ambientali, come le crisi idriche, gli eventi meteorologici estremi, le catastrofi naturali, le catastrofi ambientali provocate dall'uomo ed i cambiamenti climatici emergono come un importante *cluster* nella mappa delle interconnessioni; ma se tutti i rischi ambientali sono per i *decision-maker* intervistati connessi, tuttavia i cambiamenti climatici risultano percepiti come di centrale rilevanza, come ben emerge dalla figura precedente.

Il rischio di cambiamenti climatici mostra i legami più forti (indicati nella figura dallo spessore delle linee di connessione: tanto più la coppia è citata nelle risposte, tanto più la linea è spessa) e può dunque essere visto come un fattore di rischio economico in sé e come moltiplicatore di altri rischi ambientali, tra i quali la

relazione più forte è proprio quella con gli eventi meteo estremi.

Ciò appare coerente con la posizione assunta dall'IPCC nella 5° Valutazione 2013 che afferma che il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile e che ognuna delle tre ultime decadi è stata via via più calda di ogni precedente decade a partire dal 1850: l'aumento della frequenza degli eventi meteo estremi è consistente con le più recenti modellazioni IPCC ed i danni alle attività economiche, quali infrastrutture urbane ed industriali, agricoltura ed altre catene chiave di rifornimento globali stanno diventando più evidenti, come pure la fragilità dei sistemi logistici e di mobilità globali.

Conseguentemente diviene un tema chiave la resilienza, in modo da contrastare il crescente senso di rischio economico, politico e sociale posto dai cambiamenti climatici, ben rappresentato dal posizionamento del rischio di fallimento della *governance* globale nel cuore della mappa di rischio.

Da questo punto di vista, secondo i curatori del Rapporto WEF, una risposta coordinata pubblico/privato al rischio di cambiamenti climatici potrebbe offrire maggiori resilienza e flessibilità.

Per l'Italia i più recenti contributi scientifici, citati nei rapporti riportanti la mappa dei pericoli di alluvioni, redatti dalle Autorità di bacino, in ottemperanza al D.lgs.49/2010 (Direttiva alluvioni), hanno evidenziato una generale diminuzione delle precipitazioni annue totali, una diminuzione significativa del numero di giorni piovosi, ed un prevalente incremento dell'intensità delle precipitazioni, tendenzialmente in modo più accentuato al nord e al centro Italia.

L'impressione - da confermare con ulteriori analisi - e quindi che, anche per il nostro Paese, si vada verso un'estensione generalizzata delle aree con propensione ai fenomeni meteorologici estremi e, con riguardo al rischio di alluvioni, ad eventi di tipo "*flash flood*", con conseguenze da tenere in seria considerazione per la corretta valutazione della mappatura del rischio idraulico.

## Impatti

Gli impatti più significativi sulle attività pericolose che si attendono saranno determinati:

- dalle modifiche nel regime delle precipitazioni che, caratterizzato da eventi estremi più frequenti e intensi, influenzerà negativamente la stabilità dei terreni e di conseguenza delle infrastrutture e delle componenti delle attività industriali (serbatoi, apparecchiature di processo, tubazioni, ecc.) localizzate in contesti instabili, o comunque vulnerabili, e comporterà maggiori rischi di allagamenti e frane;
- dall'aumento del livello del mare, che comporterà rischi per le infrastrutture e le attività industriali localizzate sui litorali, anche a causa di fenomeni più frequenti o permanenti di inondazioni e di erosione costiera;
- dell'aumento delle frequenza di fulminazioni e di incendi boschivi nelle aree circostanti infrastrutture ed attività industriali pericolose, che causerà un maggiore rischio di incendi.

Un ulteriore aspetto da prendere in considerazione riguarda la capacità di resilienza (associata ai rispettivi criteri di progetto) delle costruzioni e delle strutture, presenti negli impianti industriali

pericolosi, ai forti venti ed alle tempeste (ivi compresi i detriti prodotti da questi eventi meteorologici estremi).

Ad esempio, a causa di un'inondazione, potrebbero svilupparsi i seguenti scenari incidentali:

- dispersione e trasporto in aria (nube tossica), acqua e suolo di sostanze pericolose tossiche e ecotossiche, che in alcuni casi possono essere estremamente dannose anche per rilasci di limitate quantità;
- reazioni violente a causa del contatto tra acqua e composti chimici che possono generare gas tossici;
- incendi ed esplosioni, con possibilità di coinvolgimento di altre apparecchiature e serbatoi di contenenti sostanze pericolose (effetto domino).

Eventi meteorologici estremi, riconducibili ai cambiamenti climatici, con il loro corredo di alluvioni, frane e fulminazioni appaiono in aumento (vedi Figura 1.20 che riporta il numero degli eventi naturali meteorologici, climatologici, idrologici, geofisici occorsi in Europa nel periodo 1980-2011).

Tali eventi naturali provocano nel mondo ed in Europa danni ad infrastrutture ed attività industriali pericolose con crescenti frequenze e conseguenze per i lavoratori, per la popolazione che vive nelle aree circostanti e per l'ambiente; si parla in questi casi eventi NaTech, acronimo che definisce gli eventi nelle quali un disastro Naturale innesca uno o più disastri Tec(h)nologici.

Nel Rapporto IPPC 2012, dedicato alla gestione dei rischi di eventi estremi per promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici, si evidenziano i pericoli aggiuntivi connessi alle forte precipitazioni, in particolare per le attività industriali e per quelle minerarie che detengono sostanze pericolose (ad es. forti precipitazioni sono state la causa principale del cedimento di bacini e dighe di contenimento degli sterili per il 25% per gli eventi occorsi nel mondo e per il 35% di quelli occorsi in Europa).

In letteratura sono riportati dettagli su molti eventi NaTech (vedi casella di approfondimento).

**Rapporto EU JRC-UN ISDR *State of the Art in NaTech Risk Management* (EUR 21292 EN – 2004)**

Il Rapporto evidenzia come, sebbene il numero degli eventi Natech sia relativamente raro, tuttavia c'è una evidenza di aumento del loro numero.

Negli USA una ricognizione condotta presso le agenzie statali per la gestione delle emergenze hanno evidenziato una tendenza all'aumento degli eventi NaTech nel periodo 1980-1989: sebbene la maggioranza (75%) degli eventi sono stati associati ad eventi sismica, oltre il 25% dei casi ha riguardato uragani (26 eventi), alluvioni (16), fulminazioni (15), eventi (13) e tempeste (7).

Sempre nel medesimo Rapporto vengono riportati i dati estratti dalla banca dati Major Accidents

Reporting Systems (MARS) del Major Accident Hazards Bureau (MAHB) presso l'EU JRC che evidenziano dal 1985 ad oggi in Europa una media di un evento NaTech all'anno evoluto in incidente rilevante .

Ecco di seguito riportati alcuni eventi NaTech significativi occorsi in Europa e negli USA.

**1998 – USA.** A causa dell'uragano George, in una raffineria si verificarono rilasci da un serbatoio di idrocarburi per l'affondamento del tetto galleggiante.

**1999 – USA.** A causa dell'uragano Floyd, fusti di sostanze pericolose finirono nel fiume Raritan.

**1999 - Francia.** Mancanza di energia elettrica durante un'inondazione mise in pericolo il sistema di raffreddamento di uno stoccaggio criogenico di ammoniaca.

**2000 - Romania.** Nella notte tra il 30 ed il 31 gennaio forti precipitazioni ed un improvviso inusuale aumento della temperatura provocarono presso Baia Mare lo scioglimento di uno strato di 43 cm di neve che copriva un bacino di decantazione contenente residui estrattivi contaminati con cianuro; l'aumento di livello nel bacino provocò una breccia di circa 25 m nell'argine del bacino, con fuoriuscita di 100.000 m<sup>3</sup> di acque contaminate che si sversarono nel fiume Lapus e quindi nei fiumi Somes, Tisza e Danubio, attraversando il confine con l'Ungheria e poi con la Serbia.

Furono messe in atto le seguenti le seguenti misure:

- bloccate le attività dell'impianto di estrazione che gestiva il bacino;
- la breccia fu chiusa;
- l'acqua che continuava ad essere scaricata dal bacino fu neutralizzata con ipoclorito di sodio;
- il livello di contaminazione dei corsi d'acqua fu monitorato per determinare la concentrazione di cianuro.

Fu misurata una concentrazione massima di cianuri nelle acque di 32.6 mg/l (in Romania la massima concentrazione permessa nelle acque superficiali è di 0.01 mg/l).

Furono vietati l'uso delle acque dei corsi d'acqua interessati per gli usi domestici e per l'allevamento e il consumo di pesce pescato dalle acque contaminate. Il cessato allarme venne dato il 2 marzo 2000.

**2001- Portogallo.** Lungo il corso del fiume Mondego, si verificò un evento NaTech che minacciò la popolazione delle aree circostanti.

Piogge forti e prolungate determinarono l'inondazione del bacino del Mondego e nonostante gli interventi di emergenza per prevenire effetti disastrosi, la corrente erose lo stato di terreno dove era collocata una condotta di gas, che rimase esposta, con pericolo di rottura; nelle vicinanze era localizzata un'autostrada, la città di Coimbra ed altri villaggi.

Negli anni '60 un complesso sistema di argini, dighe e canali era stata costruito per proteggere il territorio dalle inondazioni; la falsa sensazione di sicurezza indusse la popolazione a costruire nuove case e strade nelle aree potenzialmente interessate dalle piene, aumentando il rischio per la popolazione.

Inizialmente le difese furono in grado di contenere il fiume ma, la sera del 26 gennaio 2001, dopo due giorni di pioggia, gli argini iniziarono a crollare ed in 5 giorni furono inondate diverse cittadine e aree agricole, mettendo a rischio la condotta di gas. Furono evacuate più di un centinaio di persone. La protezione civile, in cooperazione con le autorità per la gestione delle acque ed i proprietari della condotta

mise in atto misure per evitare un disastro: messa in opera di un basamento in calcestruzzo per evitare il galleggiamento della condotta. Prendendo in considerazione della possibilità di un rilascio di gas, furono evacuati i residenti delle aree vicine e bloccato il traffico autostradale.

**2002 - Francia.** Un'inondazione provocò danni a stabilimenti industriali e rilascio di sostanze pericolose; in particolare furono colpite diversi stoccaggi di idrocarburi con danneggiamento di apparecchiature elettriche come pompe e motori. Furono danneggiati anche i rivelatori di gas e altri sistemi di monitoraggio, i sistemi idrici antincendio e si verificarono rilasci di idrocarburi, acido cloridrico e acido solforico.

**2002 - Repubblica Ceca.** 400 kg di cloro a seguito di un'inondazione furono rilasciati da un'industria chimica situata lungo il fiume Labe, nei pressi di Neratovica, a nord di Praga. Le Autorità dichiararono lo stato di emergenza nell'area circostante lo stabilimento, allertando la popolazione di rimanere in casa, con finestre e porte chiuse.

**2010 - Francia.** Durante un temporale in uno stabilimento petrolchimico a rischio di incidente rilevante che comprendeva due unità di produzione di polistirene si verificò, a causa dell'interruzione dell'alimentazione elettrica, una reazione fuggitiva con scarico di stirene all'atmosfera. La mancanza prolungata di energia infatti mise fuori uso i sistemi di raffreddamento e di agitazione dei reattori, provocando una reazione fuggitiva in una delle linee produttive, che causò, per l'aumento di pressione, l'apertura del disco di rottura con rilascio in aria di 10 t di polistirene e di 3 t di stirene. Non si ebbero fortunatamente altre conseguenze.

**2011 - Francia.** Incendio di un serbatoio di acque di processo in una unità di raffineria a causa di una fulminazione. Durante un temporale un fulmine colpì la raffineria in due punti: una torcia ed un serbatoio. Il serbatoio a tetto fisso di 2000 m<sup>3</sup> era destinato al recupero di acque di processo provenienti dall'unità di distillazione atmosferica (topping), con contenuti variabili di idrocarburi. In seguito alla fulminazione il serbatoio prese fuoco e si squarciò lungo la saldatura più debole ed il tetto fu spostato e rimase penzolini sul mantello. Fu attivato il piano di emergenza interno e si procedette alla messa in sicurezza delle unità adiacenti. Il serbatoio non era dotato di bacino di contenimento e tracce di schiuma attraverso la rete di drenaggio delle acque meteoriche raggiunse il Canale Reno. Il serbatoio fu isolato tramite l'installazione di un by-pass connesso ad altri serbatoi, messo in sicurezza e quindi drenato e smantellato.

In Italia negli ultimi 20 anni si sono verificati almeno 20 eventi NaTech che hanno interessato raffinerie, industrie chimiche e petrolchimiche e gasdotti (vedi Tabella 2.20).

Poiché la frequenza e l'intensità di questi fenomeni è, come in precedenza evidenziato, probabilmente destinata ad aumentare a causa dei cambiamenti climatici, ne consegue che gli impatti sulle infrastrutture (ad es. gasdotti, oleodotti, condotte trasportanti sostanze infiammabili o tossiche) ed attività industriali pericolose (ad es. stabilimenti a rischio di incidente rilevante e altre attività produttive che utilizzano sostanze chimiche pericolose) saranno sempre più significativi.

Data	Luogo	Tipo di attività	Tipo di evento naturale	Tipo di rilascio	Sostanza pericolosa	Quantità rilasciata (kg)	Breve descrizione
03/02/14	ROMA	RAFFINERIA	FORTI PIOGGE	RILASCIO	IDROCARBURI		FORTI PIOGGE PROVOCARONO TRACIMAZIONE VASCA IMPIANTO DEPURAZIONE E DISPERSIONE IDROCARBURI ALL'ESTERNO
18/11/13	Olbia	bitume	alluvione	rilascio	gasolio, combustibile	olio 12 000	alluvione trascino' cisterne di olio combustibile e gasolio lungo il fiume
22/10/13	Carasco (GE)	CONDOTTA	piogge	esplosione, rilascio	metano		causa piogge crollo' ponte cui segui' esplosione condutture gas
08/07/13	Taranto	raffineria	fulmine	rilascio	gasolio		black out da fulmine causò sovrappressione tubazioni con rilascio di prodotto in mare
29/11/10	Mantova	raffineria	piogge	rilascio	acido solfidrico, bitume		cedimento giunti tetto serbatoio bitume, contatto bitume-acqua piovana causò' vapore acqueo-aromatici CON SCoperchiam. tetto
00/00/09	Emilia romagna	cianuri, galvanica	alluvione	quasi incidente	cianuri		rottura argine fiume provocò allagamento deposito cianuri IN azienda galvanica
13/09/08	Mantova	raffineria	piogge	rilascio			trabocciamento vasca di contenimento materiali inquinanti
26/09/07	MARGHERA (VE)	POLIMERI	FORTI PIOGGE	quasi incidente	VIRGIN NAPHTA		SBILANCIAMENTO TETTO GALLEGGIANTE
11/07/06	Gela (CS)	raffineria	nubifragio, fulmine	incendio	anidride solforica		Black out con blocco a catena dei principali impianti; incendio nel pontile
12/10/02	BRINDISI	PETROLCHIMICO	FORTI PIOGGE	RILASCIO LIQUIDO	OLIO COMBUSTIBILE	1 500	TRACIMAZIONE BACINO CONTENENTE ACQUE DI PIOGGIA CON IDROCARBURI
22/09/02	COGOLETO (GE)	IND. CHIMICA	ALLUVIONE	RILASCIO SOLIDI	SALI DI CROMO		ALLAGAMENTO MAGAZZINO
24/07/02	MARGHERA (VE)	POLIMERI	FULMINAZIONE	INCENDIO	ETILBENZENE		FULMINE CAUSO' INNESCO VAPORI
25/01/01	ROMA	CONDOTTA	FRANA	QUASI INCIDENTE NESSUN RILASCIO	METANO		FRANA INTERESSEO' CONDOTTA
14/07/98	GENOVA	CONDOTTA	PIOGGE	RILASCIO GAS	METANO		ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE
20/06/96	CUNEO	DEPOSITO	TEMPESTA	RILASCIO LIQUIDO	BENZINA		ROTTURA CATASTROFICA DI SERBATOIO
23/01/96	NAPOLI	CONDOTTA	FRANA	RILASCIO GAS	METANO		ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE
01/11/95	GENOVA	CONDOTTA	FRANA	RILASCIO LIQUIDO	OLIO COMBUSTIBILE	190 000	CORROSIONE
13/09/95	VENEZIA	CENTRALE ELETTRICA	FULMINAZIONE	QUASI INCIDENTE			INTERRUZIONE ENERGIA ELETTRICA
06/11/94	CUNEO	INDUSTRIA FARMACEUTICA	ALLUVIONE	RILASCIO DI SOLIDI	TOSSICO		STRARIPAMENTO FIUME CAUSO' ALLAGAMENTO MAGAZZINO
14/09/94	TORINO	CONDOTTA	FULMINAZIONE	RILASCIO GAS, INCENDIO	METANO		CONDOTTA INTERRATA
08/10/13	LIVORNO	INDUSTRIA CHIMICA	ALLUVIONE	RILASCIO DI GAS LIQUEFATTO	CLORO		STABILIMENTO ALLAGATO
16/11/92	GENOVA	TUBAZIONE	FRANA	RILASCIO LIQUIDO	OLIO COMBUSTIBILE	30 000	ROTTURA TUBAZIONE
09/06/92	L'AQUILA	DEPOSITO	ALLUVIONE	RILASCIO DI GAS LIQUEFATTO	GPL	40 000	ALLAGAMENTO DEPOSITO
14/07/91	VERONA	INDUSTRIA RESINE VERNICI	FULMINAZIONE	INCENDIO	RESINE		INCENDIO INNESCATO DA FULMINE
25/01/91	AREZZO	CONDOTTA	FRANA	RILASCIO GAS	METANO		ROTTURA CONDOTTA

**Tabella 2.20:** *Eventi NaTech accaduti in Italia nel periodo 1991-2013 (Fonte: Banca dati incidenti industriali ISPRA). Nota metodologica: gli incidenti e quasi-incidenti sono estratti dalla banca dati BIRD di ISPRA, che raccoglie gli incidenti industriali accaduti in Italia e coinvolgenti sostanze pericolose.*

Sulla base di quanto reperito nella letteratura internazionale è possibile identificare i fattori di impatto più rilevanti per alcune diffuse tipologie di impianti, componenti e sistemi presenti in attività ed infrastrutture pericolose, riportati in Tabella 3.20.

Tipologia	Impatti climatici più dannosi
Centrali termoelettriche a gas, olio combustibile e carbone	Inondazioni
Condotte per la trasmissione e la distribuzione del gas, oleodotti	Inondazioni (frane)
Depositi di GPL	Inondazioni
Depositi di oli minerali	Inondazioni, fulminazioni, forti venti, tempeste
Raffinerie e impianti chimici e petrolchimici:	
– Colonne di processo	Forti venti, tempeste
– Serbatoi fuori terra	Forti venti, tempeste, inondazioni, fulminazioni
– Serbatoi interrati	Inondazioni
– Tubazioni (anche interrate)	Inondazioni
– Motori, pompe, compressori	Inondazioni
– Sala controllo e strumentazione	Inondazioni, fulminazioni
– Magazzini di prodotti imballati	Inondazioni
– Utility di servizio comunemente presenti negli impianti industriali il cui venir meno può determinare situazioni di pericolo:	Forti venti, tempeste, inondazioni, fulminazioni, cambiamenti della disponibilità idrica, aumento della temperatura dell'acqua e riduzione della disponibilità di acqua di raffreddamento
– caldaie	
– sistemi di refrigerazione	
– torri di raffreddamento	
– alimentazione elettrica	
– impianti di depurazione	
– sistemi di torcia	
Depositi di prodotti tossici	Inondazioni
Magazzini di prodotti fitosanitari	Inondazioni
Depositi, impianti e terminali costieri	Mareggiate, innalzamento livello del mare

*Tabella 3.20: Fattori di impatto più rilevanti per alcune tipologie di industrie ed infrastrutture pericolosi*

## Valutazioni di rischio e di vulnerabilità

Il settore industriale (con l'eccezione di quello energetico e dei settori grandi consumatori di risorse idriche) non è comunemente percepito come un settore economico particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici, essendo invece prevalente la considerazione delle nuove opportunità che questi potranno offrire ad alcuni *business* (ad es. delle tecnologie ambientali, dei materiali di costruzione e per l'isolamento).

Tuttavia i cambiamenti climatici comportano non solo opportunità ma anche rischi. In particolare l'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, con il loro corredo di fulminazioni, alluvioni e frane, potrebbero direttamente produrre effetti sulle infrastrutture e le attività industriali che utilizzano processi e sostanze chimiche pericolosi, nonché sulle operazioni che in essi vengono svolte.

La capacità produttiva di alcuni settori industriali potrebbe infatti essere influenzata negativamente da alcuni fenomeni meteorologici estremi legati ai cambiamenti climatici, mentre la fuoriuscita dagli impianti di sostanze pericolose per la salute umana e l'ambiente potrebbe aumentare i rischi per i lavoratori e la popolazione che vive nelle aree circostanti, per le quali agli effetti immediati dell'evento estremo o dell'alluvione, potrebbero aggiungersi ulteriori effetti indiretti immediati o differiti (effetti sanitari dovuti all'esposizione a sostanze pericolose, interruzione dei servizi di approvvigionamento idrico, distruzione o inagibilità abitazioni ad esito di incendi ed esplosioni, ecc.).

In Italia, allo stato attuale, non esiste ancora un riferimento univoco, specifico e completo che consenta di valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture e sulle attività industriali pericolose. La criticità dello stato conoscitivo si caratterizza per la carenza di studi di dettaglio degli scenari di impatto sul territorio, per la conseguente difficoltà di analisi di rischio per il sistema infrastrutturale ed industriale, nonché per l'assenza di un sistema che possa raccogliere in maniera organica e sistematizzare le informazioni sulle problematiche, sulle buone pratiche, sulle opzioni disponibili a livello locale e nazionale e sui relativi costi.

Un quadro, sia pure parziale e preliminare (vedi commenti successivi), potrebbe essere ricavato dalla raccolta delle informazioni sulle valutazioni preliminari del rischio di alluvioni effettuate dalle Autorità di bacino ai sensi del D.lgs. 23 febbraio 2010 , n. 49, *Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni*, che prevede la considerazione di scenari a lungo termine determinati dagli effetti dei cambiamenti climatici, nonché la indicazione nelle mappe del rischio di alluvioni delle potenziali conseguenze negative per gli impianti che potrebbero provocare inquinamento incidentale di aree naturali protette (identificati con gli impianti assoggettati al D.lgs.59/2005 - normativa AIA-IPPC).

Ulteriori informazioni, sempre parziali ma rappresentative dello stato dell'arte, potrebbero essere tratte dalle attività di controllo degli oltre 1100 stabilimenti a rischio di incidente rilevante soggetti al D.lgs.334/99, recepimento della Direttiva europea Seveso II; tale disposizione prevede infatti l'obbligo per i gestori di prendere tutte le misure idonee a prevenire gli incidenti rilevanti e a limitarne le conseguenze per l'uomo e per l'ambiente, ivi compresa l'adozione di un sistema di gestione della sicurezza, di cui costituisce parte integrante l'effettuazione di analisi di sicurezza, i cui esiti sono riportati in uno specifico rapporto. Quest'ultimo è soggetto alla valutazione da parte degli organi di controllo, al fine di individuare eventuali prescrizioni integrative, e costituisce la base per la predisposizione da parte del gestore di un piano di emergenza interno all'impianto e, da parte delle Autorità preposte (prefetture), di un piano di emergenza esterno e di misure per il controllo dell'urbanizzazione nel territorio circostante. Le misure adottate dal gestore, il rapporto

di sicurezza, il piano di emergenza interno e quello di emergenza esterno, dovrebbero includere la considerazione degli eventi meteorologici, geologici e idrografici, ivi compresi quelli estremi, potenziali cause esterne di eventi incidentali.

Tuttavia, sia in Italia che negli altri Paesi europei, questi aspetti non sono sempre adeguatamente affrontati nei rapporti di sicurezza (soprattutto con riferimento ai cambiamenti climatici), tanto è vero che le Autorità europee hanno ritenuto necessaria, nella nuova Direttiva europea 2012/18/CE Seveso III, una esplicitazione della necessità di considerazione dei rischi naturali: pertanto nell'ambito della "Identificazione e analisi dei rischi di incidenti e metodi di prevenzione" il gestore dovrà, a partire dal 2015, fornire una *"a) descrizione dettagliata dei possibili scenari di incidenti rilevanti e delle loro probabilità o delle condizioni in cui possono prodursi, corredata di una sintesi degli eventi che possono svolgere un ruolo nell'innescare tali scenari, con cause interne o esterne all'impianto, comprendente in particolare: .... iii) cause naturali, ad esempio terremoti o inondazioni;"*.

Un interessante, per quanto parziale, indicatore della vulnerabilità di questo settore rispetto alle conseguenze dei cambiamenti climatici, può essere rappresentato dalla vicinanza degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante ai corpi idrici superficiali (mare, laghi, corsi d'acqua), che, sia pure in termini assolutamente generali e preliminari, può fornire indicazioni sull'esposizione al rischio idraulico di queste attività.

Alcune elaborazioni sono state effettuate dall'ISPRA, tenendo conto della relazione di prossimità esistente tra i circa 1100 stabilimenti a rischio di incidente RIR distribuiti su tutto il territorio nazionale e i bersagli/ricettori maggiormente rappresentativi del comparto idrico superficiale, rispettivamente, aste fluviali del 1° e 2° ordine, laghi e linea di costa, prendendo in considerazione una distanza di riferimento pari a 100 metri. Tale distanza è stata ritenuta ragionevolmente rappresentativa di una diretta connessione stabilimento/ricettore sensibile e, conseguentemente, di un possibile coinvolgimento dell'attività pericolosa in caso di inondazione o di altro fenomeno meteorologico estremo (mareggiata, perturbazioni meteo marine, ecc.) che potrebbe aumentare di frequenza ed intensità a causa dei cambiamenti climatici.

Si è, innanzitutto, tenuto conto dell'intero insieme di stabilimenti assoggettati alla normativa "Seveso", prescindendo quindi dai quantitativi e dalla tipologia di sostanze pericolose stoccate. I risultati, riportati nella Tabella 4.20, evidenziano che circa il 13% del numero totale di stabilimenti a rischio di incidente rilevante (oltre 1100) è ubicato entro 100 metri da un corpo idrico superficiale ed il 6% entro 100 metri dalla linea di costa. Focalizzando poi sugli stabilimenti (514) che detengono prodotti petroliferi e altre sostanze e preparati eco tossici, si rileva che circa il 22% di essi è ubicato entro 100 metri da un corpo idrico superficiale o dalla linea di costa (al riguardo si tenga conto che circa 20 stabilimenti sono ubicati contemporaneamente sia a 100 metri dalla linea di costa che da un'asta fluviale).

Successivamente l'analisi è stata focalizzata con riferimento ai quantitativi di sostanze pericolose appartenenti alle seguenti categorie: Prodotti Petroliferi e Sostanze pericolose per l'ambiente. I risultati riportati nella Tabella 5.20 evidenziano che circa il 46 % dei quantitativi di prodotti petroliferi notificati dai gestori (circa 8600 kton) sono detenuti entro 100 metri da un corpo idrico

superficiale e il 40% (7500 kton) entro 100 metri dalla linea di costa. Il 41 % dei quantitativi (oltre 4600 kton) notificati di sostanze classificate pericolose per l'ambiente ricadenti nella voce 9.i del D.lgs.334/999 (tra cui è compreso l'olio combustibile denso) sono detenuti entro 100 metri da un corpo idrico superficiale e circa il 42% (oltre 4700 kton) entro 100 metri dalla linea di costa; il 16 % dei quantitativi (circa 190 kton) notificati di sostanze classificate pericolose per l'ambiente ricadenti nella categoria 9.ii sono detenuti entro 100 metri da un corpo idrico superficiale e circa il 19 % (220 kton) entro 100 dalla linea di costa.

Tali elaborazioni forniscono elementi, sia pure preliminari, indicativi del pericolo potenziale per le acque interne superficiali e per l'ambiente costiero associato ad un evento NaTech che interessi queste attività.

Distanza (m)	Numero stabilimenti assoggettati al D.Lgs 334 /99 e s.m.i.					Numero stabilimenti con quantitativi di sostanze superiori alle soglie di cui alla colonna 2 dell'allegato I al D.Lgs 334/99 <i>Allegato I parte 1</i> <i>Prodotti Petroliiferi</i> <i>Allegato I parte 2</i> <i>9. Sostanze pericolose per l'ambiente</i> <i>i) R50 "Molto tossico per gli organismi acquatici" (compresa frase R50/53)</i> <i>ii) R51/53 : "Tossico per gli organismi acquatici; può causare effetti negativi a lungo termine nell'ambiente acquatico"</i>						
	RI		LC		L	RI		LC		L		
	N.	% (totali)	N.	% (totali)	N.	N.	% (totali)	% (superiori soglie)	N.	% (totali)	% (superiori soglie)	N.
100	151	13	67	6	4	68	5	13	44	4	9	3
<b>Legenda:</b>	RI = Reticolo Idrografico. LC = Linea di Costa L = Laghi, bacini artificiali, ecc. % (totali)= percentuale di stabilimenti riferita al numero totale di stabilimenti assoggettati alla normativa Seveso (1142) aggiornati al 31 dicembre 2012 % (superiori soglie)= percentuale di stabilimenti riferita al numero di stabilimenti (514) con quantitativi di sostanze superiori alle soglie di cui alla colonna 2 dell'allegato I del D.lgs 334/99 e smi in categoria 9 (Parte 2) e prodotti petroliferi (Parte 1) aggiornati al 31 dicembre 2012											

**Tabella 4.20:** Ubicazione stabilimenti RIR con sostanze pericolose per l'ambiente rispetto ai corpi idrici superficiali (entro 100 m) (Fonte: Ricchiuti et al., 2013).

Dist (m)	Allegato I parte 1 Prodotti Petroliiferi		Allegato I parte 2												
			9. Sostanze pericolose per l'ambiente i) R50 "Molto tossico per gli organismi acquatici" (compresa frase R50/53)						9. Sostanze pericolose per l'ambiente ii) R51/53 : "Tossico per gli organismi acquatici; può causare effetti negativi a lungo termine nell'ambiente acquatico"						
	RI		LC		L	RI		LC		L	RI		LC		L
	Q (kton)	% (tot.)	Q (kton)	% (tot.)	Q (kton)	Q (kton)	% (tot.)	Q (kton)	% (tot.)	Q (kton)	Q (kton)	% (tot.)	Q (kton)	% (tot.)	Q (kton)
100	8.629	46	7.582	40	68	4.647	41	4.735	42	98	191	16	220	19	30
<b>Legenda:</b>		RI = Reticolo Idrografico. LC = Linea di Costa L = Laghi, bacini artificiali, ecc % (totale)= percentuale riferita ai quantitativi totali di sostanze presenti negli stabilimenti assoggettati alla disciplina Seveso in voce 9.i (11.129 kton), in voce 9.ii (1.139 kton) e prodotti petroliferi (18.707 kton) aggiornati al 31 dicembre 2012.													

**Tabella 5.20:** *Quantitativi complessivi di sostanze pericolose per l'ambiente negli stabilimenti RIR (entro 100 m corpi idrici superficiali) (Fonte: Ricchiuti et al., 2013). Avvertenza: Si tratta delle quantità presenti stabilimenti RIR che detengono sostanze pericolose per l'ambiente in quantitativi superiori alle soglie di cui alla colonna 2 dell'allegato I al D.Lgs 334/99*

L'Italia, come gli altri grandi Paesi sviluppati, è maggiormente vulnerabile agli eventi NaTech, soprattutto nelle aree urbane, a causa dell'elevata densità di popolazione e del maggior numero di industrie e di infrastrutture a rischio: uno dei fattori di aggravamento degli eventi NaTech, analizzati nelle fonti in precedenza citate, è stato l'ubicazione delle *facilities* impattate in aree urbanizzate, o comunque popolate, e pertanto le sostanze pericolose rilasciate hanno messo in pericolo la vita e la salute di un elevato numero di persone.

La potenzialità di un pericolo di trasformarsi in un disastro dipende principalmente da quanto la comunità è esposta ad esso. Azioni e misure di adattamento, se ben implementate, possono ridurre l'impatto sulla salute e l'ambiente e quello economico di un evento NaTech. A partire dagli anni '90 le politiche per la gestione e riduzione dei rischi di disastri sono evolute verso un approccio integrato, basato sul ciclo completo prevenzione-preparazione-risposta-recupero e questo deve essere applicato anche con riferimento agli eventi estremi di origine climatica.

Un'analisi critica dei sistemi per la gestione degli eventi NaTech, svolta nel 2004 per i maggiori Paesi industrializzati, evidenziava i seguenti punti deboli, che determinavano una vulnerabilità complessiva:

1. carenza di dati sugli eventi occorsi e sulle misure adottate per la riduzione del rischio, anche per scarsa condivisione tra i vari soggetti pubblici e privati coinvolti;

2. mancanza di stime sulle probabilità di accadimento di eventi NaTech (mappe di rischio), condizione necessaria per stimolare e facilitare una migliore pianificazione;
3. valutazioni della vulnerabilità rispetto ai rischi tecnologici spesso affidata unicamente alla parte industriale, che spesso risultava trascurare gli eventi NaTech;
4. permanenza anche in caso di adeguamenti degli standard per far fronte ai NaTech di situazioni di pericolo negli stabilimenti più vecchi;
5. piani di emergenza tarati su eventi singoli e non anche sull'accadimento di eventi simultanei e multipli.

Successive iniziative in ambito Unione Europea (ad es. Direttiva 2007/60 "alluvioni") ed OECD (workshop nel 2012 ed attività del Gruppo incidenti chimici che hanno condotto all'inserimento di uno specifico *addendum* NaTech alle linee guida OECD *Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response*), hanno spinto molti Paesi ad affrontare in maniera organica la tematica dei NaTech, correttamente integrando in essa anche la specifica problematica del ruolo giocato dai cambiamenti climatici.

La Germania ha dedicato un capitolo specifico della propria Strategia nazionale al settore delle industrie pericolose (cap.3.2.12 *Trade and industry*) ed è stata emanata dall'Autorità competente per il controllo delle attività Seveso una Regola tecnica che detta precauzioni e misure contro i pericoli originati dalle precipitazioni ed inondazioni; essa fornisce, in uno specifico allegato, elementi quantitativi per la progettazione delle installazioni a rischio di incidente rilevante la cui vita si prolunghi nel periodo 2020-2050, al fine di consentirne l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Nel Regno Unito sono state avviate iniziative *multi-stakeholder* per la gestione della tematica NaTech - Cambiamenti climatici, finalizzate ad effettuare una ricognizione della consapevolezza degli operatori sul tema, alla predisposizione di un documento di sintesi con un *focus* sull'impatto sugli impianti chimici e petroliferi, all'identificazione delle appropriate misure di adattamento e promozione delle buone pratiche e presentazione di esempi di misure già adottate; nel frattempo è stata inoltre predisposta una specifica Linea guida per i gestori dei siti pericolosi per fronteggiare al meglio eventuali inondazioni, per le quali è previsto un aumento nelle isole britanniche a causa dei cambiamenti climatici.

Per quanto riguarda l'Italia, nessuna valutazione di rischio e/o di vulnerabilità ha finora preso in esame in maniera dettagliata, a livello nazionale, gli impatti dei cambiamenti climatici sui rischi connessi alle industrie ed infrastrutture pericolose.

La normativa nazionale di recepimento della Direttiva alluvioni (D.lgs. 49/2010), come già evidenziato, affronta la tematica degli impatti del cambiamento climatico nell'ambito della valutazione preliminare del rischio di alluvione (cfr. artt.4), nonché la considerazione delle attività pericolose nell'ambito della mappatura della pericolosità e dei rischi da alluvioni (cfr. art.6).

Tuttavia, come emerge dai documenti recentemente prodotti da alcune Autorità di bacino, proprio in ottemperanza alla citata normativa, la tematica, preso atto delle difficoltà conoscitive, è presa in considerazione solo in termini preliminari e parziali:

*“L'impressione – da confermare con ulteriori analisi – e quindi quella di un'estensione generalizzata delle aree con propensione ai fenomeni tipo flash flood, con conseguenze da tenere in seria considerazione per la corretta valutazione della mappatura del rischio. Allo stato attuale, così come indicato nella direttiva per il primo ciclo di applicazione, sono state perimetrate le aree a pericolosità e rischio facendo riferimento soltanto parzialmente ai fenomeni di cambiamento climatico sopra indicati.”*, ovvero rinviata:

*“ .... l'eventuale impatto dei cambiamenti climatici futuri sul rischio di inondazione non può essere preso in considerazione attualmente e potrà essere affrontato solo nei successivi cicli di aggiornamento della pianificazione, quando saranno disponibili dati, procedure e scenari più definiti ed omogenei a livello nazionale. Nel definire comunque le misure del Piano di gestione del rischio di alluvioni verranno assunti i principi generali proposti nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (NdR questo richiamo rafforza dunque la necessità che la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici non trascuri nessuno dei settori potenzialmente vulnerabili, tra i quali quello delle attività pericolose) e gli indirizzi indicati per il settore dissesto idrogeologico.”*

Per quanto riguarda invece la considerazione degli impatti delle alluvioni connesse alla pericolosità di talune attività, gli stessi documenti adottano, in generale, il criterio di una valutazione semplificata, finalizzata esclusivamente ad individuare gli impianti pericolosi ricompresi nelle aree allagabili, “ .... ipotizzando lo sviluppo dei necessari approfondimenti nell'ambito delle previste valutazioni sul rischio esogeno che i gestori di tali impianti sono tenuti a fare in adempimento della Direttiva 2012/18/UE (NdR Seveso III).”, ovvero, in aderenza alle direttive ministeriali per le Autorità di bacino, rinviando la stima delle vulnerabilità e potenzialità di danno degli impianti pericolosi, attribuendo ad esse *pro-tempore* valori di vulnerabilità e di danno convenzionali (ad es. vulnerabilità unitaria e categoria di danno massima, attribuite indistintamente a tutti gli impianti IPPC, in quanto ritenuti tutti in grado di provocare gravi disastri ecologico-ambientali o perdite di vite umane).

## **Basi conoscitive per lo studio degli impatti, della vulnerabilità e dell'adattamento**

In futuro le informazioni climatiche acquisiranno un ruolo fondamentale non solo nella gestione degli impianti pericolosi in situazioni di crisi (come quelle provocate da alluvioni e frane), ma già a partire dalle scelte di localizzazione e di progettazione. Questo richiederà lo sviluppo di scenari climatici su base regionale, che permettano di tener conto dell'orografia, dell'uso dei suoli e delle isole di calore urbane. L'approccio modellistico a scala regionale non può comunque prescindere dalle osservazioni storiche (di qualità) delle variabili meteo-climatiche necessarie sul nostro territorio. A tal riguardo, sarebbe auspicabile valorizzare il grande patrimonio di dati meteo-climatici disponibili, curandone l'aggiornamento, la qualità e la fruibilità.

Andrà curata la copertura sistematica del territorio, con stazioni meteorologiche ubicate in modo da consentire una mappatura delle zone a rischio. Oltre alla presenza fisica delle stazioni meteorologiche, occorre anche acquisire, conservare, condividere e archiviare dati e metterli prontamente a disposizione in connessione con gli eventi. L'uso dei dati acquisiti dai satelliti, associato alle analisi e previsioni numeriche, sta già determinando un aumento continuo delle conoscenze necessarie per le previsioni meteorologiche. È altresì possibile vagliare le possibilità insite negli indici satellitari basati su strumenti di telerilevamento. Molti settori economici sono sensibili alle condizioni climatiche e, quindi, alla relativa evoluzione. L'investimento nell'infrastruttura meteorologica recherà pertanto, in generale, benefici alle attività economiche. La Commissione sta procedendo a consultazioni su una futura attuazione di un servizio di monitoraggio dei cambiamenti climatici nell'ambito del programma europeo di monitoraggio della Terra (Copernicus).

Ulteriori ambiti dove andranno fatti interventi ed investimenti per il rafforzamento o la costruzione di solide basi conoscitive, sono quelli relative alla raccolta di dati sugli eventi estremi e sulle loro conseguenze su industrie ed infrastrutture pericolose, con particolare riferimento agli eventi NaTech.

Andrà messa in atto un'azione di coordinamento e, possibilmente, di integrazione dei catasti ed inventari di industrie ed infrastrutture pericolose (afferenti alle diverse normative) esistenti a livello nazionale e regionale, al fine di individuare in maniera complessiva e univoca gli *hot-spots* del territorio da attenzionare in quanto suscettibili di originare eventi NaTech.

Analogamente andrà creata una solida base conoscitiva inerente alle misure di adattamento ed alle valutazioni della loro efficacia e dei costi, attraverso la raccolta sistematica, anche ai fini della loro promozione e disseminazione, delle buone pratiche e di esempi pratici di misure adottate a livello locale.

Un necessario arricchimento informativo e di conoscenza dovrà arrivare dalla partecipazione attiva del nostro Paese ad iniziative di cooperazione e di scambi di informazioni ed esperienze in ambito UE ed internazionale (OECD).

## Bibliografia

Autorità bacino fiume Arno (2013). Valutazione globale Provvisoria del Piano di Gestione delle Alluvioni, dicembre 2013.

Autorità bacino fiume Arno (2013). Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni –relazione, giugno 2013.

Autorità di bacino del fiume Po (2013). Dalle mappe di pericolosità al piano di gestione delle alluvioni-Questioni importanti, orientamenti fondamentali e proposta per un programma delle attività, dicembre 2013.

Barredo J.I. (2009). Normalised flood losses in Europe: 1970–2006, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9 (February 9, 2009): 97–104, doi:10.5194/nhess-9-97-2009.

Barredo J.I. (2010), No upward trend in normalised windstorm losses in Europe: 1970–2008, *Natural Hazards and Earth System Science* 10, Nr. 1 : 97–104, doi:10.5194/nhess-10-97.

Christensen J.H., Christensen O.B. (2002). Severe summertime flooding in Europe, *Nature* 421 : 805–806.

Commissione Europea (2009). Libro Bianco sull'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo.

Commissione Europea (2013). Libro Verde sull'assicurazione contro le calamità naturali e antropogeniche.

Commissione Federale Tedesca per la Sicurezza di Processo (2011). TRAS 310: Precautions and Measures against the Hazard Sources Precipitation and Flooding –Short version.

Cruz A.M., Steinberg L.J., Vetere Arellano A.L., Nordvik J.P., Pisano F. (2004). NATECH: Natural Hazard Triggering a Technological Disaster, EUR 21292 EN.

Dankers R., Feyen L. (2009). Flood hazard in Europe in an ensemble of regional climate scenarios, *Journal of Geophysical Research* 114, Nr. D16 , doi:10.1029/2008JD011523.

Decreto Pres. Cons. Ministri del 31 marzo 1989, Applicazione dell'art. 12 del decreto del Presidente della Repubblica 17 maggio 1988, n. 175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali.

Direttiva CEE/CEE/CE n. 18 del 04/07/2012, Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 4 luglio 2012, sul controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose, recante modifica e successiva abrogazione della direttiva 96/82/CE del Consiglio.

Direttiva CE n.60 del 23 ottobre 2007, Direttiva 2007/60 del Parlamento europeo e del Consiglio, , relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi di alluvioni.

D.lgs. 23 febbraio 2010 , n. 49, Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.

D.Lgs. n. 334 del 17/08/1999, Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose.

EEA (European Environment Agency) (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, An indicator-based report. EEA Report 12/2012.

EEA (European Environment Agency) (2010). The European environment: State and outlook 2010: Thematic assessment – Understanding Climate Change.

EEA (European Environment Agency) (2008). Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO Report.

Flörke M., Wimmer, F., Laaser, C., Vidaurre, R., Tröltzsch, J., Dworak, T., Stein, U., Marinova, N., Jaspers, F., Ludwig, F., Swart, R., Giupponi, C., Bosello, F., e Mysiak, J. (2011). Climate Adaptation – modelling water scenarios and sectoral impacts. CESR, University of Kassel, Final Report Contract N° DG ENV.D.2/SER/2009/0034,

Gerì F. (2013). Indirizzi per la pianificazione ed attuazione di misure di mitigazione in riferimento ad evento NaTech su impianti RIR, Atti della Giornata di studio Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incidente rilevante, ENEA, Roma, 7 febbraio 2013.

Governo federale Tedesco (2008). DAS: German strategy for adaption to climate change.

IPCC (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

ISPRA (2014). Servizio Rischio Industriale, BIRD Banca dati incidenti rilevanti.

Kundzewicz Z.W., Radziejewski M., Pínskwar I. (2006). Precipitation extremes in the changing climate of Europe, *Climate Research* 31 : 51–58, doi:10.3354/cr031051.

NatCatSERVICE, Munich Re NatCatSERVICE, NATHAN Risk Suite (2012). <http://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/georisks/nathan/default.aspx>.

OECD (2013). Report of the workshop on Natech Risk management (23-25 May 2012, Dresden, Germany) Serie on Chemical accidents no.25, ENV/JM/MONO(2013).

OECD (2013). Draft Addendum to the OECD Guiding Principles on Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response for Consideration of Natech Risk management, ENV/JM/ACC(2013)2.

Rico M., Benito G., Salgueiro A.R., Diez-Herrero A., Pereira H.G. (2008). Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context, *Journal of Hazardous Materials*, 152, 2008.

Visser H., Bouwman A., Petersen A., Ligtoet W. (2012). Weather-related disasters: past, present and future PBL publication, Netherlands Environmental Assessment Agency

Paklina N. (2003). Flood Insurance, OECD, 2003.

Ricchiuti A., Lotti A., Astorri F., Caparresi M. (2013). Mappatura dei pericoli di incidente rilevante in Italia, Edizione 2013. Rapporto ISPRA 181/2013.

Sieber J. (2012). Impacts of Extreme Hydro-Meteorological Events on Electricity Generation and Possible Adaptation Measures, Università di Würzburg, Karlsruhe.

UK Environment Agency (2012). UK CDOIF (Chemicals and Downstream Oil Industries Forum), Preparing for flooding - A guide for regulated sites.

UK Environment Agency (2011). CDOIF (Chemical and Downstream Oil Industries Forum), Work plan 2010-2011 Climate Change adaption – terms of reference.

WEF (World Economic Forum) (2014). Report Global Risks 2014 Ninth Edition.

# Energia

## Sintesi

Il settore energetico rappresenta un esempio di settore economico particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici, come effetto, da un lato, della elevata sensibilità della produzione e del consumo di energia rispetto all'andamento delle temperature e ai fenomeni estremi e, dall'altro, della severità dei requisiti ai quali devono rispondere i servizi energetici, in termini quantitativi e qualitativi, in particolare per quanto riguarda la loro continuità.

Con l'aumento della temperatura media globale, meno energia sarà richiesta per il riscaldamento degli ambienti e più energia sarà invece richiesta per il loro raffrescamento; l'entità di questi cambiamenti potrà variare per le diverse regioni e stagioni. Nei paesi dell'Europa meridionale, a causa dell'aumento delle temperature massime, maggiore di quello delle minime, e della minore efficienza dei sistemi di raffrescamento rispetto a quelli di riscaldamento, la domanda di energia per il raffrescamento aumenterà più di quanto si ridurrà la domanda di energia per il riscaldamento. Anche l'incremento dei costi per il raffrescamento supererà di gran lunga i risparmi relativi al riscaldamento.

I cambiamenti climatici previsti per l'area del Mediterraneo avranno l'effetto di incrementare molto i consumi elettrici nella stagione estiva, anche per il crescente utilizzo di sistemi di condizionamento. Questo trend sarà influenzato dall'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore. E' pertanto facilmente prevedibile, date le proiezioni climatiche attese per il XXI secolo, che la richiesta estiva sarà in sostanziale continuo aumento, con associati probabili rischi di blackout dovuti al carico di punta estivo. Per il periodo invernale, si prevede invece che i consumi elettrici possano ridursi a causa dell'utilizzo meno intensivo dei sistemi di riscaldamento di tipo elettrico. Questo calo potrebbe essere parzialmente compensato dall'incremento della domanda di energia elettrica legato alle misure di incentivazione dell'utilizzo delle pompe di calore per il riscaldamento, che determinerebbero una conversione al vettore elettrico di consumi termici.

La capacità produttiva degli impianti termoelettrici potrebbe essere influenzata negativamente da alcuni fenomeni legati ai cambiamenti climatici, come inondazioni, riduzioni nella disponibilità di acqua di raffreddamento e aumento della sua temperatura ed, infine, aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi di temperatura. La frequenza di questi eventi, grazie alle proiezioni climatiche ad oggi note, dovrebbe molto probabilmente aumentare. Nelle zone costiere la frequenza dei fenomeni di inondazione aumenterà per effetto dell'aumento del livello del mare.

Le variazioni meteo-climatiche hanno portato e porteranno nel tempo a una riduzione delle disponibilità idriche per la produzione idroelettrica e ad una maggiore difficoltà nella loro gestione. Mentre sinora l'andamento delle precipitazioni, in particolare sul Nord Italia, non presenta un trend significativo, per il futuro ci si attende una sensibile riduzione delle

precipitazioni, in particolare nella stagione estiva. Per le altre fonti rinnovabili (eolico, biomasse, fotovoltaico), si prevedono impatti di entità minore, che si manifesteranno peraltro con tempi più lunghi della vita media degli impianti.

Nell'area del Mediterraneo, gli impatti potenziali più significativi dei cambiamenti climatici sul funzionamento delle reti elettriche saranno quelli dovuti all'aumento delle temperature e ai fenomeni di siccità. L'aumento della temperatura determina infatti un aumento della resistenza dei cavi, e quindi delle perdite di trasmissione, e rende più difficile la dissipazione del calore prodotto.

Per quanto riguarda le azioni di adattamento, è necessario che, soprattutto nel caso di infrastrutture a lunga vita media che comportano elevati investimenti, si tenga conto dei cambiamenti climatici a partire dalle fasi iniziali del progetto, attraverso l'utilizzo di opportuni criteri di progettazione e l'adozione di misure tecnologiche specifiche. Questo vale, in particolare, per le opere soggette a VIA, per le quali gli studi di impatto ambientale dovrebbero prendere obbligatoriamente in considerazione i mutamenti nelle condizioni climatiche di riferimento, che potranno verificarsi per un periodo corrispondente alla vita media dell'opera.

Nel settore residenziale e nel terziario, i criteri di costruzione applicati nella nuova edilizia hanno raggiunto buoni valori di efficienza nel risparmio energetico per ciò che concerne il riscaldamento degli ambienti, mentre i medesimi criteri conducono a deboli svantaggi nell'utilizzo dei sistemi di raffrescamento.

Per l'energia idroelettrica, a lungo termine la riduzione delle risorse idriche disponibili comporterà un calo della produzione idroelettrica e renderà necessaria una crescente attenzione nei confronti della variabilità dell'apporto d'acqua lungo l'arco dell'anno, al fine di tutelare le condizioni ecologiche del corso d'acqua e evitare i conflitti legati agli altri usi della risorsa, in particolare quelli agricoli. Nella gestione ordinaria, la crescente variabilità delle precipitazioni e, di conseguenza, delle disponibilità idriche richiederà un aumento dei volumi dei serbatoi di stoccaggio.

Gli impatti attesi per gli impianti eolici, quelli alimentati a biomassa e quelli fotovoltaici sono valutati di entità talmente ridotta, da poter essere trascurati nelle strategie a lungo termine e nella gestione ordinaria per questi impianti.

Per quanto riguarda la resilienza del sistema energetico nel suo complesso, si sottolinea che alcune delle contromisure fin qui adottate per ridurre la vulnerabilità "tradizionale" del sistema energetico rispetto all'approvvigionamento delle fonti primarie (diversificazione delle fonti primarie, promozione delle fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica, demand side management, utilizzo di sistemi di stoccaggio dell'energia, integrazione e sviluppo delle reti, utilizzo di contratti che prevedano l'interruzione del servizio) sembrano avere un effetto positivo ai fini dell'aumento della resilienza del sistema nei confronti dei cambiamenti climatici.

Ai fini della gestione dei rischi legati agli impianti energetici, in particolare di quelli termoelettrici, un ruolo importante potrebbe essere svolto dai sistemi assicurativi. Tuttavia, anche questa opzione di adattamento risulta spesso problematica, dal momento che le società di assicurazione sono spesso in difficoltà nel valutare i rischi legati al cambiamento climatico, e possono essere indotte, dall'elevata incertezza, a rifiutarsi di assicurare una specifica infrastruttura, a meno che il gestore non offra garanzie addizionali. In questi casi, i Governi possono intervenire prevedendo l'introduzione di un'assicurazione obbligatoria, fornendo sovvenzioni per i costi di assicurazione per i beneficiari, intervenendo come riassicuratori di ultima istanza o compensando i danneggiati attraverso aiuti diretti su base *ex post*.

E' prevedibile che, in futuro, le informazioni climatiche acquisiranno un ruolo fondamentale non solo nella gestione degli impianti energetici in situazioni di crisi (come quelle provocate dalla carenza di precipitazioni), ma già a partire dalle scelte di localizzazione e di progettazione. Questo richiederà lo sviluppo di scenari climatici su base regionale, che permettano di tener conto dell'orografia, dell'uso dei suoli e delle isole di calore urbane. L'approccio modellistico a scala regionale non può comunque prescindere dalle osservazioni storiche (di qualità) delle variabili meteo-climatiche necessarie sul nostro territorio. A tal riguardo, sarebbe auspicabile valorizzare il grande patrimonio di dati meteo-climatici disponibili, curandone l'aggiornamento, la qualità e la fruibilità, e provvedendo a incrociarli con i dati relativi ai profili di carico orari in modo da permettere una gestione efficiente e in sicurezza della rete.

## Introduzione

Le attività relative alla produzione e al consumo dell'energia sono quelle maggiormente responsabili dell'emissione di gas-serra nell'atmosfera<sup>316</sup>. Allo stesso tempo, esse rappresentano secondo l'IPCC (vedi ad es. le sezioni 7 e 12 del contributo del Gruppo di Lavoro II al Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC) l'esempio di un settore particolarmente vulnerabile rispetto ai cambiamenti climatici (IPCC WGI, 2007).

Si prevede che in molte parti del mondo i cambiamenti climatici influenzeranno i consumi di energia e la sua produzione. Con l'aumento della temperatura media globale, meno energia sarà richiesta per il riscaldamento degli ambienti e più energia sarà invece richiesta per il loro raffrescamento; l'entità di questi cambiamenti potrà variare per le diverse regioni e stagioni. L'effetto complessivo sulla domanda di energia dipenderà dagli andamenti dei parametri meteorologici a livello locale e stagionale, come anche dalla struttura dell'approvvigionamento energetico (i sistemi di condizionamento estivo dell'aria sono infatti alimentati da energia elettrica,

---

<sup>316</sup> Nell'anno 2010, le attività relative alla produzione e al consumo dell'energia, senza tener conto dei trasporti, sono state responsabili del 57,7% delle emissioni nazionali di gas-serra, secondo i dati comunicati dall'ISPRA al Segretariato della Convenzione-quadro sui cambiamenti climatici.

mentre il riscaldamento fa anche uso diretto di combustibili fossili e rinnovabili). Le variazioni stagionali potrebbero esercitare un'influenza diretta sul picco della domanda elettrica.

La produzione e l'offerta di energia saranno influenzate dai cambiamenti climatici nel caso in cui: a) gli eventi meteorologici estremi diventino più intensi, b) si debba far fronte a riduzioni nella disponibilità delle risorse idriche per la produzione idroelettrica o per il raffreddamento delle centrali termo-elettriche c) vengano influenzate le decisioni sulla localizzazione degli impianti e d) vengano influenzate (positivamente o negativamente) la produzione di energia eolica, solare e da biomassa.

## **Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento**

Il riscaldamento degli ambienti è responsabile di una quota rilevante degli usi finali di energia a livello nazionale, quindi una diminuzione della domanda di riscaldamento porterebbe a una significativa riduzione del consumo energetico complessivo. Ci sono molti fattori che contribuiscono alla domanda di riscaldamento, come ad esempio la struttura edilizia, il comportamento degli occupanti e i prezzi dell'energia. Anche la variazione della temperatura esterna, grandezza direttamente influenzata dai cambiamenti climatici, ha importanti impatti sulla richiesta energetica.

Un aumento della domanda di raffrescamento potrebbe contrastare gli effetti derivanti da una riduzione della domanda di riscaldamento. Mentre il riscaldamento viene fornito agli utenti finali attraverso una varietà di fonti (per lo più petrolio, gas, riscaldamento a carbone, energia elettrica, e teleriscaldamento), il raffrescamento viene fornito quasi esclusivamente attraverso l'elettricità. Come risultato, un aumento della domanda di raffreddamento è generalmente associato ad un aumento dei costi netti, con un incremento maggiore della domanda di energia primaria e maggiori impatti sulla capacità di punta delle reti di fornitura, rispetto ad una diminuzione equivalente della domanda di riscaldamento.

I cambiamenti climatici in corso impongono una seria riflessione su quali potranno essere le interazioni future tra la domanda di energia e la variabilità meteorologica. Focalizzando la nostra attenzione sulla temperatura dell'aria, grandezza che maggiormente influenza il fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento degli ambienti interni (Apadula et al., 2012), possiamo dire che è ormai appurato che le temperature minime e massime giornaliere nel nostro Paese sono in graduale aumento con un trend di lungo periodo stimato in circa 1 °C per secolo: ciò vale per tutte le regioni climatiche nelle quali può essere suddiviso il territorio italiano e tale tendenza interessa in maniera simile tutte le stagioni (Nanni et al., 2009). Come si evidenzia nel capitolo "Variabilità climatica presente e passata" di questo documento, confrontando le stime nei diversi periodi si nota che il rateo di crescita della temperatura media relativo agli ultimi 30 anni è quasi quattro volte maggiore rispetto a quello riferito agli ultimi due secoli. Negli ultimi 50 anni il trend di aumento delle temperature massime è maggiore di quello delle minime: ciò risulta coerente con

la diminuzione della nuvolosità registrata nell'ultimo mezzo secolo (Maugeri et al., 2001). Anche la frequenza e l'intensità delle ondate di calore, che rappresentano eventi climatici estremi, risultano in aumento sul territorio nazionale.

La dipendenza dalla temperatura esterna della domanda di riscaldamento e di raffrescamento viene espressa attraverso i gradi-giorno. I gradi-giorno di riscaldamento sono la sommatoria, estesa a tutti i giorni dell'anno, delle differenze tra la temperatura interna dell'ambiente da riscaldare, per la quale si assume un valore base convenzionale, e la temperatura esterna; parallelamente, i gradi-giorno di raffrescamento sono la sommatoria, estesa a tutti i giorni dell'anno, delle differenze tra la temperatura esterna e quella interna dell'ambiente da raffrescare, per la quale si assume un valore base convenzionale.

A livello europeo, l'Eurostat raccoglie da decenni i dati necessari al calcolo dei gradi-giorno di riscaldamento (il valore base convenzionale per la temperatura negli ambienti da riscaldare, è assunto da Eurostat pari a 18°C); questi dati mettono in evidenza che il valore medio, negli ultimi tre decenni, è diminuito del 13% a livello europeo, e del 19% in Italia, con sostanziali variazioni interannuali. L'Eurostat non calcola invece i gradi-giorno di raffrescamento, in assenza di una metodologia condivisa.

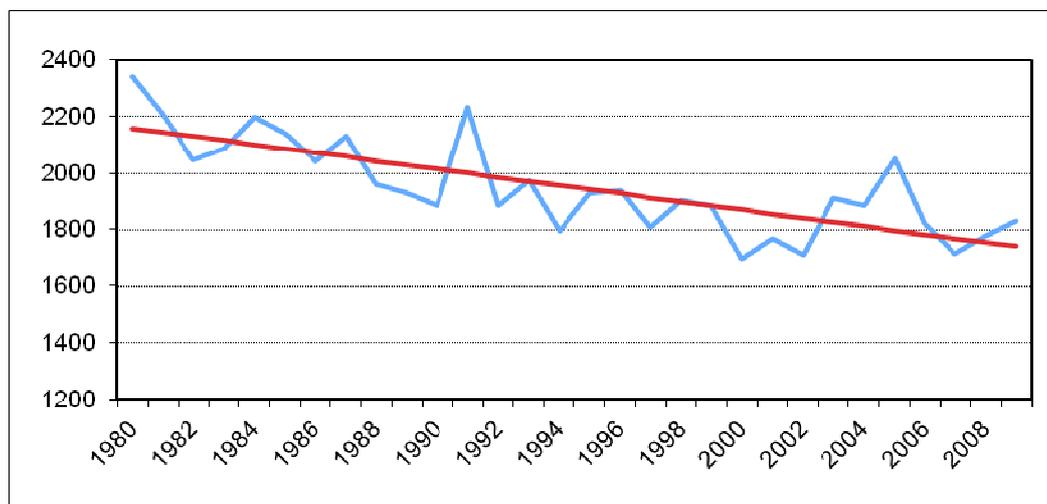


Figura 1.21: Trend dei gradi-giorno di riscaldamento in Italia dal 1980 al 2009 (Fonte: Eurostat)<sup>317</sup>

All'aumento previsto per le temperature saranno associati, a livello europeo ed in particolare nella regione mediterranea, aumenti nella domanda di raffrescamento e riduzioni nella domanda di riscaldamento. Essi sono stati studiati valutando l'andamento nel tempo dei gradi-giorno di

<sup>317</sup> [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_esdgr\\_a&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_esdgr_a&lang=en).

raffrescamento e di riscaldamento, facendo uso di diversi modelli energetici e climatici. Gli scenari climatici utilizzati sono in genere basati sui risultati di diversi General Circulation Models (GCMs), ovvero modelli di circolazione generale dell'atmosfera (come l'HadCM3, sviluppato dall'Hadley Centre), eventualmente accoppiati con Regional Circulation Models (RCMs), ovvero con modelli climatici regionali (come quello sviluppato dal KNMI, l'istituto meteorologico dei Paesi Bassi). Di particolare rilievo sono le simulazioni prodotte dal progetto ENSEMBLES<sup>318</sup> che ha sviluppato metodologie per un uso combinato di un gran numero di simulazioni prodotte da svariati GCMs e RCMs, permettendo anche una valutazione quantitativa, e statisticamente solida, dell'incertezza delle stesse.

Le variazioni della domanda di raffrescamento e di riscaldamento possono essere espresse stimando, rispettivamente, il numero di giorni nei quali è richiesto un raffrescamento superiore ai 5°C e quelli nei quali è richiesto un riscaldamento superiore ai 5°C, in genere prendendo come riferimento le temperature del periodo 1961-1990. Utilizzando questo indicatore, è stato evidenziato che in Italia il numero dei giorni in cui sarà richiesto un elevato raffrescamento potrà aumentare fino a due settimane nel periodo 2021-2050 (Giannakopoulos et al., 2009a), e a cinque settimane nel periodo 2071-2100 (Giannakopoulos et al., 2009b; IPCC/WGII, 2007). Il numero di giorni nei quali sarà richiesto un elevato riscaldamento potrà diminuire di circa 20 giorni nel periodo 2021-2050 (Giannakopoulos et al., 2009a).

L'impatto degli aumenti futuri di temperatura, all'orizzonte 2100, sui consumi di energia per raffrescamento e per riscaldamento nei settori residenziale e terziario è stato studiato nell'ambito del progetto Europeo ClimateCost (Mima et al., 2011). ClimateCost ha valutato i potenziali impatti e i costi economici dei cambiamenti climatici sulla domanda di energia in Europa sulla base di due scenari, uno con emissioni medio-alte (A1B), senza azioni di mitigazione o adattamento e uno a basse emissioni (E1) coerente con l'obiettivo di contenimento dell'aumento di temperatura entro i 2°C prevedendo azioni di mitigazione (Nakićenović e Swart, 2000). Per ciascuno di questi due scenari, lo studio ha valutato gli effetti delle variazioni previste per i principali indicatori socio-economici e per i parametri meteo-climatici, in particolare le temperature. Per tutti gli scenari, lo studio prevede un incremento della domanda energetica per il raffrescamento legato al mutamento degli stili di vita e alla diffusione delle nuove tecnologie, anche senza tener conto dell'incremento delle temperature; nello scenario A1B, si prevede che i consumi elettrici per il raffrescamento aumentino del 3% l'anno entro la fine del secolo a livello di UE-27. A questo aumento va ad aggiungersi quello dovuto all'incremento delle temperature.

Nello scenario A1B, a fronte di un incremento annuo complessivo dei consumi europei per il raffrescamento pari a 145 Mtep al 2050 e a 269 Mtep al 2100, la quota parte legata al mutamento delle condizioni climatiche sarebbe di 16 Mtep al 2050 e di 53 Mtep al 2100, con aumenti particolarmente rilevanti nei paesi dell'Europa meridionale. Nello scenario E1, l'incremento annuo

---

<sup>318</sup> Per informazioni sul progetto ENSEMBLES, si può fare riferimento al sito web <http://www.ensembles-eu.org>.

dei consumi a livello europeo sarebbe contenuto in 113 Mtep al 2050 e 139 Mtep al 2100, con circa 10 Mtep dovuti al solo mutamento delle condizioni climatiche.

Lo studio ha inoltre valutato la riduzione della domanda di riscaldamento in Europa, dovuta ai cambiamenti climatici. La riduzione annuale della domanda di riscaldamento legata esclusivamente all'aumento delle temperature medie è stimata, nello scenario A1B, intorno a -28 Mtep al 2050 e a -65 Mtep al 2100: si tratta di una riduzione equivalente a circa il 10% e il 20% della domanda di riscaldamento futura. Secondo lo scenario E1, la riduzione della domanda di riscaldamento è inferiore, e si attesta intorno a -11 Mtep al 2050 e a -13 Mtep al 2100. Anche in questo caso, i modelli climatici considerati mettono in evidenza grandi variazioni tra le regioni d'Europa, con le maggiori riduzioni in Europa occidentale.

A livello europeo, anche se le riduzioni dei consumi per il riscaldamento saranno molto più alte degli aumenti dei consumi per il raffrescamento, la minore efficienza e il maggior costo della conversione della domanda energetica in consumi di energia finale che caratterizza le tecnologie di raffrescamento rispetto a quelle di riscaldamento farà sì che l'incremento dei costi per il raffrescamento sia dello stesso ordine di grandezza della riduzione dei costi per il riscaldamento; nei paesi dell'Europa meridionale, invece, l'incremento dei costi per il raffrescamento supererà di gran lunga i risparmi relativi al riscaldamento.

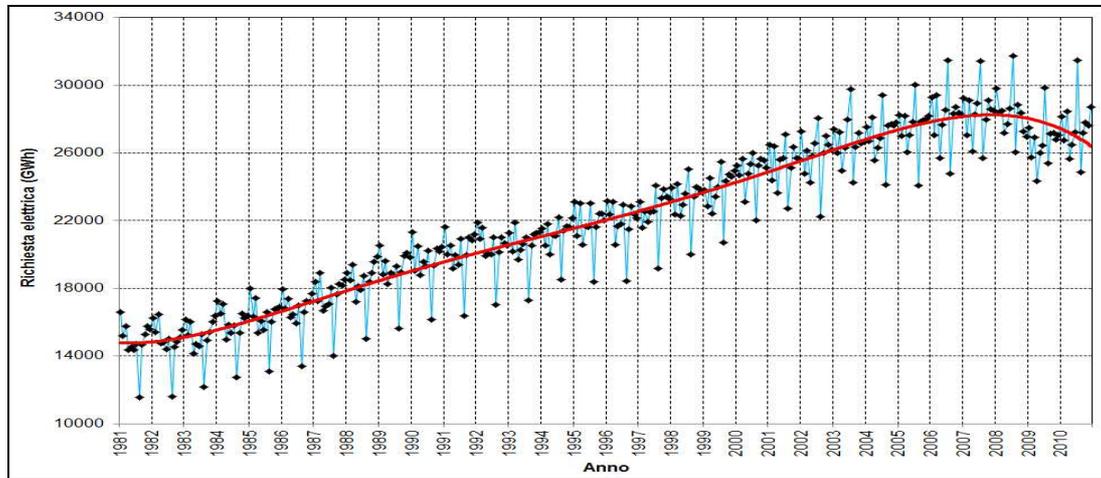
## **Impatti sulla domanda di energia elettrica**

E' noto che le stime delle variazioni climatiche sono affette da incertezze (Giorgi, 2005) ascrivibili al grande spread tra i modelli climatici, i cui risultati cambiano anche a seconda degli scenari emissivi ipotizzati. Infatti, le proiezioni per la fine del secolo, ottenute dai modelli climatici globali (GCM), indicano un riscaldamento termico sull'Italia di 3-5 °C a seconda dello scenario emissivo considerato (Faggian e Giorgi, 2009). I modelli regionali (RCM) di ultima generazione (data-base ENSEMBLES) certamente più adatti, per la maggior risoluzione spaziale, a fornire stime sul territorio nazionale, evidenziano che già per le prossime decadi è atteso un riscaldamento di circa 1 °C nella stagione estiva (minore nelle altre stagioni), soprattutto sull'Italia meridionale. C'è quindi il rischio che si aggravino le condizioni estive già critiche per le alte temperature e la ridotta disponibilità idrica su gran parte delle nostre regioni (Faggian e Ronzio, 2012).

A seguito di tali considerazioni e prendendo atto di un aumento delle temperature e della frequenza degli eventi meteorologici estremi è certamente giustificato, ed oltremodo opportuno, studiare l'impatto dei mutamenti climatici sulla domanda di energia elettrica.

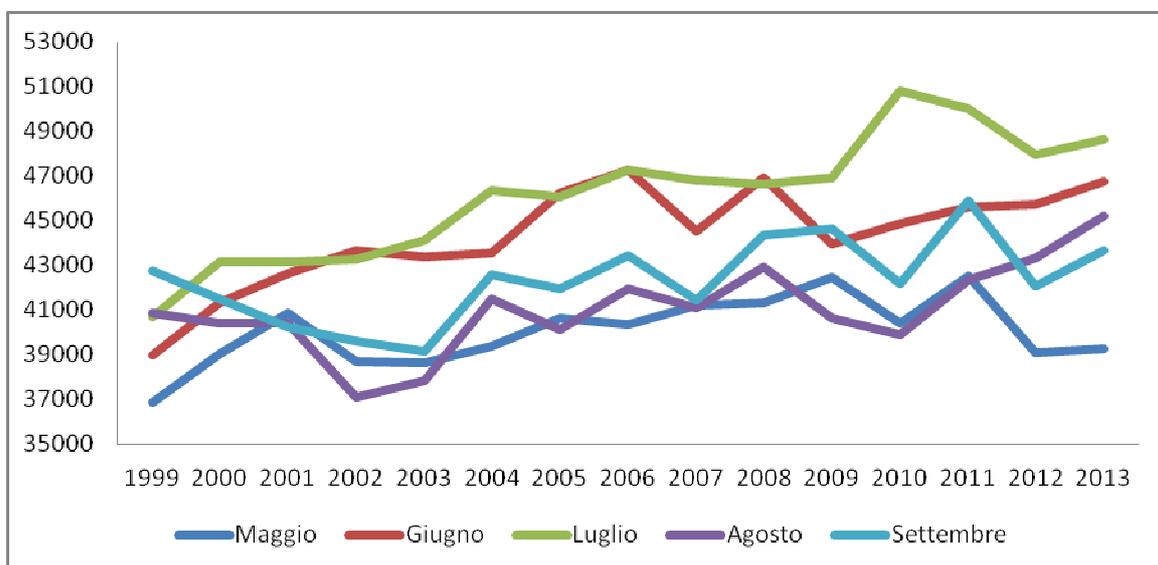
I cambiamenti climatici previsti per l'area del Mediterraneo avranno l'effetto di incrementare molto i consumi elettrici nella stagione estiva e di ridurre quelli della stagione invernale (Gaudio e Masullo, 2009; Alcamo et al., 2007; Apadula et al., 2008). E' già noto che il profilo annuale della domanda di energia elettrica (Figura 2.21) ha subito, in poco più di un decennio, una sostanziale modifica nei suoi valori massimi che si verificano ormai sistematicamente nella stagione estiva invece che, come in passato, in quella invernale (Apadula et al., 2012). Questo trend è inoltre

influenzato dall'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore, come quelle sviluppatesi nel corso dell'estate del 2003, che hanno provocato, oltre a numerose vittime, un rilevante aumento della richiesta elettrica (Apadula et al., 2012; 2008).



**Figura 2.21:** Andamento della domanda elettrica mensile nazionale. La curva di regressione polinomiale evidenzia in modo chiaro la crisi economica registratasi a partire dalla fine del 2008 (Fonte: Terna S.p.A.).

La domanda elettrica estiva, infatti, risente molto dell'utilizzo esteso e diversificato dei sistemi di condizionamento il cui uso, a partire dagli anni '90, ha registrato una continua crescita (Gaudio et al., 2009). Il risultato ovvio di tale intensificato uso finale di energia elettrica, a solo scopo di raffrescamento degli ambienti interni, produce un continuo aumento della richiesta di energia elettrica che si manifesta, ormai, anche in condizioni climatiche invariati (Figura 3.21).



*Figura 3.21: Punta oraria di fabbisogno di energia elettrica nei mesi estivi (Fonte: Elaborazione ISPRA su dati TERNA S.p.A.).*

E' pertanto facilmente prevedibile, date le proiezioni climatiche attese per il XXI secolo, che la richiesta estiva sarà in sostanziale continuo aumento con anche probabili rischi di blackout dovuti al carico di punta estivo. Per il periodo invernale, si prevede invece che i consumi elettrici possano ridursi a causa dell'utilizzo meno intensivo dei sistemi di riscaldamento di tipo elettrico. Questo calo potrebbe essere parzialmente compensato dall'incremento della domanda di energia elettrica legato alle misure di incentivazione dell'utilizzo delle pompe di calore per il riscaldamento, che determinerebbero una conversione al vettore elettrico di consumi termici.

## **Impatti sulla produzione di energia elettrica**

### *Impatti sulla produzione termoelettrica*

La capacità produttiva degli impianti termoelettrici potrebbe essere influenzata negativamente da alcuni fenomeni legati ai cambiamenti climatici, come inondazioni, riduzioni nella disponibilità di acqua di raffreddamento e aumento della sua temperatura e, infine, temperature estreme. Alcuni di questi rischi sono risultati evidenti all'opinione pubblica anche in Italia. Infatti, nelle ultime estati, in coincidenza con periodi siccitosi si sono verificati problemi al funzionamento di alcune centrali – soprattutto lungo il Po – ed in qualche caso ci sono stati anche rischi di interruzione della fornitura.

Le infrastrutture energetiche situate in zone particolarmente vulnerabili, quali ad esempio le centrali e le sottostazioni elettriche, dovranno far fronte all'aumento del numero di eventi di allagamento, con sensibili conseguenze per la continuità del servizio e dell'approvvigionamento energetico. La frequenza dei disservizi e le difficoltà del settore energetico risulteranno sempre più connesse all'aumento degli eventi estremi meteorologici. E' noto, infatti, che la frequenza e l'intensità di tali eventi estremi sono previste in aumento, prospettando, di conseguenza, maggiori eventi alluvionali e, nelle zone costiere, un ulteriore apporto ai problemi determinati dall'aumento del livello del mare.

Anche i fenomeni siccitosi potranno risultare particolarmente severi, prospettando maggiori difficoltà di reperimento di acque per il raffreddamento delle centrali termoelettriche. A tal riguardo si precisa che, dall'entrata in vigore della Legge n. 183 del 18 maggio 1989, che ha introdotto il concetto di deflusso minimo vitale (DMV), e delle leggi per la tutela delle acque dall'inquinamento (Legge n. 319 del 10 maggio 1976, D.lgs. 152/06 e successivi aggiornamenti), gli scarichi di acqua di raffreddamento provenienti dalle centrali sono sottoposti a controlli, al fine di garantire una differenza massima tra la temperatura di ingresso e quella di uscita, oppure di assicurare che la temperatura di uscita degli scarichi resti all'interno di fissati intervalli di variazione. Un'alternativa a questo approccio consiste nell'imporre vincoli sulla quantità massima di acqua utilizzata.

Le variazioni climatiche attese sul nostro territorio potranno innalzare, in dipendenza della particolare posizione geografica, la temperatura dell'acqua di raffreddamento in ingresso agli impianti, sia essa di origine marina oppure fluviale. Allorché si dovesse presentare uno scenario di questo tipo le centrali avrebbero bisogno di una maggiore quantità di acqua per garantire sia la loro operatività, sia il rispetto della normativa vigente. Qualora questa maggiore richiesta non potesse essere soddisfatta, l'alternativa consisterebbe in un funzionamento a capacità ridotta oppure nell'arresto dell'impianto produttivo con ovvie e non trascurabili conseguenze economiche, in termini sia di riduzione dei ricavi, sia di aumento dei costi di produzione.

In corrispondenza di prolungati periodi di siccità il livello delle acque dei corpi idrici potrebbe risultare assolutamente inadeguato per raffreddare i macchinari e gli impianti, imponendo, di conseguenza, il blocco delle attività produttive al fine di evitare fenomeni di surriscaldamento. Questi mutamenti climatici potranno, pertanto, influenzare in particolar modo le centrali a combustibili fossili raffreddate con acqua fluviale. Infine, non bisogna sottovalutare l'evenienza che questo tipo di fenomeni possano verificarsi anche contemporaneamente, come già accaduto nel corso dell'estate del 2003, caratterizzata da eventi di lunga durata che hanno interessato l'area dell'Europa occidentale e centrale. In quell'occasione, le uniche centrali termoelettriche che restarono operative furono soltanto quelle dotate di torri di raffreddamento.

In un interessante articolo di recente pubblicazione (van Vliet et al., 2012), si è stimato che la capacità di produzione delle centrali termoelettriche in Europa potrebbe ridursi sensibilmente (tra il 6,3% e il 19%) nel trentennio 2031-2060, in base sia ai sistemi di raffreddamento utilizzati, sia allo scenario climatico considerato. Tali stime sono state ottenute impiegando: un modello idrologico a macro-scala per le portate dei fiumi; un modello monodimensionale per le temperature fluviali; entrambi in combinazione con un modello per la produzione elettrica. Si è stimato che la probabilità di una sostanziale riduzione della produzione di energia termoelettrica, superiore al 90%, è in media tre volte maggiore.

Infine, gli impianti localizzati in regioni interne dei paesi mediterranei potranno risultare maggiormente soggetti al fenomeno atmosferico dell'inversione termica. Tale fenomeno tende ad intrappolare le emissioni degli inquinanti provenienti dagli impianti in prossimità del suolo, provocando episodi di inquinamento che inducono l'autorità di controllo competente ad imporre misure restrittive al funzionamento degli stessi.

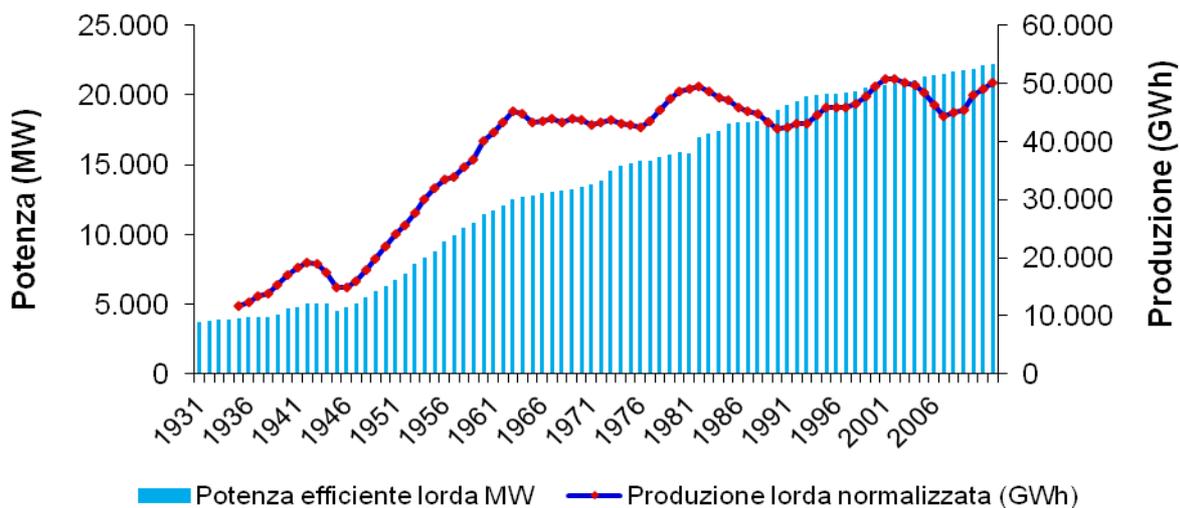
Per quanto riguarda le tipologie di impianti diverse dalle centrali a vapore, si segnala che, nella stagione estiva, temperature particolarmente alte possono ridurre l'efficienza dei cicli combinati con turbine a gas naturale (CCGT), dal momento che si riduce la densità dell'aria alimentata alle turbine; questo avviene, per di più, proprio nella stagione in cui l'utilizzo di questi impianti è massimo (e tende nel tempo ad aumentare) per coprire i picchi di domanda dovuti ai condizionatori (Hewer, 2006). Si segnala peraltro che, mentre il ruolo degli impianti termoelettrici tradizionali rispetto al soddisfacimento della domanda di energia elettrica tende a ridursi progressivamente per la crescita dei contributi degli impianti CCGT e di quelli alimentati da fonti

rinnovabili, quello degli impianti CCGT tende ad aumentare per la loro flessibilità, che ne permette l'utilizzo anche come backup del fotovoltaico.

## *Impatti sulla produzione da fonti rinnovabili*

### *Produzione idroelettrica*

La produzione idroelettrica in Italia è stata per lungo tempo la principale fonte di energia per il nostro paese, rappresentando fino all'80-90% della produzione complessiva. Oggi, tuttavia, essa copre circa il 15% della domanda energetica nazionale, nonostante la potenza idroelettrica disponibile sia significativamente aumentata (Figura 4.21). Tra il 2010 ed il 2011 la numerosità degli impianti è aumentata del 6% e la maggior parte di essi appartiene alla classe di potenza inferiore o uguale a 1 MW. Rispetto al parco impianti rinnovabile italiano, il peso della potenza idroelettrica installata in questi anni è diminuito per il notevole aumento dell'incidenza della potenza solare (GSE, 2013).



*Figura 4.21: Produzione idroelettrica lorda e capacità installata in Italia fino al 2012 (Fonte: Elaborazione ISPRA su dati TERNA S.p.A.).*

Sulla produzione idroelettrica incidono le variazioni meteo-climatiche che hanno portato e porteranno nel tempo ad una riduzione delle disponibilità idriche e ad una maggiore difficoltà nella loro gestione. In particolare, la fusione delle masse glaciali e dei nevai perenni causata dall'aumento della temperatura porterà, nel breve periodo, molta acqua alle turbine delle centrali ma, a medio-lungo termine, comporterà un'importante diminuzione nella disponibilità di questa importante risorsa. Mentre sinora l'andamento delle precipitazioni, in particolare sul Nord Italia, non presenta un trend significativo (Brunetti et al., 2006), per il futuro ci si attende una sensibile

riduzione delle precipitazioni, in particolare, nella stagione estiva (Faggian et al., 2009). Tale variazione dei regimi pluviometrici potrà avere un impatto notevole su questa primaria risorsa di energia rinnovabile, dal momento che la produzione di energia idroelettrica è concentrata nelle regioni settentrionali: nel 2012, il 79,8% degli impianti e il 75,7% della potenza installata (GSE, 2013).

Le variazioni meteo-climatiche non sono, però, la sola causa che ha inciso sulla diminuzione della produzione idroelettrica. L'introduzione della normativa sul deflusso minimo vitale, finalizzata a proteggere i corsi d'acqua soggetti a prelievi per produzione idroelettrica da eventuali compromissioni di natura ecologica, costituisce infatti un elemento non trascurabile nel computo della riduzione della produzione: la perdita energetica idroelettrica totale per applicazione del DMV è stata valutata in circa il 9% del totale installato per la Lombardia, mentre per la Valle d'Aosta si potrebbe arrivare oltre il 16% (Alterach et al., 2008).

La produzione idroelettrica dipende da due fattori principali: dalla disponibilità di acqua da turbinare e dalla domanda di energia elettrica nel mercato. Entrambi questi fattori sono intrinsecamente legati agli scenari di sviluppo e ai cambiamenti climatici attesi. Lo studio degli effetti dei cambiamenti climatici sulla produzione idroelettrica risulta complicato dal fatto che i processi fisici rilevanti si svolgono ad una scala di bacino idrografico mentre le proiezioni climatiche fornite dai modelli sono relative ad una scala globale, caratterizzate quindi da una bassa risoluzione spaziale. Ciò, oltre a rendere necessaria un'operazione di regionalizzazione (downscaling), in genere già disponibile in vari centri di eccellenza in ambito europeo, impedisce di svolgere uno studio generalizzato sull'intero parco di produzione idroelettrico e impone lo studio di dettaglio di casi studio (vedi casella di approfondimento sul Progetto ACQWA) che si ritengono esemplificativi o particolarmente significativi. Inoltre la varietà dei processi rilevanti rende necessaria l'adozione di un approccio multidisciplinare in grado di coprire tutti gli aspetti del problema (si può fare riferimento, ad esempio, all'esperienza del progetto SHARE - Sustainable Hydropower in Alpine Rivers Ecosystem<sup>319</sup>, un progetto finanziato nell'ambito dell'Iniziativa comunitaria Interreg IIIB, programma Spazio Alpino 2007-2013, che ha coinvolto amministrazioni ed istituzioni scientifiche di Austria, Francia, Germania, Italia e Slovenia).

Si osserva in generale una forte variabilità annuale: anni siccitosi seguiti da altri con portate abbondanti; questa variabilità è presente tanto negli afflussi quanto nella generazione di energia. La diminuzione della produzione è più evidente in quegli impianti che non possiedono un invaso di accumulo, detti impianti ad acqua fluente.

La differente distribuzione mensile della produzione è causata dalla differente incidenza della componente nevosa. Attualmente le precipitazioni nevose creano un accumulo sufficiente ad essere sfruttato da questa tipologia di centrali nel periodo primaverile, quando si crea deflusso a causa dello scioglimento della neve. Gli effetti delle variazioni negli afflussi sono meno evidenti

---

<sup>319</sup> SHARE project: <http://www.share-alpinerivers.eu/>.

per gli impianti che possiedono un invaso (detti a serbatoio), il cui volume permette una gestione della centrale più flessibile grazie al possibile accumulo d'acqua nei periodi dell'anno in cui questa abbonda.

Dall'analisi dei risultati del progetto europeo ACQWA<sup>320</sup> si evidenzia una generale incertezza degli impatti dei cambiamenti climatici nelle regioni montuose, soprattutto a livello locale, poiché le proiezioni climatiche possono risultare differenti. I risultati però concordano nella previsione di una maggiore variabilità della disponibilità idrica ed una conseguente crescita dei conflitti legati alla gestione della stessa.

Per far fronte a tali condizioni l'attuale modello di gestione delle acque dovrà essere presumibilmente aggiornato, con l'introduzione di meccanismi flessibili per mitigare gli effetti di condizioni idrologiche estreme, arrivando così alla definizione di un modello di gestione adattativo delle risorse idriche.

#### **Progetto ACQWA - Assessing Climate Impacts on the Quantity and quality of Water**

Il Progetto Europeo ACQWA ha l'obiettivo di valutare gli impatti dei cambiamenti climatici nelle regioni montuose, con particolare attenzione alla quantità e qualità delle acque. Il tema degli impatti dei cambiamenti climatici attesi sulla gestione degli impianti idroelettrici è trattato da RSE S.p.A., in collaborazione con l'Università di Ginevra, CVA S.p.A. ed ENEL S.p.A., per il territorio della Regione Valle d'Aosta. Ai fini di questa valutazione, è stato messo a punto un modello semplificato del sistema idroelettrico regionale, che comprende 17 grandi impianti idroelettrici (5 impianti a serbatoio collegati a invasi di grande capacità, 6 impianti a bacino con bacino di modulazione settimanale o giornaliero e 6 impianti ad acqua fluente) e rappresenta in maniera schematica la rete reale di serbatoi e canali di derivazione delle acque.

Partendo dai dati di temperature e precipitazioni forniti da un modello di circolazione globale, il Max Planck Institute di Amburgo, partner del progetto, ha fornito i dati regionalizzati ad alta risoluzione prodotti con il modello REMO. Successivamente l'ETH di Zurigo, attraverso l'utilizzo di un modello idrologico stocastico, ha permesso di disporre delle portate disponibili alle prese idroelettriche secondo diverse realizzazioni statistiche dello scenario climatico preso in considerazione per l'intervallo temporale dal 2001 al 2050 (scenario climatico A1B).

Per simulare la gestione degli impianti si è utilizzato il modello SOLARIS (Maran et al., 2011) che a partire dalle serie temporali di afflussi (rappresentativi della disponibilità idrica) e dai prezzi dell'energia elettrica (rappresentativi della domanda di energia), individua la gestione dei serbatoi e degli impianti idroelettrici in modo da massimizzare il valore dell'energia prodotta. Ad oggi sono studiati gli effetti sulla gestione della produzione idroelettrica della rete considerando la sola variabile afflussi: in prima istanza si è scelto di mantenere costante l'altra variabile del processo ossia la domanda di energia elettrica.

---

<sup>320</sup> ACQWA: <http://www.acqwa.ch>; REMO: <http://www.remo-rcm.de/The-REMO-model.1190.0.html>.

Dallo studio emergono differenti risultati per le diverse tipologie di impianto. Per esempio, nel caso di un impianto ad acqua fluente si osserva una diminuzione della produzione del 20% nei mesi primaverili ed estivi, mentre si nota un aumento della stessa, rispetto ai valori attuali, del 20-30% in autunno. Globalmente, si stima una diminuzione della produzione annuale di circa il 18%. La differente distribuzione della produzione è causata dalla differente incidenza della componente nevosa.

Altra conseguenza del variato regime di afflussi si riscontra nell'aumento dei giorni di fermo impianto, i giorni cioè in cui non si ha acqua a sufficienza per permettere all'impianto di funzionare. Le previsioni future mostrano una differente modulazione annuale delle ore di inattività e comunque un loro aumento in ogni mese dell'anno: nel mese di agosto si nota una inutilizzazione pressoché totale degli impianti ad acqua fluente (percentuale di ore di inattività superiore al 95%).

L'analisi ha permesso, inoltre, di analizzare il deficit idrico della valle dal quale si nota una maggiore difficoltà nel rispettare i vincoli e i diritti d'uso della risorsa oggi vigenti (Figura 6.21). Tra questi vincoli vi sono il rilascio del minimo deflusso vitale (DMV) dalle prese delle centrali e le concessioni agricole storicamente presenti. La causa di ciò è da ricercarsi nella variabilità dell'apporto d'acqua lungo l'arco dell'anno; l'aumento del deficit idrico porterà ad un aumento dei conflitti tra i portatori d'interesse sulla risorsa ossia (ad. es. tra i gestori idroelettrici, gli agricoltori e le esigenze di protezione ambientale).

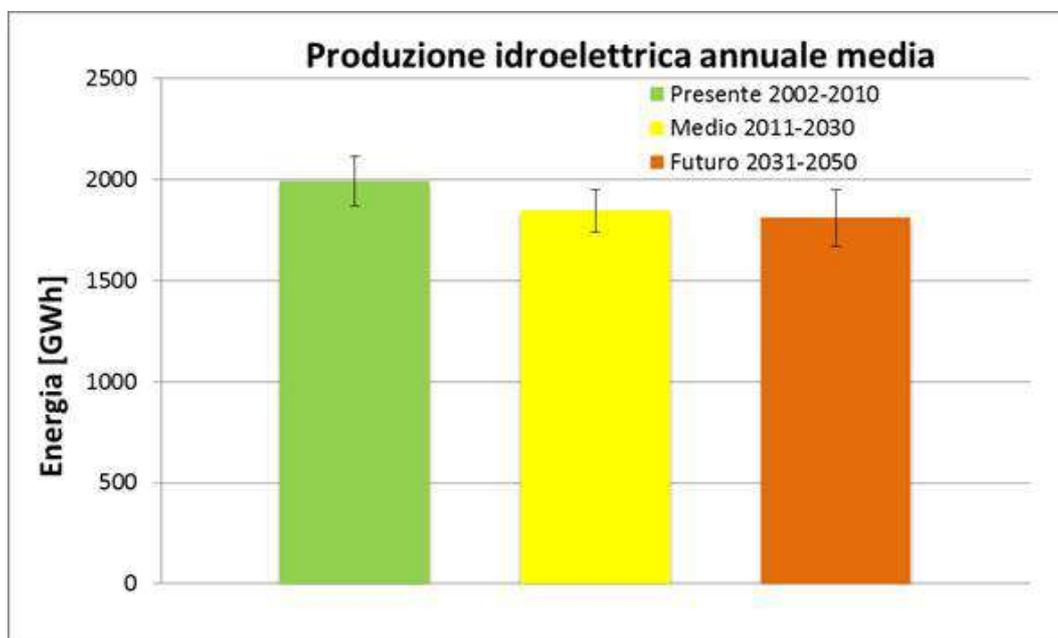
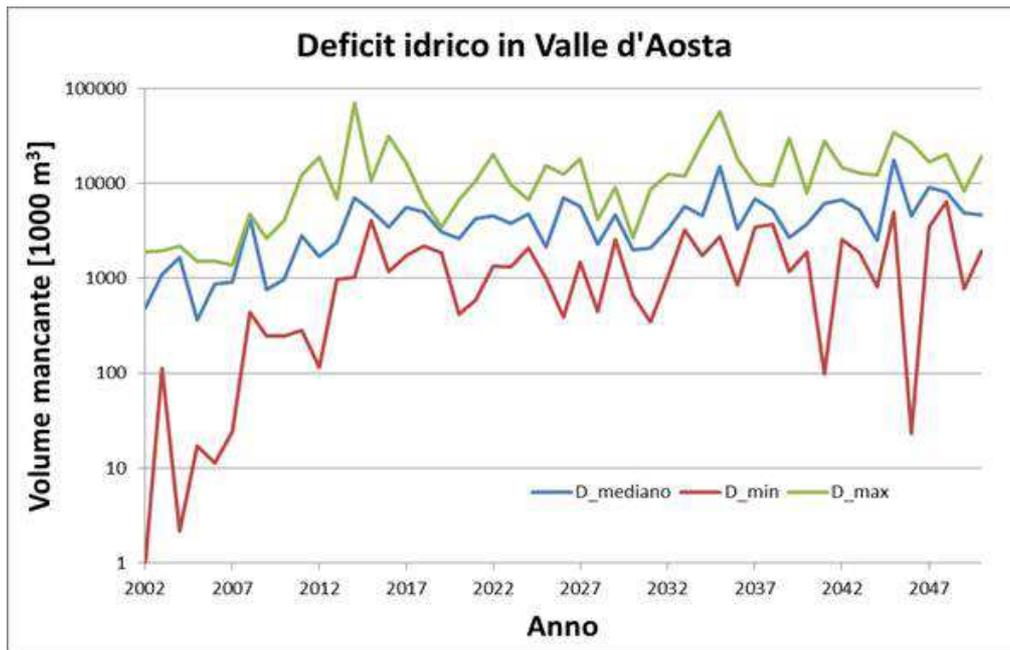


Figura 5.21: Energia annualmente prodotta nella rete simulata (Fonte: Faggian et al., 2012).



**Figura 6.21:** Volume idrico necessario a soddisfare tutti i vincoli esistenti (si noti la scala logaritmica delle ordinate)  
(Fonte: Faggian et al., 2012).

### *Produzione di energia elettrica da impianti eolici (onshore e offshore)*

In linea di principio, l'energia eolica è molto sensibile a possibili modifiche delle condizioni atmosferiche: il regime dei venti regola infatti la densità di energia nel vento e quindi la potenza che può potenzialmente essere sfruttata dagli impianti eolici. Con il riscaldamento del pianeta, anche il regime dei venti subirà modifiche significative. In particolare, si ridurranno l'energia cinetica, e con essa l'intensità del vento, legate alla grande circolazione delle masse d'aria, associata ai cicloni ed anticicloni dinamici che presiedono agli scambi energetici tra le basse e le alte latitudini; aumenteranno invece l'energia cinetica e l'intensità del vento legate alla circolazione termica delle masse d'aria, associata agli scambi di energia tra mare e terra o tra continenti ed oceani (per esempio monsoni e brezze) ed alla formazione di fenomeni termo convettivi delle basse latitudini (ad es., cicloni tropicali, tornado e temporali) (European Commission, 2011).

La risorsa eolica dipende in gran parte dai percentili superiori della distribuzione di velocità del vento, e questa dipendenza viene ulteriormente amplificata dalla relazione non lineare tra la velocità del vento incidente e la produzione di energia da una turbina eolica (Pryor e Barthelmie, 2010). Dato che l'energia del vento è funzione del cubo della velocità del vento, un piccolo cambiamento del regime dei venti può avere conseguenze notevoli per la risorsa elettrica di origine eolica: per una variazione della velocità del vento all'altezza del mozzo della turbina pari a 5,0-5,5 m/s (cioè un cambiamento del 10%), la densità di energia aumenta di oltre il 30%. Il regime dei venti condiziona inoltre la progettazione e il funzionamento delle turbine eoliche, in particolare per quanto riguarda le sollecitazioni indotte da eventi meteorologici estremi (ESPON, 2010).

Pryor e Barthelmie (2010) hanno condotto una review della letteratura sugli impatti dei cambiamenti climatici sugli impianti eolici in varie parti del mondo, che ha preso in esame studi basati su modelli AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) o su valutazioni di tipo empirico. I risultati di questi studi sono però contraddittori, e suggeriscono comunque che questo tipo di impatti sarà di entità minore di quello previsto per altre tecnologie energetiche, e si manifesterà su tempi abbastanza lunghi (più di 50 anni). Per l'Europa, le indicazioni provenienti dal downscaling di modelli AOGCM suggeriscono che, entro la fine del secolo, la densità di energia del vento nel periodo invernale potrebbe aumentare nell'Europa settentrionale, ma ridursi in quella meridionale; le variazioni sarebbero comunque trascurabili rispetto alla variabilità naturale.

Per quanto riguarda il funzionamento delle turbine eoliche, l'unico impatto di entità rilevante dovrebbe essere quello legato all'intensificazione degli eventi con velocità del vento particolarmente elevate. Per gli impianti off-shore, non bisogna trascurare l'effetto combinato sulle fondamenta della torre del vento e delle onde, che a loro volta possono essere influenzati dalle modifiche nella circolazione atmosferica.

### *Produzione di energia da biomasse*

Per produrre energia dalle biomasse si possono utilizzare diverse tipologie di materie prime e di tecnologie di conversione. La biomassa può essere bruciata in impianti dedicati costituiti da centrali elettriche nelle quali il calore prodotto dalla combustione della biomassa in una caldaia può essere utilizzato per produrre energia elettrica mediante una turbina a vapore, un motore o un sistema di produzione combinata di calore ed energia (CHP), in cui il calore di scarto recuperato è utilizzato in un'applicazione economica (IEA Bioelectricity, 2009). La biomassa può anche essere bruciata in co-combustione in proporzioni diverse (di solito fino a 25-30 %), con i combustibili fossili in normali impianti termoelettrici: la biomassa solida (principalmente residui di legno e agricolo) con carbone e gli oli vegetali in centrali a gas. Altre opzioni emergenti per la produzione di elettricità da biomassa sono i sistemi di recupero energetico dai rifiuti, gli impianti di digestione anaerobica e quelli di gassificazione (IEA Bioelectricity, 2009).

La conversione energetica delle biomasse utilizza quindi, in generale, processi termici simili a quelli convenzionalmente usati per la produzione di energia elettrica a partire da combustibili fossili. L'impatto dei cambiamenti climatici su queste tecnologie è quindi analogo a quello descritto con riferimento alla produzione termoelettrica. Si segnala, in particolare, che molti di questi impianti sono raffreddati ad aria, e quindi la loro produzione deve essere ridotta in presenza di forti aumenti della temperatura dell'aria, che compromettano il raffreddamento degli impianti.

Per quanto riguarda l'approvvigionamento delle biomasse, si può osservare in via del tutto generale che la produzione di biomasse sul territorio nazionale è destinata ad essere influenzata dai mutamenti delle condizioni climatiche, che stanno già determinando uno spostamento della

distribuzione della vegetazione, come è stato messo in evidenza dal progetto Europeo CIRCE<sup>321</sup>; questo rappresenta un ulteriore elemento di incertezza nella valutazione del potenziale teorico relativo alla produzione energetica nazionale da biomasse (Gissi et al., 2011). Per un approfondimento di questa tematica si rinvia al capitolo di questo documento dedicato alle foreste.

### *Produzione di energia elettrica fotovoltaica*

Solo pochi studi valutano l'impatto dei cambiamenti climatici sui sistemi fotovoltaici, essenzialmente perché si tratta di una tecnologia il cui sviluppo è abbastanza recente. Dal punto di vista costruttivo, per i pannelli fotovoltaici montati su tetti o integrati nell'edilizia gli impatti negativi, legati ad esempio ad un aumento della velocità del vento durante i temporali, dovrebbero essere relativamente piccoli. I grandi impianti fotovoltaici costruiti a terra senza uso agricolo nell'Europa meridionale possono essere vulnerabili ai venti di forte intensità, ma questo problema può essere affrontato attraverso lievi modifiche di progettazione per la struttura di sostegno.

Dei pochi studi disponibili che analizzano gli impatti dei cambiamenti climatici sul funzionamento dei sistemi fotovoltaici su base regionale, quello più interessante per l'Italia si riferisce alla Croazia (Pašičko et al., 2012). Per quanto riguarda l'efficienza delle celle fotovoltaiche, lo studio giunge alla conclusione che, per le celle a base di silicio cristallino, per ogni aumento di temperatura di 1°C, l'efficienza della cella diminuisce dello 0,4-0,5% in termini relativi (la variazione dipende anche dalle caratteristiche tecnologiche della cella, come efficienza, potenza, corrente, tensione). Per l'Italia, secondo stime RSE di prossima pubblicazione, la temperatura ambiente potrebbe aumentare nel periodo 2041-2050 fino a 2° C in estate e da 1,2 a 1,5 ° C nelle altre stagioni, rispetto ai dati di riferimento del periodo 1981-1990. Se si ipotizza un aumento 'efficace' della temperatura di 1,5° C per il nostro Paese – un dato che tiene conto del fatto che gran parte dell'energia solare è irraggiata in estate, rispetto alle altre stagioni – l'efficienza delle celle solari nella regione sarebbe destinata a ridursi di una percentuale pari allo -0,75%, passando quindi dal 15% al 14,25%.

L'irraggiamento solare, che è dato dalla somma della radiazione diretta e di quella diffusa, è influenzato dalla copertura nuvolosa. Nel Mediterraneo, l'irraggiamento solare potrebbe aumentare del 5-10% in estate e in autunno, e potrebbe variare tra il -2% e il +8% in primavera. Pertanto, nei paesi della regione l'aumento medio della radiazione solare – e quindi della resa delle celle – può essere assunto pari al 7% come valore medio annuale.

In conclusione, secondo i limitati dati disponibili, l'incremento della produzione dei sistemi fotovoltaici legato all'aumento della radiazione solare supererebbe di gran lunga il calo dovuto alla riduzione di efficienza delle celle provocata dalla crescita delle temperature.

---

<sup>321</sup> CIRCE: <http://www.circeproject.eu>.

## **Impatti sulla trasmissione e sulla distribuzione di energia elettrica**

Le condizioni climatiche influenzano il funzionamento delle reti elettriche attraverso i venti, i temporali, gli episodi di siccità e le inondazioni. Nell'area del Mediterraneo, gli impatti potenziali più significativi saranno quelli dovuti all'aumento delle temperature e ai fenomeni di siccità. Per ogni grado di aumento della temperatura, la capacità dei trasformatori può ridursi fino all'1%, mentre la resistenza dei cavi di rame aumenta all'incirca dello 0,4%; nell'insieme, la capacità di una rete si riduce dell'1% circa per ogni grado centigrado di aumento della temperatura. Secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, in una rete con perdite iniziali dell'8%, le perdite possono aumentare dell'1% se la temperatura cresce di 3°C. L'aumento delle temperature massime esercita inoltre un effetto negativo sulla flessione delle linee elettriche e sull'efficienza dei compressori dei gasdotti (López-Zafra et al., 2005).

Per i cavi aerei, con l'aumento delle temperature minime si riduce l'effetto positivo delle basse temperature rispetto allo smaltimento del calore prodotto. In ogni caso, la dissipazione di calore non è influenzata tanto dalla temperatura quanto dalla velocità e dalla direzione del vento. I problemi di dissipazione del calore prodotto possono sussistere quando vi sono condizioni di calma di vento con la linea utilizzata al limite della intensità di corrente trasportabile, mentre allorché si è in presenza di venti da deboli a forti e soprattutto per direzioni del vento ortogonali alla linea di trasporto la dispersione di calore è altamente favorita. Per i cavi sotterranei, la capacità di trasporto diminuisce con l'aumento delle temperature ambientali e con la riduzione dell'umidità del suolo (Hewer, 2006) ed è quindi influenzata dagli episodi di siccità. Tutti questi effetti, combinati, si aggiungono all'incertezza complessiva degli impatti dei cambiamenti climatici sulla gestione della domanda e dell'offerta di energia elettrica.

## **Valutazioni di rischio e di vulnerabilità**

A livello nazionale, nessuna valutazione di rischio e/o di vulnerabilità relativa al settore energetico o a specifici impianti ha finora preso in esame gli impatti dei cambiamenti climatici. Un'indagine svolta a livello europeo mediante questionari inviati a diversi operatori del settore, integrati da dati di letteratura, ha identificato i fattori di impatto più rilevanti per le diverse tecnologie (European Commission, 2011). I risultati dell'indagine sembrano in linea di massima applicabili anche al nostro Paese (con l'ovvia esclusione delle tecnologie non più utilizzate, come il nucleare).

Impatto cc Tecnologia	$\Delta$ temp. aria	$\Delta$ temp. acqua	$\Delta$ precipi tazioni	$\Delta$ velocità vento	$\Delta$ livello mare	Inondazioni	Ondate di calore	Temporalità
Nucleare	1	2				3	1	
Idroelettrico			2			3		1
Vento onshore				1				1
Vento offshore				1	3			1
Biomassa	1	2				3		
Fotovoltaico							1	1
Solare a concentrazion e						1	1	1
Geotermia						1		
Gas naturale	1	2				3	1	
Carbone	1	2				3	1	
Olio combustibile	1	2				3	1	
Reti	3						1	3

**Nota:** 3 = impatto severo; 2 = impatto medio; 1 = impatto lieve

*Tabella 1.15: Impatto del cambiamento dei parametri climatici sulle diverse tecnologie energetiche (Fonte: Commissione Europea, 2011a).*

## Verso l'individuazione di azioni di adattamento per il settore energetico

La vulnerabilità ai cambiamenti climatici del settore energetico dipende, da un lato, dalla elevata sensibilità della produzione e del consumo di energia rispetto all'andamento delle temperature e ai fenomeni estremi e, dall'altro, dalla severità dei requisiti ai quali devono rispondere i servizi energetici, in termini quantitativi e qualitativi, in particolare per quanto riguarda la loro continuità. La regolarità del funzionamento dei sistemi energetici è di interesse primario per l'intera collettività, e va pertanto garantita attraverso interventi nella progettazione e nella gestione di questi sistemi.

Molte infrastrutture energetiche sono peraltro caratterizzate da una vita media abbastanza lunga (vedi Tabella 2.21), e questo fa sì che esse siano particolarmente esposte ai cambiamenti a lungo termine. E' quindi necessario che, soprattutto nel caso di infrastrutture a lunga vita media che comportano elevati investimenti, si tenga conto dei cambiamenti climatici a partire dalle fasi iniziali del progetto, attraverso l'utilizzo di opportuni criteri di progettazione e l'adozione di misure tecnologiche specifiche. Questo vale, in particolare, per le opere soggette a VIA, per le quali gli studi di impatto ambientale dovrebbero prendere obbligatoriamente in considerazione i mutamenti prevedibili nelle condizioni climatiche di riferimento, almeno per un periodo corrispondente alla vita media dell'opera, attraverso la definizione di un Indice di Rischio Climatico - Climate Risk Index. In questo modo si aumenta la resilienza dell'intervento e si

promuove il “climate proofing” degli investimenti, auspicato dalla Commissione Europea nella Strategia Europea per l’Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Commissione Europea, 2013a).

<b>Tecnologie</b>	<b>Vita media (anni)</b>
Infrastrutture di produzione di energia idroelettrica	90
Infrastrutture di produzione di energia elettrica alimentate a carbone	50
Infrastrutture di trasmissione e distribuzione dell’energia elettrica	45
Gasdotti e oleodotti	40
Impianti eolici	20
Pannelli fotovoltaici	20

*Tabella 2.21: Vita media delle infrastrutture energetiche (Fonte: Holm, 2010).*

Se si tiene conto in particolare del fatto che, negli ultimi tempi, la maggior parte di queste opere viene realizzata attraverso finanziamenti privati, e in alcuni casi facendo ricorso a finanziamenti di soggetti terzi, come fondi pensione, compagnie di assicurazione e banche di sviluppo, risulta evidente che tener conto dei cambiamenti climatici nella progettazione delle infrastrutture è essenziale per garantire la loro resilienza nelle diverse condizioni che possono verificarsi, il che corrisponde anche ad un’importante forma di garanzia degli investimenti privati nel settore. La costruzione di scenari di impatto per le infrastrutture energetiche dovrebbe quindi essere promossa come elemento centrale delle strategie del settore (Faggian et al., 2013).

## **Azioni di adattamento intraprese**

### *Azioni per specifiche tecnologie*

#### *Domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento*

I criteri di costruzione applicati nella nuova edilizia hanno raggiunto buoni valori di efficienza nel risparmio energetico per ciò che concerne l’uso del riscaldamento, mentre i medesimi criteri conducono a deboli svantaggi nell’utilizzo dei sistemi di raffrescamento. Gli edifici di nuova concezione portano, in genere, a sostanziali risparmi energetici nell’uso del riscaldamento, sia esso prodotto da energia elettrica oppure da altre fonti, e a moderati aumenti della richiesta elettrica nell’uso del raffrescamento (Madonna, 2012).

## *Produzione termoelettrica*

Per quanto riguarda gli impianti termoelettrici, le valutazioni di rischio e di vulnerabilità stanno diventando una pratica corrente da parte dei gestori. Esse sono condotte, in genere, nelle fasi di progettazione e di installazione degli impianti, e devono tenere conto, in particolare, degli effetti di possibili aumenti delle temperature atmosferiche, che influiscono sui rendimenti degli impianti, di quelle dei corpi idrici usati per il raffreddamento, dei rischi di inondazioni e dei temporali.

A livello nazionale, non si ha notizia della formulazione e dell'adozione di strategie a lungo termine finalizzate a rispondere agli impatti legati al cambiamento climatico. Nella gestione ordinaria, la priorità è rappresentata dalla necessità di rispettare gli obblighi legislativi. Ci si aspetta comunque che i cambiamenti climatici possano modificare in modo significativo le condizioni di esercizio, in particolare per quel che riguarda i sistemi di raffreddamento alimentati con acqua fluviale, facendo aumentare la temperatura dell'acqua in ingresso e/o riducendo la disponibilità di risorse idriche.

Nel periodo estivo, in particolare, si prevede che possano accentuarsi i conflitti tra l'utilizzo dell'acqua per usi agricoli e per altri utilizzi (industriale, produzione elettrica, usi civili, navigazione fluviale). Le emergenze idriche più gravi degli ultimi anni si sono verificate nell'estate del 2002 (soprattutto al centro sud) e nelle estati del 2003 e del 2006 (in particolare nelle regioni settentrionali). In queste occasioni, il Dipartimento della Protezione Civile è intervenuto, d'intesa con i Ministeri competenti e con le Regioni interessate, con la dichiarazione dello stato di emergenza da parte del Consiglio dei Ministri e attraverso ordinanze che hanno conferito ai Presidenti delle Regioni, nominati Commissari Straordinari, i poteri e gli strumenti necessari per fronteggiare l'emergenza nel settore dell'approvvigionamento idrico e del servizio idrico integrato.

Durante la crisi idrica dell'estate 2003, che ha interessato tutto il bacino del Po, per prevenire il determinarsi di ulteriori situazioni emergenziali, il Dipartimento della Protezione Civile si è fatto promotore di un'intesa stipulata con l'Autorità di bacino, le Regioni Valle D'Aosta, Piemonte, Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna, l'Aipo (Agenzia Interregionale per il fiume Po), il Grtn (Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale), i Consorzi regolatori dei laghi, l'Anbi (Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazione e Miglioramenti Fondiari), e le società di produzione di energia elettrica presenti nel bacino. Nel 2007, sulla base delle indicazioni di un Gruppo tecnico-scientifico istituito dal Dipartimento della Protezione Civile, sono state emanate dal Presidente del Consiglio dei Ministri le *"Indicazioni operative per fronteggiare eventuali crisi idriche"*, che hanno indotto tutte le strutture competenti nella gestione delle risorse idriche ai diversi livelli territoriali a condurre le necessarie attività di monitoraggio e, se del caso, opportune azioni di contrasto e riduzione della gravità degli impatti.

## *Produzione da fonti rinnovabili*

Per l'energia idroelettrica, i principali fattori di impatto sono relativi ai cambiamenti nella copertura glaciale, nei regimi delle precipitazioni e alle relative modifiche nelle disponibilità idriche. Come si è visto, la predisposizione di strategie a lungo termine per ottimizzare la gestione

delle risorse idroelettriche presenta aspetti di notevole complessità, che possono essere affrontati mediante l'uso di strumenti modellistici multidisciplinari. La gestione delle acque e degli invasi già avviene mediante azioni concertate con le parti interessate: autorità di bacino, agricoltori e produttori stessi; in futuro, gli accordi tra questi soggetti dovranno essere supportati attraverso strumenti modellistici multidisciplinari, in quanto i cambiamenti climatici acuiranno sempre di più (e in modo sempre più complesso) i conflitti tra i diversi usi della risorsa.

Nella prospettiva di un aumento della frequenza di eventi estremi e di alterazioni climatiche rispetto ai trend stagionali, è sempre più importante la disponibilità di sistemi di monitoraggio meteo che permettano di conoscere tempestivamente l'andamento dell'offerta di energia idroelettrica e che forniscano informazioni utili a tutti i gestori delle risorse idriche. A lungo termine, la riduzione delle risorse idriche disponibili, insieme all'aumento delle perdite per evapotraspirazione dovuti all'aumento delle temperature, comporterà un calo della produzione idroelettrica e renderà necessaria una crescente attenzione nei confronti della variabilità dell'apporto d'acqua lungo l'arco dell'anno al fine di tutelare le condizioni ecologiche del corso d'acqua ed evitare i conflitti legati agli altri usi della risorsa, in particolare quelli agricoli (Lehner et al., 2005). La disponibilità di serbatoi di stoccaggio di volume adeguato giocherà un ruolo sempre più importante anche nella gestione ordinaria, a fronte della crescente variabilità delle precipitazioni e, di conseguenza, delle disponibilità idriche (Ranzi et al., 2009).

Gli impatti attesi per gli impianti eolici, quelli alimentati a biomassa e quelli fotovoltaici sono valutati di entità talmente ridotta, che essi non risultano determinanti né nelle strategie a lungo termine, né nella gestione ordinaria di questi impianti.

### *Trasmissione e distribuzione di energia elettrica*

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulla trasmissione e sulla distribuzione della rete elettrica non sono stati finora considerati nella progettazione e nella gestione, per un complesso di cause tra le quali le principali sono i tempi relativamente lunghi (dell'ordine di 50 anni) nei quali questi impatti si manifesteranno, i costi elevati di molte misure di adattamento (come ad esempio l'interramento dei cavi) rispetto ai rischi percepiti, e la priorità che gli operatori assegnano all'integrazione nella rete della produzione da fonti rinnovabili.

### *Azioni di incremento della resilienza del sistema energetico*

Il sistema energetico è costituito dall'insieme delle aziende operanti nel campo della produzione, trasporto e distribuzione delle fonti energetiche primarie e secondarie con lo scopo di assicurare all'industria, al terziario e al residenziale il soddisfacimento delle richieste dei servizi energetici rispettando gli standard qualitativi e quantitativi richiesti. Il sistema energetico può essere classificato come un sistema critico in quanto un suo malfunzionamento può comportare danni rilevanti a persone e cose e per questo, valutarne le vulnerabilità rispetto a scenari di cambiamenti climatici risulta estremamente importante.

Il sistema energetico italiano, come evidenziato dalla Strategia Energetica Nazionale attualmente in consultazione pubblica, presenta alcune vulnerabilità “tradizionali” derivanti dalle sue specificità, quali ad esempio, una forte dipendenza dalle importazioni di fonti fossili ed elettricità che comporta particolari problemi rispetto alla sicurezza degli approvvigionamenti; un’incidenza di costi superiori di circa il 25% rispetto alla media europea.

Il sistema energetico ha risposto a queste vulnerabilità con una serie di contromisure che hanno contribuito ad aumentare la resilienza del sistema. Nella tabella seguente sono indicate alcune vulnerabilità tradizionali e alcune risposte utilizzate per migliorare la resilienza del sistema.

Risposte \ Vulnerabilità	Diversificazione delle fonti energetiche	Demand Side Management	Sistemi di stoccaggio delle fonti energetiche	Liberalizzazione dei mercati	Integrazione e sviluppo delle reti	Promozione delle fonti rinnovabili ed efficienza energetica
Sicurezza degli approvvigionamenti	√√√	√	√		√√√	√√√
Costi superiori alla media europea	√√	√		√√√		√√
Variabilità della produzione da fonti rinnovabili		√	√		√√	

**Tabella 3.21:** Opzioni di risposta ad alcune vulnerabilità “tradizionali” del sistema energetico (√ = risposta efficace; √√ = risposta molto efficace; √√√ = risposta specificamente messa in atto per mitigare una data vulnerabilità)

Alle aree di vulnerabilità tradizionali quali i) sicurezza degli approvvigionamenti per la instabilità geo-politica dei Paesi esportatori; ii) costi superiori di circa il 25% rispetto alla media europea; iii) e forte importazione di energia elettrica, si sono aggiunte altre vulnerabilità più recenti dovute, ad esempio, al carattere intermittente della produzione da fonti rinnovabili che, in questi ultimi anni, hanno aumentato la loro importanza relativa rispetto alle fonti tradizionali. A queste aree di vulnerabilità, si può aggiungere quella legata alle variazioni climatiche che si sono manifestate recentemente e che possono essere interpretate come i segni embrionali di quanto potrebbe accadere in futuro.

Risposte Vulnerabilità	Utilizzo di contratti che prevedano l'interrompibilità del servizio	Demand Side Management	Sistemi di stoccaggio delle fonti energetiche	Liberalizzazione dei mercati	Integrazione e sviluppo delle reti	Promozione delle fonti rinnovabili ed efficienza energetica
Variazione di disponibilità di acqua di raffreddamento degli impianti	√√√	√	√		√√√	
Variazioni consumi elettricità per raffrescamento degli ambienti	√√	√		√√√		√√
Variabilità della produzione da fonti rinnovabili		√	√		√√	

**Tabella 4.21:** Opzioni di risposta ad alcune vulnerabilità dovute al mutamento delle condizioni climatiche già in atto (√ = risposta efficace; √√ = risposta molto efficace; √√√ = risposta specificamente messa in atto per mitigare una data vulnerabilità)

Il sistema energetico sembra essere più vulnerabile rispetto agli eventi estremi piuttosto che rispetto ad un graduale cambiamento climatico in quanto quest'ultimo consente un adattamento nel tempo che invece non è consentito dal verificarsi di eventi estremi che potrebbero avere, tra l'altro, un aumento della loro frequenza ed intensità. Gli impatti di probabili cambiamenti climatici andrebbero ad esacerbare alcune vulnerabilità tradizionali del sistema energetico e a introdurne delle nuove. Peraltro, alcune delle contromisure fin qui adottate per ridurre la vulnerabilità "tradizionale" del sistema energetico rispetto all'approvvigionamento delle fonti primarie (diversificazione delle fonti primarie, promozione delle fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica, demand side management, utilizzo di sistemi di stoccaggio dell'energia, integrazione e sviluppo delle reti, utilizzo di contratti che prevedano l'interruzione del servizio) sembrano avere un effetto positivo ai fini dell'aumento della resilienza del sistema nei confronti dei cambiamenti climatici. Di particolare interesse, soprattutto al fine di ridurre la vulnerabilità della rete elettrica, è l'evoluzione in corso da un sistema centralizzato a uno distribuito, nel quale ogni utente, potenzialmente, sia al tempo stesso produttore e consumatore.

### *Il ruolo del sistema assicurativo*

I gestori di impianti, in particolare quelli come le centrali termoelettriche che richiedono investimenti elevati, possono gestire i rischi (compresi quelli legati ai cambiamenti climatici), attraverso l'apertura di un conto assicurativo. Si tratta di un'opzione di trasferimento del rischio, di

particolare interesse per società che gestiscono un ampio portafoglio di centrali elettriche, che possono in questo modo far sì che i rischi siano condivisi all'interno di tale portafoglio. I rischi possono inoltre essere trasferiti da un operatore di centrale elettrica a un cosiddetto off-taker o toiler, un intermediario finanziario che può anche decidere quando intraprendere investimenti: anche questo è un modo per ridurre il rischio.

In genere, i contratti assicurativi non distinguono tra i rischi legati alla variabilità naturale delle condizioni meteorologiche e quelli addizionali legati ai cambiamenti climatici. Tuttavia, l'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, in particolare delle alluvioni, sta creando seri problemi alle società di assicurazione, che sono sempre più spesso in difficoltà nel valutare i rischi del cambiamento climatico, e possono quindi essere indotte dall'elevata incertezza ad offrire polizze assicurative a prezzi proibitivi, o in alternativa a rifiutarsi di assicurare una specifica infrastruttura, a meno che il gestore non offra garanzie aggiuntive. L'impossibilità di assicurarsi determina un aumento della vulnerabilità della società e, potenzialmente, un rischio di forti esposizioni finanziarie a carico degli Stati.

Una delle azioni previste dalla Strategia Europea per l'adattamento ai cambiamenti climatici riguarda proprio la promozione di prodotti assicurativi e altri prodotti finanziari come strumento indispensabile per garantire la resilienza di decisioni commerciali e di investimento (Commissione Europea, 2013). Il Libro verde sull'assicurazione contro le calamità naturali o antropogeniche, adottato dalla Commissione congiuntamente alla strategia, ha l'obiettivo di incoraggiare gli assicuratori a migliorare il modo in cui contribuiscono a gestire i rischi legati ai cambiamenti climatici (Commissione Europea, 2013a). Ad esempio, gli assicuratori possono fronteggiare l'incremento dei rischi da eventi estremi attraverso la condivisione del rischio con altri operatori ricorrendo al mercato internazionale delle ri-assicurazioni, oppure ad accordi di pooling tra gli assicuratori diretti. Secondo lo schema dei catastrophe bond, l'assicuratore trasferisce invece i rischi più elevati a una serie di investitori privati che sono disposti ad assumersi il rischio di perdere tutto il capitale di investimento (nel caso di un evento catastrofico), in cambio dell'opportunità di guadagnare interessi molto alti sul proprio investimento (ICLEI, 2011).

Anche il settore pubblico può contribuire alla riduzione dei rischi legati agli eventi meteorologici estremi, come dimostra negli Stati Uniti l'esperienza del National Flood Insurance Program (NFIP), creato nel 1968 e aggiornato nel 2012, e amministrato dalla Federal Emergency Management Agency (FEMA). Il NFIP prevede una copertura assicurativa per i danni sopportati dai proprietari di immobili danneggiati dalle alluvioni, della quale possono beneficiare le comunità per le quali è stato ufficialmente riconosciuto il rischio di alluvioni, a condizione che siano state adottate adeguate misure di riduzione del rischio. In generale, i Governi possono (Paklina, 2003):

1. proteggere efficacemente la popolazione a rischio e ridurre i danni per mezzo di regolamenti per la riduzione del rischio;
2. mettere in evidenza la minaccia e aumentare la consapevolezza del rischio tra la popolazione;

3. prevedere l'introduzione di un'assicurazione obbligatoria;
4. fornire sovvenzioni per i costi di assicurazione per i beneficiari, intervenire come riassicuratori di ultima istanza o compensare i danneggiati attraverso aiuti diretti su base *ex post*.

## **Basi conoscitive per lo studio degli impatti, della vulnerabilità e dell'adattamento**

Secondo le indicazioni del Libro bianco della Commissione Europea "*L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo*", l'approccio strategico di tutte le politiche settoriali deve essere quello di costruire la resilienza ai cambiamenti climatici, sia per quanto riguarda gli ecosistemi che per quanto riguarda i sistemi socioeconomici.

In ambito energetico, gli obiettivi di efficienza energetica e di promozione delle fonti rinnovabili fissati dalla "Strategia 2020" sono in grado di contribuire in modo decisivo alla costruzione di un sistema energetico più resiliente, meno vulnerabile rispetto alle conseguenze delle oscillazioni dei mercati delle materie prime energetiche e degli impatti dei cambiamenti climatici. Al raggiungimento di questi obiettivi potrà contribuire anche la politica internazionale dell'UE, attraverso la collaborazione con i Paesi in via di sviluppo per la promozione di strategie energetiche sostenibili. In questa politica si inscrivono alcuni progetti di grande respiro, come il Mediterranean Solar Plan e l'iniziativa industriale Desertec.

L'obiettivo del Mediterranean Solar Plan (MSP) è quello di generare 20 GW di nuova capacità di produzione elettrica da fonti energetiche rinnovabili (fotovoltaica, eolica e CSP, energia solare a concentrazione) nel Mediterraneo, entro il 2020. Ciò contribuirà all'efficienza energetica nella regione e stati membri, istituzioni, imprese e gli investitori del Nord e del Sud dell'Europa saranno coinvolti in un comune progetto industriale ad alto potenziale di crescita economica e di occupazione. Ancora più ambiziosa è l'iniziativa industriale Desertec che è stata annunciata da un consorzio di investitori tedeschi nel luglio 2009. Il progetto ha l'obiettivo di concentrare 440 miliardi di Euro in investimenti sul solare termico a concentrazione (CSP) in Nord Africa, soprattutto per produrre energia da esportare in Europa, coinvolgendo Stati membri, istituzioni, imprese e gli investitori del Nord e del Sud in un comune progetto industriale ad alto potenziale di crescita economica e di occupazione. L'utilizzazione crescente delle fonti di energia rinnovabile potrà avere un ruolo importante nella risposta agli effetti del cambiamento climatico sulla regione. Per esempio, un maggiore utilizzo di energia solare potrebbe rispondere alla crescente domanda di energia per il raffreddamento estivo e, insieme con l'eolico, potrebbe fornire la fonte di energia per alimentare impianti di desalinizzazione nell'area Mediterranea con un clima sempre più arido.

Questo nuovo quadro incrementerà l'interazione tra i fornitori di informazioni climatiche e gli operatori nel settore energetico. Come le informazioni climatiche possano essere utili per specifici settori energetici dipende dallo sviluppo di una forte interazione tra i produttori di energia, i gestori dell'energia e gli esperti del clima. Questa interazione è un passo fondamentale verso lo

sviluppo di una società de-carbonizzata. L'obiettivo principale dei servizi climatici per il settore energetico è dunque quello di sviluppare nuovi ambiti di ricerca applicata ed un protocollo di comunicazione per mezzo dei quali le informazioni climatiche vengono i) prodotte seguendo passo a passo le esigenze degli utilizzatori finali e ii) trasformate in maniera da massimizzare la loro utilizzabilità.

Se si fa riferimento, ad esempio, alla gestione delle risorse idroelettriche, soprattutto in relazione alla gestione delle crisi idriche, si vede che l'approccio conoscitivo ed operativo fin qui adottato è stato finalizzato ad una gestione ottimale delle risorse nel breve-medio periodo. In questo contesto, è necessario che la situazione di disponibilità idrica sia monitorata in loco, attraverso metodologie omogenee, che consentano non solo di seguire l'evoluzione del bilancio idrico, ma anche gli effetti su questo dei programmi di regolazione che sono stati o saranno messi in atto ai fini della gestione della risorsa. Le scelte relative alla realizzazione e alla gestione di infrastrutture connesse con il ciclo delle acque richiedono invece studi basati sugli scenari climatici ad un orizzonte temporale di almeno 20-30 anni.

Questo tipo di analisi non può essere condotta sulla base di scenari climatici su scala globale o continentale, ma richiede invece lo sviluppo di scenari climatici su base regionale, che permettano di tener conto dell'orografia, dell'uso dei suoli e delle isole di calore urbane. Un contributo allo sviluppo di modelli climatici globali e regionali con un'adeguata disaggregazione spaziale e all'integrazione – nei modelli stessi - delle interazioni reciproche tra il comparto atmosferico, quello marino, quello suolo, e quello fluviale, è atteso dalle risultanze del Progetto CIRCE, e dai modelli regionali di ultima generazione (data-base ENSEMBLE).<sup>322</sup>

L'approccio modellistico a scala regionale è indubbiamente affetto da incertezze maggiori, rispetto alla scala globale, ma è certamente la strada necessaria da percorrere, in particolare, per il nostro Paese caratterizzato da una orografia alquanto complessa. Esso, tuttavia, non può prescindere dalle osservazioni storiche (di qualità) delle variabili meteo-climatiche necessarie sul nostro territorio. A tal riguardo, sarebbe da valorizzare il grande patrimonio di dati meteo-climatici disponibili, curandone l'aggiornamento, la qualità e la fruibilità al fine di sviluppare anche modelli di analisi dei dati che possano fornire previsioni di tipo statistico a medio-lungo termine (da mesi ad anni) che si integrino con la modellistica dei cambiamenti climatici fornendo le probabilità, per ciascuna area nel tempo, dell'accadimento di fenomeni particolari e non. Questa attività, avviata anche presso il Dipartimento della Protezione Civile, dovrebbe essere estesa attraverso lo sviluppo di un'analisi climatologica sull'intero Paese, al fine di fornire delle mappe sempre più accurate ed affidabili della distribuzione dei venti, delle piogge e via di seguito.

Nonostante i modelli climatici vengano continuamente migliorati, essi non consentono di prevedere le future condizioni climatiche con un grado di confidenza che permetta di assumere decisioni di adattamento precise. I dati forniti da diversi modelli climatici sono spesso molto

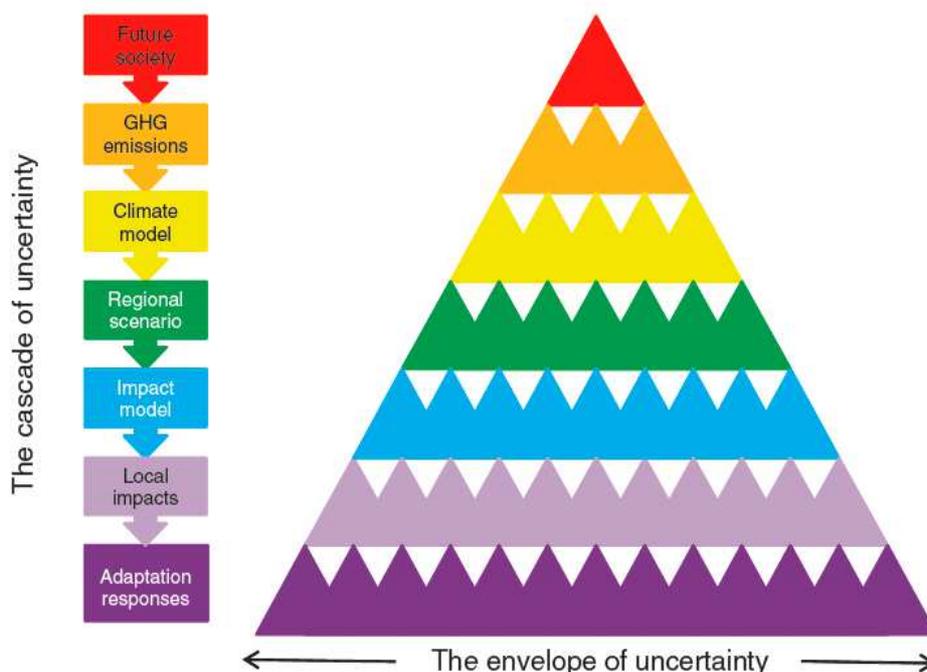
---

<sup>322</sup> <http://www.ensembles-eu.org>.

differenti, e chi li utilizza ha quindi a che fare con una gamma di possibili scenari futuri del clima da prendere in considerazione e, di conseguenza, ad set di possibili opzioni di adattamento (vedi figura 7.21). Anche se migliorerà la capacità dei modelli di simulare le dinamiche del clima, le incertezze rimarranno. Il downscaling delle proiezioni climatiche al fine di ottenere una risoluzione maggiore:

- non dovrebbe essere visto come un modo per aumentare il livello di confidenza dei dati, e
- può essere erroneamente interpretato come una procedura per fornire dati più precisi.

La necessità di dati climatici ad alta risoluzione per la pianificazione a lungo termine può essere messa in discussione nel caso in cui la variabilità del clima sta già sottoponendo a tensioni sistemi umani ed ambientali. In questi casi, la gestione delle tensioni esistenti è chiaramente una priorità, ma nello stesso tempo si deve mantenere la flessibilità necessaria per far fronte alla gamma di impatti potenziali dei cambiamenti climatici futuri.



*Figura 7.21: La cascata dell'incertezza (Fonte: Wilby e Dessai, 2010).*

Nello stesso modo, è probabile che non tutte le statistiche del clima di rilevanza per la progettazione, pianificazione e gestione delle attività e delle infrastrutture saranno disponibili a partire dai dati forniti dai modelli climatici. Questi dati sono in genere forniti come medie di lungo periodo, ad esempio, variazioni di temperatura o precipitazione media mensile. Tuttavia, le decisioni sull'integrità e la sicurezza degli asset possono essere basate sulle statistiche a breve

termine o sui valori estremi, come il massimo previsto per la velocità del vento su 10 minuti, o l'evento estremo di pioggia su 10 anni. In questi casi, i progettisti ed i costruttori dovrebbero individuare, per ciascun progetto in questione, soglie legate al clima e valutare se le tendenze del clima esistenti minacciano di superare queste soglie con eccessiva frequenza. I modelli climatici possono quindi essere usati oltre che per fare ipotesi sensate sulle possibili modifiche alle variabili climatiche di rilievo per il progetto, per ottenere stime di limiti superiori ed inferiori per il futuro, da utilizzare per verificare la robustezza delle opzioni di adattamento (Commissione Europea, 2011b).

## Bibliografia

Alterach, J., Garofalo, E., Girardi, P., Maran, S. (2008). Conseguenze energetico-ambientali dell'entrata in vigore delle norme sul DMV in due regioni, CESI RICERCA, febbraio 2008.

Apadula, F., Bassini, A., Elli, A., Scapin, S. (2012). Relationships between meteorological variables and monthly electricity demand, *Applied Energy* 98 (2012) 346-358.

Apadula, F., Negri, A. (2008). Cambiamenti climatici: dubbi, certezze e probabili impatti sul sistema elettrico, AEIT 11, novembre 2008.

Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenized instrumental time series, *Int. Jour. Of Clim.*, 26, 345-381.

Commissione Europea (2011a). Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change, final report, conducted by ECORYS Nederland BV, contract TREN/09/NUCL/SI2.547222, Brussels.

Commissione Europea (2011b). European Adaptation Strategies. Guidelines for Project Managers: Making vulnerable investments climate resilient. These guidelines are based on the final report of service contract no. 071303/2011/610951/SER/CLIMA.C3 (Guidelines for project managers: 'climate proofing' of vulnerable investments), delivered by Acclimatise (the trading name for Climate Risk Management Ltd), UK, and COWI A/S, DK.

Commissione Europea (2013). Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici, COM(2013) 216 final, 16.4.2013.

Commissione Europea (2013a): Libro Verde sull'assicurazione contro le calamità naturali e antropogeniche, COM(2013) 213 final, 16.4.2013.

ESPON (2010). ESPON Discussion Paper: Impacts of Climate Change on Regional Energy Systems, <http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/ReRISK/RERISK-Discussion-Paper-Climate-Change.pdf>.

Faggian, P., Decimi, G., Peviani, M.A., Michela Volonterio, M. (2012). Evoluzione della domanda e dell'offerta dell'energia elettrica e scenari future, Progetto P01 SCENARI PAR2012, <http://www.rse-web.it/documenti/documento/315208>

Faggian, P., Giorgi, F. (2009). An analysis of global model projections over Italy, with particular attention to the Italian Greater Alpine Region (GAR), *Climatic Change* 96 (2009) 239-258.

Faggian, P., Ronzio, D. (2012). Variabilità di eventi climatici che influenzano le fonti rinnovabili, Rapporto RSE per la Ricerca di Sistema, Marzo 2012.

Faggian, P., Ronzio, D., Decimi, G. (2013). Climatic change impacts on energy sectors over Italian regions. Presentazione alla 1ª Conferenza della Società Italiana per le Scienze Climatiche (SISC), Lecce, 23 settembre 2013.

Gaudio, D., Masullo, A. (2009). Impatti dei cambiamenti climatici sul settore energetico. In: I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti, a cura di S. Castellari e V. Artale, Bononia University Press.

Giannakopoulos, C., Hadjinicolaou, P., Zerefos, C., Demosthenous, G. (2009a). Changing Energy Requirements in the Mediterranean Under Changing Climatic Conditions, *Energies*, 2, 805-815; doi:10.3390/en20400805.

Giannakopoulos, C., LeSager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., Goodess, C.M. (2009b). Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global Planet. Change* 2009, 68, 209-224.

- Giorgi, F. (2005). Climate change prediction, *Climate Change*, 73 239-265.
- Gissi, E., Siciliano, G., Reho, M. (2011). Biomass production and land use management in the Italian context: regulations, conflicts, and impacts. Paper presented at the 51st Congress of the European Regional Science Association – Barcelona, 30<sup>th</sup> August – 3<sup>rd</sup> September 2011, <http://www-sre.wu.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa11/e110830aFinal01413.pdf>.
- Goldman, S., Ungar, L., Capanna, S., Simchak, T. (2012). Energy Efficiency: A Tool for Climate Change Adaptation An Alliance to Save Energy White Paper. ASE – Alliance to Save Energy publication, February 2012.
- GSE (2013). Rapporto Statistico 2012 – Impianti a fonti rinnovabili – Settore Elettrico, <http://www.gse.it/it/Statistiche/RapportiStatistici/Pagine/default.aspx>.
- Hewer, F. (2006). Climate Change And Energy Management: A Scoping Study On The Impacts Of Climate Change On The UK Energy Industry, UK Met Office.
- Holm, A. (2010). Infrastructures in the Face of Climate Change: What Implications for Long-Term Investors?, CDC Climate Research, 22.
- ICLEI (2011). Financing the Resilient City: A demand driven approach to development, disaster risk reduction and climate adaptation - An ICLEI White Paper, ICLEI Global Report.
- IEA Bioelectricity (2009). Bioelectricity – a Sustainable and Reliable Electricity Source, [http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0912\\_IEA\\_Bioenergy - MAIN REPORT - Bioenergy - a sustainable and reliable energy source. A review of status and prospects.pdf](http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0912_IEA_Bioenergy_-_MAIN_REPORT_-_Bioenergy_-_a_sustainable_and_reliable_energy_source._A_review_of_status_and_prospects.pdf)
- IPCC WGI (2007). Climate Change (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC WGII (2007). Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E., eds.). Cambridge University, Cambridge, UK.
- Lehner, B., Czisch, G., Vassolo, S. (2005). The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis, *Energy Policy* 33, 839–855.
- López-Zafra, J.M., L. Sánchez de Tembleque, L., Meneu, V. (2005). Impactos sobre el sector energético. In: Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático (Moreno, J.M eds.). Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Spagna, 617-652.
- Madonna, F. (2012). Indicatori di consumo per la climatizzazione degli edifici, Rapporto RSE per la Ricerca di Sistema, Marzo 2012.
- Maran, S., Brambilla, P.C., Boccia, F., Pucci, E. (2011). A methodology for the assessment of climate change effects on hydropower, VI EWRA International Symposium - Water Engineering and Management in a Changing Environment, Catania, June 29 - July 2, 2011.
- Maugeri M., Bagnati, Z., Brunetti, M., Nanni, T. (2001). Trends in Italian total cloud amount, 1951-1996, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 4551-4554.
- Mima, S., Criqui, P., Watkiss, P. (2011). Technical Policy Briefing Note 4: Energy, The Impacts and Economic Costs of Climate Change and Energy in the European Union: Summary of Sector Results from the ClimateCost project, funded by the European Community's Seventh Framework Programme.

Nakićenović, N., Swart, R. (2000). Special report on emissions scenarios. In: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599.

Nanni, T., Maugeri, M., Brunetti, M. (2009). La variabilità e le tendenze del clima in Italia nel corso degli ultimi secoli. In: I cambiamenti climatici in Italia: Evidenze, vulnerabilità e impatti, a cura di S. Castellari e V. Artale, Bononia University Press.

Paklina, N. (2003). Flood Insurance, OECD, 2003.

Pašičko, R., Branković, C., Šimić, Z. (2012). Assessment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. *Renewable Energy* 46, 224-231.

Pryor, S.C., Barthelmie, R.J. (2010). Climate change impacts on wind energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 430-437

Ranzi, R., Barontini, S., Grossi, G., Faggian, P., Kouwen, N., Maran, S. (2009). Impact of climate change scenarios on water resources management in the Italian Alps, Proceedings of the 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver, August

van Vliet, M.T.H., Yearsley, J. R., Ludwig, F., Vögele, S., Lettenmaier, D. P., Kabat, P. (2012). Vulnerability of US and European electricity supply to climate change, *Nature Climate Change*, published online: 3 June 2012 | doi: 10.1038/nclimate1546.

Wilby, R.L., Dessai, S. (2010). Robust adaptation to climate change. *Weather*, 65, 7, 180–185.

# Casi speciali

## Area alpina e appenninica

### Sintesi

E' stato riconosciuto che nelle aree montane italiane, e in particolare nell'arco Alpino, gli effetti dei cambiamenti climatici saranno tre volte superiori in grado di magnitudine rispetto alla media mondiale (OECD, 2007). Il riscaldamento dell'aria alpina Italiana negli ultimi trent'anni è stato, infatti, particolarmente elevato, con valori pari a tre volte la media mondiale dell'emisfero Nord (Alcamo, 2007). Inoltre, anche il regime delle precipitazioni ha subito delle modifiche, con una tendenza alla diminuzione dei giorni piovosi e all'incremento degli eventi piovosi intensi. I principali modelli climatici prevedono per i prossimi decenni un'intensificazione dei trend già evidenziati che avrà importanti effetti sulle caratteristiche climatiche, idrologiche, morfologiche e paesaggistiche delle aree montane italiane.

Sinteticamente gli impatti dei cambiamenti climatici sulle aree montane comprendono:

- aumento della quota del limite di scioglimento del permafrost (suoli permanentemente ghiacciati);
- accelerazione del processo di ritiro dei ghiacciai;
- riduzione della copertura nevosa più marcata a bassa quota;
- incremento complessivo delle temperature (di circa +1°C nella media annuale, e più accentuato nelle massime estive e minime invernali);
- variazione del regime delle precipitazioni con variazioni stagionali molto marcate.

La significativa diminuzione delle precipitazioni estive e l'incremento delle precipitazioni invernali - sempre più sotto forma di pioggia e non di neve - assieme all'accelerazione dei processi di fusione della criosfera provocheranno notevoli modifiche del regime idrologico montano, quali: diminuzione del runoff (la parte delle precipitazioni che non evapora e non è traspirata, ma fluisce attraverso il terreno o sulla superficie del terreno e ritorna ai corpi idrici) estivo e, soprattutto, aumento considerevole del runoff invernale, con conseguenze sul rischio idrogeologico (Lautenschlager et al., 2008) e sulla disponibilità futura delle risorse idriche (Weingartner et al., 2007). Infine, ci si aspetta anche un incremento del rischio glaciale (rischi correlati alla fusione accelerata della criosfera) in quanto aree finora sostanzialmente stabili diventeranno gradualmente più soggette a maggiore rischio di eventi quali crolli, frane e smottamenti (Margottini et al., 2011). Bisogna considerare che questi impatti avvengono in sistemi caratterizzati non solo da un'alta

importanza socio-economica ed ecologica a livello nazionale, ma anche da un'elevata vulnerabilità a un ampio spettro di pericoli naturali e a una crescente pressione demografica e ambientale. L'elaborazione di specifiche strategie e misure di adattamento per le aree montane, volte a ridurre la loro vulnerabilità agli impatti dei cambiamenti climatici e a aumentare la loro resilienza, è perciò di fondamentale importanza per adattare questi ambienti ai cambiamenti climatici.

## Introduzione

Nel corso dell'ultimo secolo è stato ampiamente riconosciuto che le emissioni di gas serra derivanti dalle attività umane stanno influenzando sulla composizione chimica dell'atmosfera e conseguentemente anche sul clima, sia a livello mondiale che regionale<sup>323</sup>. La relazione causale tra l'incremento delle concentrazioni di gas serra in atmosfera e i cambiamenti osservati nelle principali variabili climatiche è stata ampiamente dimostrata e ribadita dalla comunità scientifica, in particolare dal Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) nei suoi periodici Rapporti di Valutazione, il più recente dei quali è il Fifth Assessment Report (AR5) (IPCC, 2013, 2014a, 2014b).

Da questi cambiamenti derivano impatti diretti e indiretti che colpiscono in modo differenziato le diverse aree del globo. Le aree di montagna, per le loro speciali caratteristiche morfologiche e geografiche, oltre che per il loro ruolo fondamentale nel controllo di molti sistemi fisici, chimici e biologici, sono considerate tra i sistemi ambientali più sensibili e vulnerabili ai cambiamenti climatici (IPCC, 2014a; EEA, 2012).

A fronte di una crescente consapevolezza dell'alta vulnerabilità degli ambienti montani ai cambiamenti climatici, nell'ultimo decennio sono state intraprese diverse iniziative di adattamento anche a livello comunitario. Nel 2006, i paesi membri della Convenzione delle Alpi<sup>324</sup> sono stati invitati a sviluppare delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, con speciale attenzione ai settori più colpiti (pianificazione territoriale, foreste montane, biodiversità, turismo, risorse idriche e agricoltura di montagna). Successivamente, sempre nell'ambito della Convenzione delle Alpi, sono stati avviati diversi studi e pubblicati numerosi rapporti sulle vulnerabilità, gli impatti e la capacità di adattamento dell'arco alpino Europeo. Purtroppo un'analogia istituzione non copre le aree Appenniniche e questo contribuisce a spiegare le minori attività sugli impatti in quel contesto.

Attraverso questo capitolo s'intende presentare un quadro di sintesi delle conoscenze sulla valutazione delle implicazioni dei cambiamenti climatici per i diversi settori interessati nelle aree alpine e appenniniche del territorio nazionale, attraverso una sintetica analisi dei rischi e degli impatti dei cambiamenti climatici, della vulnerabilità delle popolazioni, dei beni materiali e delle

---

<sup>323</sup> Riferito, secondo l'IPCC (2014a), alle sei principali regioni continentali, le regioni polari, le piccole isole e l'oceano.

<sup>324</sup> Trattato internazionale sottoscritto dagli otto Stati alpini - Austria, Francia, Germania, Italia, Liechtenstein, Principato di Monaco, Slovenia e Svizzera nonché dalla Comunità Europea - con l'obiettivo di garantire una politica comune di sviluppo sostenibile per l'Arco alpino: <http://www.alpconv.org/>.

risorse naturali, oltre che della capacità di adattamento socio-economico e ambientale del territorio alpino e appenninico.

## **Climatologia: tendenze in corso e previste**

I rilievi montuosi e collinari occupano in Italia circa il 75% dell'intera superficie nazionale. Le catene montuose degli Alpi e gli Appennini si estendono dall'estremo confine nord-orientale alla punta meridionale della penisola, costituendo un'unica catena orografica a forma di una grande 'S'. Per la sua speciale localizzazione e singolare morfologia, essa svolge un ruolo determinante nel funzionamento climatico dell'intera penisola. Si tratta infatti di aree in cui confluiscono e interagiscono le influenze oceaniche, continentali, polari e mediterranee, definendo un sistema climatico complesso. Diversi studi sulle tendenze climatiche nelle aree montane europee concordano nell'affermare che le aree montane italiane, caratterizzate da un'elevata variabilità climatica, presentano una maggiore sensibilità ai cambiamenti climatici rispetto alle aree collinari o di pianura (Alcamo et al., 2007; EEA, 2009; Damm, 2011; CimAlpTour, 2011).

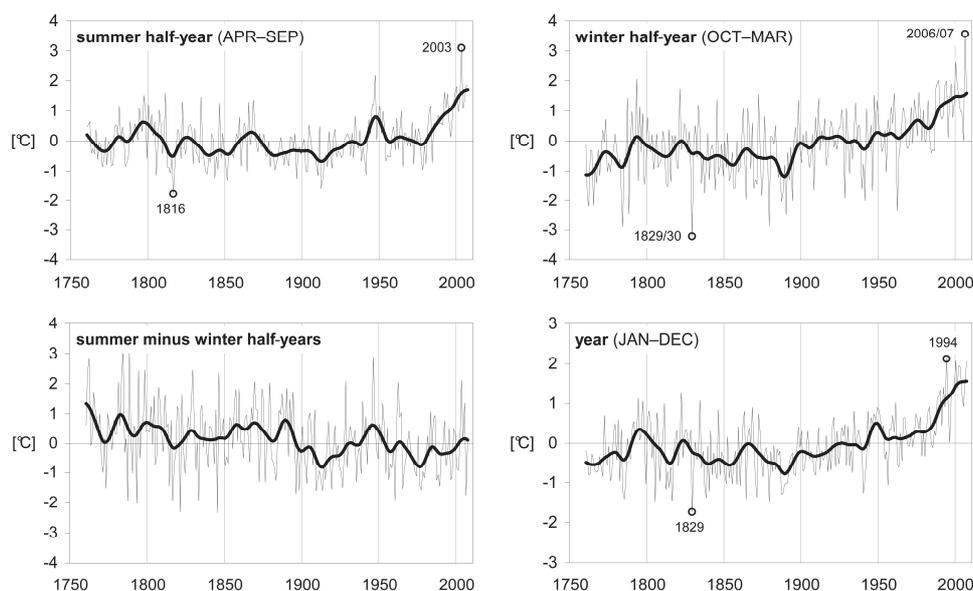
### *Analisi della variabilità climatica in atto e degli scenari futuri sulla variabilità climatica futura*

Questa sezione analizza innanzitutto i cambiamenti climatici in atto e le tendenze previste nel breve termine, in base allo studio dei trend osservati nelle serie storiche disponibili per le aree alpine e appenniniche. Successivamente presenta un'analisi delle principali proiezioni climatiche a medio e lungo termine in base agli scenari SRES del quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (2007) e attraverso un'esauritiva revisione degli studi e progetti nazionali e internazionali sui Modelli Climatici Regionali più precisi. Infine esamina brevemente le tendenze in atto e gli scenari di evoluzione futura dei principali eventi climatici estremi nelle aree montane.

### *Temperature*

#### *Andamento delle temperature*

Nelle aree montane italiane, tutte le osservazioni convergono in una chiara tendenza all'incremento delle temperature medie, anche se l'entità dell'aumento può variare a seconda delle stazioni meteorologiche alpine di misure considerate (Böhm et al., 2008). Analizzando le serie storiche dell'evoluzione delle temperature delle Alpi negli ultimi 250 anni (Auer et al., 2007), si osserva un incremento delle temperature medie annuali di circa 2 °C tra il XIX e il XX secolo (Figura 1.22).



**Figura 1.22:** Variazione nel periodo 1760-2007 della temperatura media mobile adattiva (*smoothed mean*) annuale (linea sottile) e ventennale (linea marcata) nell'Area Alpina Allargata (GAR - Great Alpine Region)<sup>325</sup>. Le anomalie sono calcolate rispetto alla media del periodo 1851-2000 (Fonte: ZAMG-HISTALP database, Böhm et al., 2008).

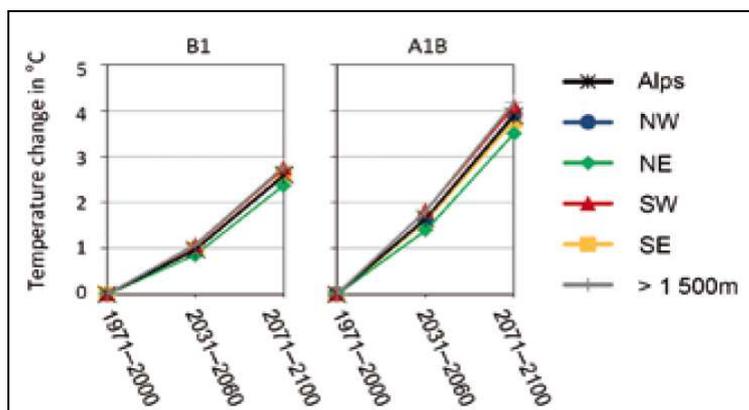
Il processo di riscaldamento più accentuato è avvenuto in modo piuttosto graduale durante il XX secolo, manifestandosi maggiormente nelle stagioni estive e invernali, con un incremento più grande delle temperature massime estive e delle temperature minime invernali. Nel corso degli ultimi 25 anni il riscaldamento dell'arco alpino è avvenuto ad un ritmo considerevolmente accelerato rispetto a tutto il periodo della serie, con un picco circa +1,2 °C in 25 anni (EEA, 2009).

### Scenari futuri

Per quel che riguarda gli scenari futuri, si prevede che il processo di riscaldamento delle aree montane italiane continui con intensità maggiore rispetto sia all'andamento della temperatura media mondiale sia ai tassi d'incremento registrati negli ultimi 250 anni (EEA, 2009; Gobiet et al., 2013). In particolare, gli scenari ottenuti attraverso i principali modelli climatici concordano nel prevedere un aumento delle temperature medie nell'arco alpino di circa 3,8 °C entro la fine di questo secolo rispetto al periodo di riferimento (1971-2000). L'intensità del cambiamento può essere soggetta a piccole variazioni dell'ordine di qualche decimo di °C secondo gli scenari climatici SRES IPCC (B1 o A1B) impiegati nelle proiezioni, la regione alpina in questione e l'altitudine considerata. Nel caso specifico delle Alpi italiane, nell'arco occidentale si prevede un aumento delle temperature leggermente superiore a quello atteso per l'arco orientale (4,1 °C e 3,8

<sup>325</sup> Area (definita da Auer et al., 2007) delimitata dai meridiani 4° E, 19° E e dai paralleli 43° N, 49° N.

°C, rispettivamente), più accentuato in entrambi i casi alle quote superiori ai 1.500 m di altitudine (Figura 2.22).



**Figura 2.22:** Proiezioni dell'aumento delle temperature nell'arco alpino e nelle diverse sub-regioni in base agli scenari SRES B1 e A1B dell'IPCC. NW = Alpi nord-occidentali; NE = Alpi nord-orientali; SW = Alpi sud-occidentali; SE = Alpi sud-orientali. (EURAC, 2008, su dati CLM climate scenarios (Lautenschlager et al., 2008))

Il riscaldamento presenta anche una marcata stagionalità. Per l'arco alpino occidentale Italiano, l'aumento maggiore è previsto nella stagione estiva con un incremento medio di 4,8 °C entro fine secolo, arrivando in alcune zone di alta quota a incrementi superiori a 6,0 °C. Per quel che riguarda invece la stagione primaverile, si prevede un innalzamento delle temperature relativamente minore rispetto alla media annuale pari a 2,7 °C entro fine secolo.

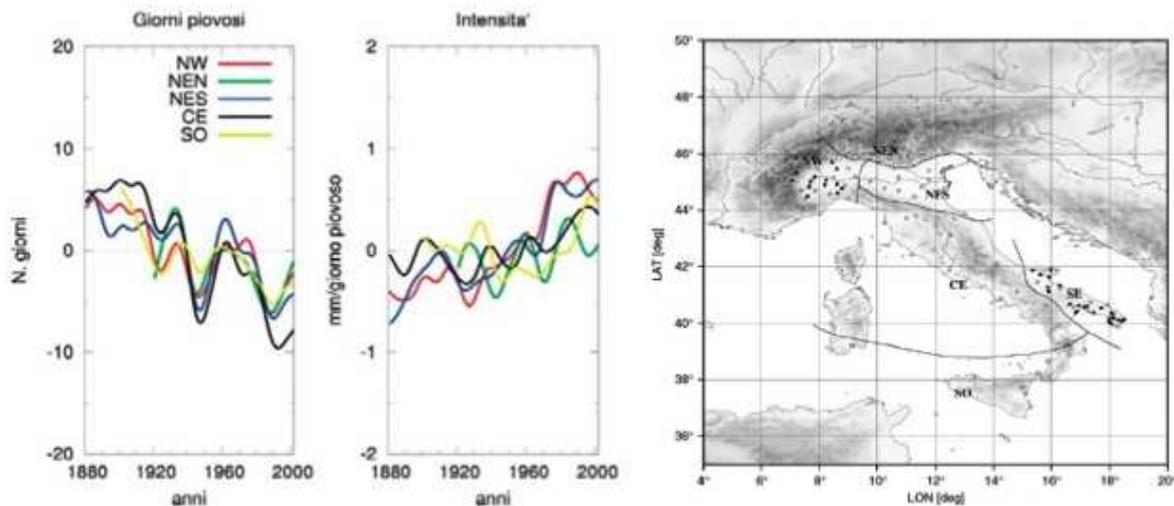
## Precipitazioni

### Variabilità passata

Per quanto concerne l'evoluzione delle precipitazioni cumulate medie, dall'analisi delle serie pluviometriche alpine disponibili per gli ultimi 250 anni non si possono evidenziare trend particolarmente significativi. Risulta tuttavia possibile identificare un segnale di andamento nel lungo termine, caratterizzato da una leggera tendenza alla diminuzione delle precipitazioni cumulate totale di circa il -10% rispetto al periodo di riferimento (1961-1990) nel corso dell'ultimo secolo (Auer et al., 2007). Questa tendenza presenta un'elevata variabilità spaziale, dovuta alla complessa interazione tra i fenomeni meteorologici e la morfologia del territorio alpino, e anche una lieve variabilità stagionale, essendo più marcata durante la stagione estiva (Brunetti, 2006; Gobiet et al., 2013).

Notevole è invece la diminuzione sia nell'arco alpino sia lungo la catena appenninica del numero totale di eventi precipitativi negli ultimi 120 anni. In particolare, durante il periodo 1880-2002 si è osservata una significativa riduzione del numero di giorni piovosi di circa: l'8% nel territorio nazionale che comprende la catena appenninica, il 3% nella metà occidentale dell'arco alpino e il 5% nella metà orientale (Figura 3.22).

Tale andamento non interessa in maniera uniforme tutta la distribuzione statistica delle piogge giornaliere, bensì presenta comportamenti opposti se si considerano gli eventi di bassa intensità e quelli più intensi, essendo in calo i primi ed in aumento gli ultimi, verificandosi pertanto una tendenza verso un'accentuazione dell'intensità delle precipitazioni. In particolare, si stima che le precipitazioni siano attualmente circa due volte più intense che 120 anni fa (Figura 3.22).



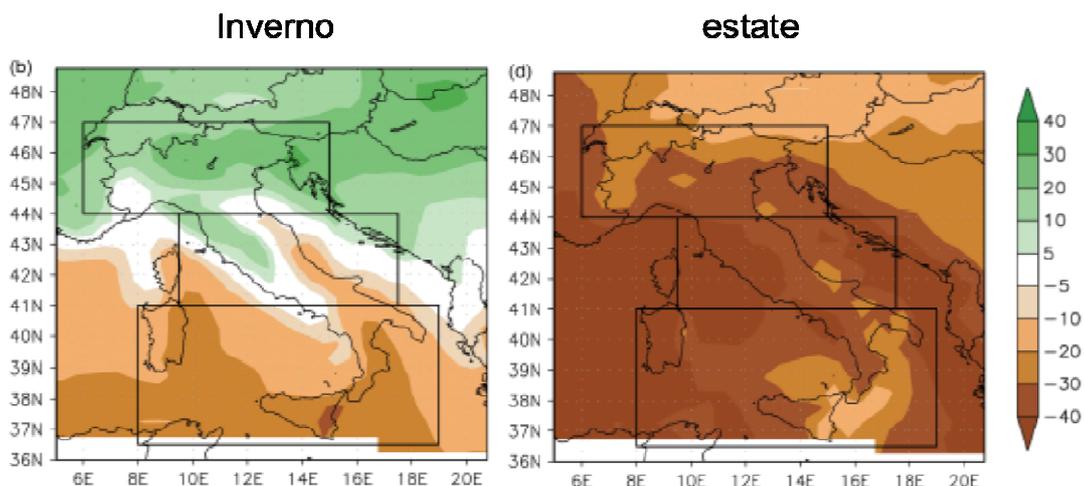
**Figura 3.22:** Sinistra: serie annuali relative alle anomalie nel numero di giorni piovosi e nell'intensità delle precipitazioni per le cinque sub-regioni rispetto alla media del periodo 1961-1990. Le serie sono rappresentate mediante un filtro gaussiano con deviazione standard pari a 5 anni. Destra: suddivisione dell'Italia in sub-regioni di comportamento simile per le precipitazioni giornaliere, secondo un' Analisi delle Componenti Principali (PCA - Principal Component Analysis) delle serie temporali di precipitazioni giornaliere nel periodo 1880-2002 (Fonte: Brunetti et al., 2006).

### Scenari futuri

Per i prossimi decenni ci si attende un incremento ancora maggiore della variabilità inter-annuale delle precipitazioni sia nell'arco alpino sia nella catena appenninica. In particolare, i principali modelli concordano nel prevedere la continuità dell'attuale tendenza verso una diminuzione delle precipitazioni annuali cumulate nelle Alpi e negli Appennini italiani, anche se con rilevanti variazioni dell'intensità dei cambiamenti previsti a seconda dello scenario SRES utilizzato e della regione montana considerata. In sintesi, si può affermare che la riduzione prevista delle precipitazioni cumulate nelle aree montane italiane è quantificabile, anche se in modo poco significativo dal punto di vista statistico (van der Linden & Mitchell, 2009), nel range compreso fra -1% e -11% entro la fine del secolo XXI rispetto al periodo di riferimento (1961-1990). Le aree montane maggiormente affette dal calo delle precipitazioni cumulate saranno molto probabilmente quelle della catena appenninica. Secondo i principali modelli, tale riduzione sarà specialmente marcata nell'Appennino meridionale (con uno scenario di diminuzione di circa -11%

entro la fine del secolo), seguito dall'Appennino centrale e settentrionale rispettivamente. Per le Alpi ci si aspetta una riduzione delle precipitazioni cumulate minore rispetto a quella prevista dagli scenari per le aree appenniniche. Gli scenari di diminuzione delle precipitazioni meno marcata interesseranno soprattutto le aree dell'arco alpino orientale (circa -1% rispetto al periodo di riferimento), mentre le riduzioni più marcate interesseranno la zona delle Alpi occidentali (Coppola & Giorgi, 2010).

Sono previsti, invece, cambiamenti statisticamente significativi della distribuzione stagionale delle precipitazioni, che variano in funzione degli scenari emissivi considerati e delle diverse aree del territorio considerate. Secondo i risultati delle simulazioni PRUDENCE e CLM di Lautenschlager et al. (2008), per la stagione estiva ci si attende un calo delle precipitazioni di circa -30% su tutto l'arco alpino (maggiore nelle Alpi occidentali) e fino a -40% nell'Appennino centrale e meridionale (Figura 4.22 destra). Per la stagione invernale (Figura 4.22 sinistra) si prevede invece un comportamento bipolare, caratterizzato da un leggero aumento delle precipitazioni invernali nelle aree montane del centro-nord e nord (tra +10% e +20%, rispettivamente) e una leggera diminuzione nelle aree montane del centro-sud e sud della penisola (tra il -5% e il -10%).



**Figura 4.22:** Cambiamento medio di precipitazioni in % sull'Italia, simulato dai modelli PRUDENCE, scenario A2, per l'inverno e l'estate nel periodo 2071-2100, rispetto al periodo di riferimento (1961-1990). (Fonte: Coppola & Giorgi, 2010).

## Precipitazioni nevose e grado d'innevamento

### Variabilità passata

Dallo studio delle serie storiche di dati sulla copertura nevosa ottenuti dalle 41 stazioni di misura localizzate lungo l'arco alpino Italiano (Valt et al., 2005), si nota una chiara tendenza alla diminuzione del manto nevoso nel periodo 1920-2005. Questo andamento è più pronunciato

nell'ultimo trentennio della serie, in cui le precipitazioni nevose sono diminuite di circa il -18% rispetto al periodo di riferimento (1959-2002), con cali del -40% nelle località a bassa quota. Lungo la serie temporale, questo trend è accentuato nei periodi siccitosi, come il triennio 2003-2006, quando il manto nevoso accumulato è inferiore del 40% rispetto al valore medio del periodo di riferimento in corrispondenza della stazione meteo Lago Valsoera, 2.440 m, Gran Paradiso (Mercalli & Cat Berro, 2008).

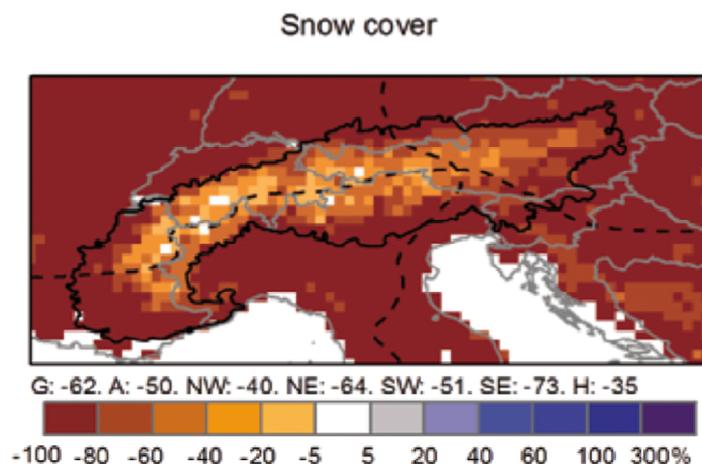
L'analisi nelle diverse zone dell'arco alpino rivela un andamento della riduzione del manto nevoso simile per la parte orientale e centrale, e un trend leggermente diverso per il settore alpino occidentale. Le differenze sono attribuibili alla diversità degli effetti climatici nelle tre zone, riconducibili alla configurazione sinottica (caratteristiche geografiche e orografiche) dell'arco alpino italiano (Valt et al., 2005).

### *Scenari Futuri*

Per quanto riguarda gli scenari futuri, ci si aspetta entro la fine del XXI secolo una diminuzione sia della quantità di precipitazioni nevose sia della durata del manto nevoso al suolo a causa all'incremento delle temperature. In particolare, si stima una riduzione media delle precipitazioni nevose di circa il -35% rispetto al periodo di riferimento, meno accentuata alle quote comprese tra i 1.500 e i 2.000 m (-20%), accompagnata da un incremento della quantità e intensità delle precipitazioni piovose (Beniston, 2006; Gobiet et al, 2013).

Per quanto concerne invece la durata del manto nevoso, si stima una riduzione della durata annuale dell'innevamento di circa il 35% per ogni °C di aumento della temperatura media a quote inferiori ai 1.400 m . A quote superiori, ci si attendono effetti meno pronunciati, ma comunque importanti, , con una perdita dello spessore medio del manto stimata al 15% a 1.850 m e al 12% a circa 2.300 m per ogni aumento di °C di temperatura dell'aria (Beniston, 2006).

Complessivamente, per la fine del secolo si prevede un declino di circa il 70% dei giorni invernali e primaverili con copertura nevosa. Mentre la diminuzione relativa è simile per entrambi le stagioni, la riduzione assoluta attesa è significativamente diversa a seconda delle aree alpine considerate: le Alpi orientali, e in particolare le aree prealpine, sono considerate i settori specialmente colpiti dal fenomeno (Figura 5.22). Nelle aree montane con altitudini inferiori ai 500 m il manto nevoso potrebbe addirittura scomparire, con riduzioni di circa l'80% rispetto al periodo di riferimento, 1961-1990 (Jacob et al., 2007).



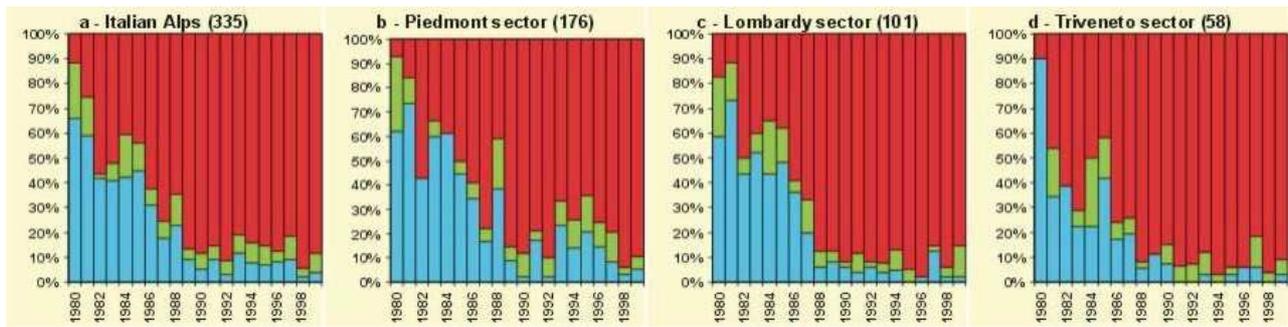
**Figura 5.22:** Previsione della differenza relativa (in %) dei giorni con copertura nevosa tra il periodo di riferimento (1961-1990) e il trentennio 2070- 2100, per lo scenario SRES A1. (EURAC, 2008 su dati CLM climate scenarios (Fonte: Lautenschlager et al., 2008).

È necessario precisare che le proiezioni climatiche dei cambiamenti climatici nelle regioni montane sono caratterizzate da un alto grado d'incertezza, a causa della loro complessità orografica, oltre ai limitati e discontinui dati disponibili sullo stato e cambiamenti degli ambienti di montagna a quote elevate. Particolarmente critiche sono le proiezioni per alcune variabili climatiche come le precipitazioni piovose e nevose, caratterizzate da una forte variabilità spazio-temporale e da intrinseche difficoltà di misura alle quote più elevate. A ciò si aggiungono le criticità dal punto di vista modellistico, poiché l'elevata eterogeneità orografica e peculiarità climatica delle aree montane italiane richiedono necessariamente l'impiego di tecniche statistiche di downscaling *ad hoc* che non sono sempre affidabili per le aree ad orografia complessa.

### *Estensione e massa glaciale alpina*

#### *Evoluzione storica*

Dal 1850 (fine della fase di espansione dei ghiacciai alpini dopo la Piccola Era Glaciale) al 2000, la superficie complessiva dei ghiacciai alpini si è ridotta alla metà del volume originario (Zemp et al., 2008). Grazie alle lunghe serie di dati rilevate dal Comitato Glaciologico Italiano e alle tecniche di telerilevamento satellitare, si è potuto confermare la situazione di netta degradazione delle masse glaciali sul territorio nazionale. Tali osservazioni confermano che nel periodo compreso tra il 1925 e il 2007 hanno dominato di gran lunga gli arretramenti, che nel 2005 hanno riguardato il 94% dei ghiacciai osservati; fa eccezione solo la temporanea fase di avanzata dei ghiacciai degli anni 70 e inizio anni 80 (nel 1980, solo il 7% dei ghiacciai risultava in ritiro) (Figura 6.22).

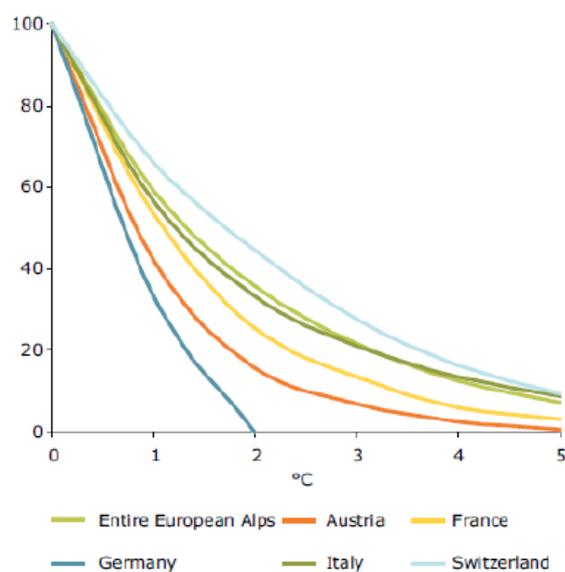


**Figura 6.22:** Percentuale di ghiacciai in avanzata (blu), stazionari (verde) e in ritiro (rosso) nelle Alpi italiane (a) e nei tre settori in cui sono suddivise (b, c, d) nel periodo 1980-1999. In parentesi è riportato il numero di ghiacciai che costituisce il campione (Fonte: Comitato Glaciologico Italiano, 2006).

Solo nel 2003 i ghiacciai alpini hanno perso mediamente tra il 5% e il 10% del loro volume complessivo (Verstraete et al., 2008). Questo trend si è mostrato specialmente accentuato durante il ventennio 1980-2000, periodo in cui l'arretramento medio complessivo dei ghiacciai presenti lungo l'arco alpino italiano è stato dell'ordine di 4,8 m/anno, con complessivi 95,4 m di arretramento medio. Il processo ha interessato maggiormente i ghiacciai situati fra i 2.700 e i 3.100 m di altitudine, range nel quale si trova la maggior parte dei ghiacciai nazionali. La fase di regresso è stata più importante per il settore lombardo, per il quale il ritiro medio cumulato dei fronti è risultato circa 150 m nello stesso ventennio. Possono essere evidenziati due eventi di arretramento particolarmente intensi: l'anno 1991, con una riduzione della superficie glaciale Italiana totale di circa 117,4 km<sup>2</sup>, e il 2003, nel quale la riduzione è stata di circa 92,4 km<sup>2</sup>, paria al -21% (Smiraglia et al., 2008). Per quanto riguarda gli Appennini centrali, nel Ghiacciaio del Calderone è stata riportata una tendenza paragonabile a quella dei ghiacciai alpini, con un ritiro costante durante gli ultimi due secoli associata al susseguirsi di prolungati periodi con bilancio di massa negativi, con una perdita totale cumulata dello spessore di circa 4 m solo durante il periodo 1995-2006 (Pecci et al., 2008).

### **Scenari futuri**

Per quanto riguarda l'evoluzione futura dei ghiacciai, le simulazioni effettuate a livello delle Alpi svizzere proiettano verosimili perdite areali nei ghiacciai italiani fino all'80% rispetto alle condizioni attuali, nell'ipotesi di un ulteriore riscaldamento di 2 °C entro il 2060 (Zemp et al., 2006). Se le temperature estive dell'aria aumentassero di 3°C, si stima che le Alpi europee potrebbero perdere circa l'80% della copertura glaciale media relativa al periodo 1971-1990 (Figura 7.22) (Sugiyama et al., 2007) e i ghiacciai posti al di sotto dei 2.000 m potrebbero addirittura scomparire completamente (Pauli et al., 2007).



**Figura 7.22:** *Variazione della percentuale residua stimata della copertura glaciale delle Alpi europee rispetto al periodo 1971-1990 per diversi scenari di aumento della temperatura media estiva (range da 1 °C a 5 °C di aumento rispetto alla media del trentennio 1961-1990) (Fonte: Zemp et al., 2006).*

Nel caso specifico delle proiezioni sull'evoluzione dei ghiacciai, il loro arretramento potrebbe essere notevolmente accelerato a causa di diversi processi di retroazione (feedback), come la proliferazione di laghi glaciali, che, a causa della loro minore riflessione rispetto al ghiaccio e alla neve, assorbono maggiormente l'energia solare. Nel versante italiano delle Alpi, nonostante la mancanza di simulazioni specifiche e complessive, è molto probabile che la riduzione possa essere ancora più marcata rispetto a altre aree delle Alpi europee, data la posizione geografica maggiormente esposta a un'elevata insolazione e all'influenza delle ondate di calore di matrice africana (Voigt et al., 2010).

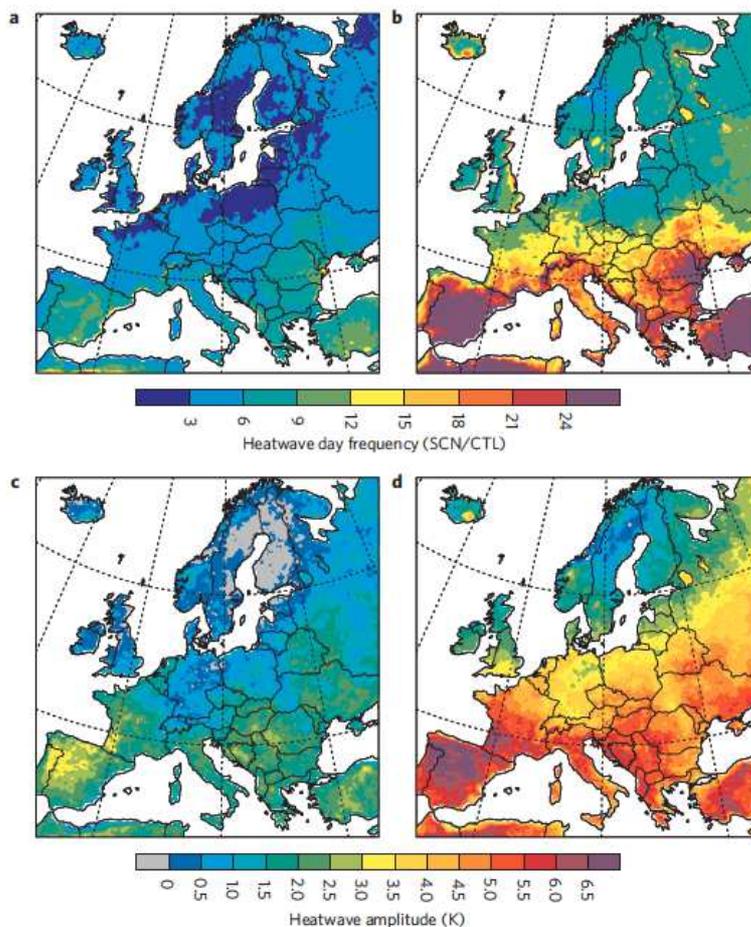
## ***Eventi climatici estremi: tendenze attuali e previsioni future***

### ***Ondate di calore: distribuzione e durata delle ondate di calore***

#### ***Tendenze e previsioni***

Le ondate di calore (heat waves), sono definite come periodi eccezionalmente caldi di almeno 6 giorni consecutivi, durante i quali la temperatura osservata supera il 90° percentile delle temperature medie usualmente sperimentate in una data regione, per un periodo stabilito (Klein Tank & Konnen, 2003). Diversi autori hanno evidenziato che per il territorio italiano, comprese le aree appenniniche e alpine, le ondate di calore presentano una tendenza molto importante ad aumentare la loro intensità e hanno triplicato la loro frequenza di occorrenza negli ultimi 50 anni, con effetti estremamente allarmanti a livello ecologico e socio-economico (Beniston et al., 2005; Baldi et al., 2006).

L'episodio di ondata di calore in Italia più grave per durata e intensità, ma anche per i suoi effetti su: salute umana, approvvigionamento energetico e impatti sulle aree montane, risale all'estate del 2003, tra l'altro l'evento più caldo avvenuto in Europa dal 1540 (Levinson & Waple, 2004). Nella sola estate del 2003 i ghiacciai alpini hanno perso mediamente tra il 5 e il 10% del loro volume complessivo: l'evento di arretramento più imponente degli ultimi due secoli. Le proiezioni future ottenute da diversi modelli climatici indicano un incremento notevole della persistenza delle ondate di calore, sia in termini di frequenza sia di intensità (Figura 8.22).



**Figura 8.22:** Incremento della frequenza (in giorni) e dell'intensità (in °C) delle ondate di calore proiettato per il periodo 2021-2050 (a, c) e per il periodo 2071-2100 (b, d) rispetto all'intervallo di riferimento (1961-1990). Scenario A1B. (Fonte: Fisher et al., 2010).

Per l'area dell'arco alpino e la catena appenninica è previsto un aumento di circa 13-30 giorni di estrema calura nella stagione estiva nel periodo 2021-2050 e di circa 45-60 giorni nel periodo 2071-2100 (Fisher et al., 2010). Ciò corrisponde a un aumento del numero medio di ondate di calore da 1 episodio ogni 3 o 4 stagioni estive (1961-1990) a 2 o 3 ondate di calore ogni estate (2071-2100). Inoltre si stima che la temperatura massima raggiunta durante questi eventi estremi s'innalzi di

circa 2 °C nel periodo 2021-2050, e di quasi 5 °C nell'intervallo 2071-2100 rispetto al 1961-1990, con gravi conseguenze sui sistemi di alta montagna.

### *Eventi siccitosi*

I periodi siccitosi sono definiti quali periodi o eventi climatici con valori di precipitazioni al di sotto del limite inferiore della variabilità climatica media della zona studiata, cioè, episodi di prolungata assenza o carenza di precipitazioni che inevitabilmente influiscono sull'intero ciclo idrologico. Come riportato nei paragrafi precedenti, negli ultimi 120 anni si è assistito a una leggera diminuzione del numero di giorni piovosi nelle aree alpine e appenniniche italiane. Accanto alla riduzione del numero di giorni piovosi, è anche in atto un aumento del numero di giorni siccitosi con un trend di + 2 eventi siccitosi per secolo (Lionello et al., 2008). Questo andamento, insieme all'aumento della lunghezze massima degli eventi siccitosi, è particolarmente rilevante nella regione nord-ovest della penisola italiana (coincidente con le Alpi occidentali) e nel meridione (coincidente con gli Appennini meridionali) (Brunetti et al., 2002).

Per quanto riguarda gli scenari futuri, recenti studi concordano nel prevedere per l'Italia il raddoppio della frequenza degli eventi siccitosi entro il 2050, e persino il triplicarsi entro la fine del secolo (Lehner et al., 2006; Giannakopoulos et al., 2009). Per la catena appenninica il trend d'incremento è più evidenziato rispetto all'arco alpino. Inoltre, gli episodi siccitosi durante il secolo XXI potrebbero diventare più intensi oltre che più frequenti, con un aumento di intensità del 25% rispetto ai valori attuali. L'aumento dei periodi siccitosi negli ultimi 50 anni ha mostrato una chiara stagionalità, interessando soprattutto le stagioni invernale ed estiva. Ci si aspetta che tale caratteristica stagionale continui anche in futuro.

Considerando le proiezioni di diminuzione delle precipitazioni durante la stagione estiva e la conseguente riduzione dei volumi di deflusso per la diminuzione dell'apporto idrico proveniente dallo scioglimento delle nevi e della criosfera in generale, si può affermare che la siccità è una tipologia di evento estremo che le Alpi e gli Appennini dovranno prepararsi ad affrontare con maggiore frequenza nei prossimi decenni.

### *Tempeste*

La regione dell'arco alpino è particolarmente esposta all'influenza di tempeste invernali (Fuhrer et al., 2006). Accompanate solitamente da venti a elevata intensità, esse possono essere molto distruttive e causare gravi danni alle infrastrutture abitative e di trasporto, e alle foreste e alla loro biodiversità, provocando impatti socio-economici considerevoli, specialmente a livello dell'industria forestale e del settore assicurativo (OECD, 2007). È molto probabile che, a causa dei cambiamenti climatici, le tempeste invernali molto intense siano più frequenti in tutto l'arco alpino, amplificando i rischi connessi in tutti i settori montani (Beniston, 2007). Le previsioni future dei modelli HadRM3H proiettano per il periodo 2071-2100 un incremento della frequenza di tempeste intense compreso tra il 10% e il 30% rispetto al periodo di riferimento (1961-1990) nelle aree del Nord e Centro Europa, compresi l'arco alpino e la catena appenninica (Fuhrer et al., 2006). Questo aumento è molto probabilmente correlato a: la recente intensificazione dei sistemi di basse

pressioni, i maggiori gradienti di temperatura e l'intensificazione della circolazione atmosferica, tutti fenomeni correlati ai cambiamenti climatici. Per quel che riguarda invece le tempeste estive, non ci sono evidenze sufficientemente solide per affermare un futuro incremento della loro frequenza e intensità (OcCC, 2003).

## **Impatti dei cambiamenti climatici sulle aree montane italiane**

Questa sezione presenta un quadro sinottico dello stato delle conoscenze sui principali impatti dei cambiamenti climatici sulle aree montane italiane, e una loro valutazione qualitativa e semi-quantitativa in termini socio-economici e ambientali. Le 11 aree tematiche (o settori) ritenute rilevanti sono esposte per macrosettori (uno fisico-biologico e uno socio-economico), focalizzandosi sugli aspetti socio-economici e ambientali che sembrano presentare gli elementi di maggiore vulnerabilità.

### *Macro-settore fisico-biologico*

#### *Ciclo idrologico e qualità delle acque*

I cambiamenti in atto e attesi nella distribuzione, durata e intensità delle precipitazioni liquide e nevose, l'incremento dell'intensità dei periodi siccitosi e il maggiore tasso di evapotraspirazione a seguito dell'aumento delle temperature medie avranno come conseguenze:

- I. modifiche nel regime stagionale dei deflussi dei fiumi e livelli dei laghi di montagna;
- II. alterazione delle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche delle acque superficiali;
- III. aumento dell'erosione e dei fenomeni di franamento;
- IV. cambiamenti degli ecosistemi;
- V. probabile scomparsa dei ghiacciai alpini (temi, questi ultimi, che sono tuttavia trattati in sezioni a parte).

I) Nei prossimi decenni ci si attende una diminuzione dei volumi di deflusso più consistente nelle stagioni primaverile ed estiva, periodi in cui l'alterazione dei processi idrologici di fiumi e laghi sarà più accentuata (Beniston et al., 2007). Le proiezioni sull'evoluzione futura del ruscellamento (runoff) dei corsi d'acqua sono parzialmente discordanti a seconda del modello e degli orizzonti temporali considerati: per il trentennio 2020-2050, il modello Echam4 stima una leggera diminuzione del ruscellamento superficiale, mentre il modello HadCM3 addirittura un leggero aumento in alcune aree dell'arco alpino. Tale incremento sarebbe attribuibile al temporaneo ma effimero aumento del ruscellamento montano in risposta a una prima fase di scioglimento accelerato della criosfera. Questa ipotesi sarebbe consistente con quanto previsto per in trentennio successivo (2070-2100) nel quale, una volta finita la fase iniziale di scioglimento accelerato della criosfera, entrambi i modelli concordano nel prevedere una chiara diminuzione del ruscellamento

compreso tra il 5 % e 25% nell'arco alpino e tra il 25% e 50 % nella catena appenninica, entrambi rispetto al periodo di riferimento (1961-1990) (Alcamo et al., 2007).

Le portate dei fiumi e dei torrenti alpini e appenninici svolgono un ruolo cruciale nel mantenimento della qualità degli ecosistemi acquatici montani. L'alterazione dei regimi di deflusso, indotta da una maggiore variabilità climatica, peggiora la vulnerabilità idrologica dei corsi d'acqua, pregiudicando lo stato complessivo di ecosistemi ad alto valore ecologico (Döll & Zhang, 2010). Merita speciale attenzione l'impatto climatico dei cambiamenti climatici sui laghi di alta quota (epiglaciali e periglaciali). La persistenza di questi ecosistemi, caratterizzati da un'elevata vulnerabilità intrinseca, potrebbe essere ulteriormente compromessa dall'imminente scomparsa dei ghiacciai da cui derivano e, di conseguenza, dalla futura maggiore dipendenza idrica dagli apporti pluviali (Cantonati & Lazzara, 2006).

II) E' molto probabile che i mutamenti climatici contribuiscano alla diminuzione della qualità delle acque montane attraverso l'alterazione delle loro caratteristiche fisico-chimiche e biologiche (EEA, 2007; EEA, 2009; EEA, 2012). Sia in ambienti montani lotici (fiumi, ruscelli e corsi d'acqua) che specialmente in ambienti lentici (laghi di alta quota, laghi subalpini e zone umide), i cambiamenti climatici stanno causando un aumento della temperatura delle acque che, in congiunzione ad altri impatti secondari, potrebbe compromettere la qualità delle acque e provocare ulteriori impatti sugli usi della risorsa idrica e sugli ecosistemi (Van Vliet et al., 2012). Nei grandi laghi sub-alpini (Lago Maggiore, Lago d'Iseo, Lago di Garda e Lago di Como) la temperatura delle acque è aumentata di circa 0,1 - 0,3 °C per decennio dal 1950 (Dokulil et al., 2006). Nei prossimi decenni ci si attende un riscaldamento ancora maggiore delle acque che, nel caso dei laghi alpini e appenninici, sarà presumibilmente più accentuato negli strati superficiali della colonna d'acqua rispetto a quelli profondi. Tale situazione comporterebbe una maggiore stabilità termica, e una conseguente riduzione degli eventi di circolazione delle acque (Peeters et al., 2002), con ricadute negative sui processi di ossigenazione degli strati profondi e sulla qualità chimica delle acque lacustri. Queste condizioni, già verificatesi durante la stagione estiva del 2009 (Nöges et al., 2011), avrebbero importanti implicazioni negative per gli ecosistemi lacustri (vedere capitolo "Ecosistemi di acque interne e di transizione").

Oltre a ciò, la maggiore intensità delle precipitazioni provocherà molto probabilmente un aumento dei processi erosivi e un conseguente ampliamento del trasporto di nutrienti e sedimenti ai corsi d'acqua (Jones et al., 2012). Il fenomeno sarà intensificato dalla prevista maggiore intensità dei fenomeni di evaporazione dell'umidità del suolo e dei tassi di mineralizzazione del carbonio trattenuto nella struttura edafica (EEA, 2012), favorendo l'intensificazione dei processi di erosione idrica del suolo. La maggiore concentrazione di nutrienti, il prolungamento dei periodi di magra, l'aumento complessivo della temperatura delle acque e le alterazioni fisico-chimiche che ne derivano, possono, specialmente nei laghi, amplificare la propensione ai fenomeni di eutrofizzazione (Ambrosetti et al., 2006). L'aumento delle condizioni favorevoli all'esplosione di fioriture di alghe potranno peggiorare ulteriormente la qualità delle acque di balneazione (Mosello et al., 2010; Salmaso, 2012).

Inoltre, le variazioni del regime delle precipitazioni potrebbero ridurre la ricarica delle falde acquifere in alcune stagioni e compromettere la disponibilità delle risorse idriche sotterranee per scopi di consumo umano nelle aree pedemontane, oltre che la salute degli ecosistemi che dipendono da questa risorsa in ambiente alpino e appenninico (i cosiddetti: Groundwater Dependent Ecosystems; per approfondimenti vedere il capitolo “Ecosistemi di acque interne e di transizione”).

Infine, un peggioramento del rapporto di diluizione tra acque sotterranee e inquinanti dovuto a una riduzione dei volumi di ricarica indotta dai cambiamenti climatici (Dankers & Feyen, 2009), potrebbe avere delle conseguenze negative in termini di qualità e conseguente diminuzione della disponibilità di acqua adatta al consumo umano.

### *Ecosistemi, biodiversità e aree protette*

Numerosi studi concordano che entro la fine di questo secolo la causa più importante di perdita di biodiversità e estinzione di specie a livello mondiale sarà il mutamento delle condizioni climatiche (IPCC, 2007). Gli ecosistemi montani, caratterizzati da un'elevata biodiversità floristica, faunistica e ricchezza di specie endemiche, sono specialmente vulnerabili alle variazioni delle condizioni climatiche (Singer & Parmesan, 2010). Negli ambienti alto-montani il clima è il principale regolatore dell'ecosistema, e perciò le comunità animali e vegetali si trovano in un delicato stato di equilibrio con le condizioni meteo-climatiche, specialmente con le temperature. Come conseguenza, anche piccole variazioni di temperatura possono influenzare notevolmente la sopravvivenza di molte specie. A tale riguardo, sono molti gli studi che hanno evidenziato i diversi impatti che le mutate condizioni climatiche stanno avendo sulla biodiversità montana, e che molto probabilmente avranno anche in futuro considerando gli scenari climatici più probabili (Petriccioni et al., 2001; Dirnbock et al., 2011; Schröter et al., 2005; Amano et al., 2010; Singer & Parmesan, 2010; Thuiller et al., 2011; Chen et al., 2011; IPCC, 2012). Le risposte della biodiversità montana al mutamento del clima possono essere di diversa natura, e comprendono, in termini generali, modifiche della fisiologia (es. adattamenti fisiologici attraverso processi micro-evolutivi) e della fenologia (es. variazioni del ciclo di vita) di piante e animali e variazioni della distribuzione delle popolazioni (si veda il capitolo “Ecosistemi terrestri”, Classificazione degli impatti dei cambiamenti climatici globali).

Gli effetti dei cambiamenti climatici sono notevoli sulle specie vegetali di alta quota, in particolare nelle vallate alpine. La riduzione della copertura nevosa avvenuta negli ultimi anni e soprattutto la diminuzione del tempo di permanenza delle nevi stanno inducendo risposte fisiologiche negli organismi con importanti modifiche a livello di composizione delle specie floristiche (si rimanda al capitolo “Ecosistemi terrestri”, Modifiche nella fisiologia, produttività e abbondanza). Inoltre, i cambiamenti climatici stanno provocando lo spostamento nel calendario d'importanti eventi stagionali della flora di alta quota, come il germogliamento, la fioritura, la dormienza e l'ibernazione, poiché molte di queste risposte fenologiche sono innescate dalle temperature (Urhausen et al., 2011) e da eventi climatici estremi (Menzel et al., 2011). Le modifiche delle fenofasi hanno implicazioni dirette sulla stagione di crescita e quindi sulla produttività dei sistemi

alto-montani, con ripercussioni sul funzionamento dell'intero ecosistema (si rimanda al capitolo "Ecosistemi terrestri", Modifiche del ciclo di vita). Infine, i cambiamenti climatici inducono la risalita verso quote più elevate delle specie che si sviluppano unicamente in un intervallo di temperature molto stretto (microterme) o che hanno bisogno di essere ricoperte di neve per un determinato periodo per completare il loro ciclo vitale (generalmente specie endemiche, caratterizzate da areali di distribuzione molto ristretti, come la *Salix herbacea*). I loro spostamenti lasciano il posto a piante che sopravvivono bene in assenza di nevi o temperature più miti (Guisan & Theurillat 2001; Cannone et al., 2007), e in particolare alle specie termofile provenienti dalle fasce bioclimatiche inferiori che vengono favorite in termini competitivi dalle mutate condizioni climatiche (Gottfried et al., 2012). Come risultato, durante il secolo scorso molte delle specie vegetali montane hanno sperimentato un progressivo spostamento dei loro areali di distribuzione ad altitudini maggiori, a un tasso di circa 0,5–4,0 m per decennio nell'arco alpino (Parolo & Rossi, 2007; Brancaleoni et al., 2007). Spostamenti di entità paragonabile sono stati rilevati anche negli Appennini (Rossi et al., 2004; Stanisci et al., 2005; Petraglia et al., 2007; Cannone et al., 2007; Petriccione, 2008; Abeli et al., 2012; per maggiori approfondimenti si rimanda al capitolo "Ecosistemi terrestri", Modifiche nella distribuzione delle specie).

Per quanto concerne le proiezioni future, un recente studio sull'evoluzione di 150 specie vegetali di alta quota nelle Alpi europee prevede che, entro la fine del secolo XXI, ci sarà una riduzione del loro areale di distribuzione di circa il 44-50% rispetto al periodo di riferimento (Dullinger et al., 2012). Questi risultati concordano con le conclusioni di un altro studio volto sulla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici su 2.632 specie di piante delle principali catene montuose europee: entro il trentennio 2070-2100 la perdita di habitat potenzialmente adatto sarà sostanzialmente maggiore per le specie distribuite ad altitudini più elevate (Engler et al., 2011).

Anche nelle foreste montane la risposta delle specie ai cambiamenti climatici consiste prevalentemente nello spostamento del loro areale di distribuzione verso latitudini maggiori o altitudini più elevate alla ricerca di condizioni termiche più adatte per completare il loro ciclo vitale (si veda il capitolo "Foreste" Tabella 1.11). Ciò sta originando mutamenti nelle biocenosi boschive alpine e appenniniche che, in congiunzione con altri impatti correlati ai cambiamenti climatici (incremento di eventi climatici estremi, incremento del rischio di incendi boschivi, maggiore potenziale presenza di patogeni, alterazione della composizione dell'atmosfera), molto probabilmente altereranno in maniera considerevole le funzioni produttive, ecologiche e conservazionistiche da esse svolte (Vilà et al., 2010; Hanewinkel et al., 2012). Tra le funzioni ecosistemiche più a rischio vi sono il mantenimento della qualità delle acque, la protezione dei suoli e dei versanti dai processi erosivi, la regolazione del ciclo idrologico e la capacità dei boschi di agire come sink di carbonio attraverso l'assorbimento di CO<sub>2</sub> atmosferico (si veda il capitolo "Foreste", Impatti dei cambiamenti climatici sulla funzionalità e sui servizi ecosistemici delle foreste).

Analogamente alle specie vegetali, anche le specie animali di montagna possono subire alterazioni fenologiche (Reading, 2007), spostamento degli areali di distribuzione (Chen et al., 2011) e modifiche delle interazioni tra le diverse specie (Visser & Holleman, 2001) come risposta ai

cambiamenti climatici (si veda il capitolo “Ecosistemi terrestri”, Fauna). È previsto che le specie caratterizzate da una maggiore capacità di spostamento, come gli insetti o gli uccelli migratori, possano adattarsi più facilmente alle nuove condizioni climatiche. Nonostante ciò, queste specie potrebbero subire modifiche sostanziali nei loro schemi migrazionali e cicli di vita (Bloom et al. 2012), con conseguenze potenzialmente negative a livello di ricchezza di specie, composizione delle comunità faunistiche montane e interazioni tra le specie (Gregory et al., 2009). Un'altra risposta della fauna montana ai cambiamenti climatici è lo spostamento a latitudini e/o altitudini maggiori alla ricerca di nuove aree, dove le condizioni climatiche siano ancora adeguate o lo siano divenute, modificando la loro distribuzione geografica originale. I movimenti di risalita sono spesso limitati da altri fattori di natura antropica come la frammentazione dell'habitat o i cambiamenti di uso del suolo, che pongono ostacoli alla migrazione (Dirnböck et al., 2011). Di conseguenza, alcune specie sono spesso costrette a concentrarsi nelle piccole fasce di habitat adatto rimasto, con un conseguente incremento del rischio di estinzione per scarsità di alimenti e depressione da inbreeding (IPCC, 2007; Maclean & Wilson, 2011). Specie montane endemiche, con esigenze specifiche di biotopo o caratterizzate da uno stretto intervallo di distribuzione, rientrano nelle specie maggiormente a rischio (Lemoine et al, 2007). Tuttavia, poiché l'areale di distribuzione di molte specie animali è strettamente legato a quello di una particolare tipologia di vegetazione o biotopo, lo spostamento dell'areale dipenderà anche dalla capacità di spostamento della vegetazione. Come conseguenza, se lo spostamento della vegetazione avviene con una velocità ridotta rispetto alla rapidità con cui variano le condizioni climatiche, i nuovi areali di distribuzione risulteranno sostanzialmente ridotti rispetto a quelli originali. Nell'arco alpino questo fenomeno sarà specialmente drammatico per le specie animali associate al biotopo di tundra alpina, per il quale si prevede una drastica riduzione dell'estensione (Hickler et al., 2010). Oltre a questi processi, gli ambienti montani sono molto spesso soggetti ad altre pressioni associate alle attività socio-economiche (frammentazione dell'habitat, degrado e perdita di habitat per costruzione d'infrastrutture di trasporto, abitative, energetiche o legate alle attività turistiche invernali e introduzione di specie esotiche), che agiscono in sinergia con gli stressor climatici (Mantyka-Pringle et al., 2012), ponendo importanti sfide alle politiche di adattamento e di conservazione (Burgiel & Muir, 2010). Gli ambienti umidi di alta quota in particolare, tra cui quelli associati alla vegetazione di torbiere, paludi, ruscelli e laghetti, sono stati considerati tra gli ecosistemi di montagna più vulnerabili a queste sinergie (EEA, 2012).

### *Rischi naturali: rischi glaciali, stabilità dei versanti e valanghe*

Come conseguenza dell'incremento complessivo delle temperature medie, delle massime estive, delle minime invernali e della maggiore frequenza delle ondate di calore, nei prossimi decenni è previsto che si acceleri il processo di scomparsa dei ghiacciai e di scioglimento del permafrost alpino (EEA, 2012; Diolaiuti et al., 2012). Le aree interessate, finora sostanzialmente stabili, molto probabilmente diventeranno gradualmente più instabili e soggette a maggiore rischio di eventi quali: crolli, frane e smottamenti nei pendii più ripidi (Margottini et al., 2007). In funzione dei volumi coinvolti e dell'energia del rilievo, questi crolli possono evolvere in valanghe miste o di

ghiaccio e detriti, caratterizzate da un'alta velocità di propagazione e da un'elevata capacità di espansione.

L'accelerazione del ritiro dei ghiacciai alpini (contrazione sia areale che volumetrica), è associata a una rapida liberazione di masse di sedimenti normalmente intrappolati nei grandi volumi di ghiaccio (Gobiet et al., 2013). Il fenomeno tende a modificare l'assetto morfologico e le caratteristiche dinamiche dei ghiacciai, creando i presupposti per successive situazioni di instabilità geologica potenzialmente pericolosa nelle zone interessate dal fenomeno, soprattutto nei versanti in forte pendenza. La degradazione del permafrost, quindi, contribuisce all'intensificazione di fenomeni franosi e crolli di diversa natura (Gruber et al., 2004).

Un'altra fonte di rischio proviene da laghi glaciali e morene alpine non consolidate che si muovono verso valle dopo lo scioglimento delle pareti di ghiaccio che li contengono, rilasciando grandi quantità di acqua e detriti (Smiraglia et al., 2008; Marchi et al., 2009). Nel caso delle valanghe, la loro frequenza e intensità molto probabilmente diminuiranno alle basse e medie altitudini, in particolare le valanghe di neve fresca, mentre aumenterà la frequenza di quelle di tipo umido o di consistenza piuttosto liquida. Tuttavia, si rende necessario l'ulteriore sviluppo di metodologie numeriche e statistiche per comprendere le complicate relazioni che intercorrono tra il verificarsi di valanghe e i parametri meteorologici in cambiamento nelle zone montane (ONERC, 2008).

Questi fenomeni possono mettere in grave pericolo luoghi di frequentazione turistica, centri abitati e altre infrastrutture delle aree montane (di trasporto, energetiche o sciistiche), specialmente nelle vallate alpine ad alta quota. Le infrastrutture turistiche invernali, per la loro vicinanza a zone di potenziale aumento dei rischi glaciali, sono particolarmente vulnerabili al fenomeno. La maggiore instabilità geologica, l'incremento dei movimenti di massa, colate detritiche e valanghe di diversa natura possono determinare la destabilizzazione delle fondamenta delle infrastrutture turistiche di alta montagna (ad es. funivie, alberghi e ristoranti) oltre che risultare in una minaccia diretta sui turisti che svolgono le loro attività in ambienti di alta quota. Il pericolo esistente è reso più elevato dall'espansione degli insediamenti e di nuove infrastrutture turistiche in zone già a rischio, che diventeranno ancora più instabili a causa dei mutamenti climatici. Perciò, le zone montane e specialmente quelle alpine si profilano come un comparto del territorio nazionale altamente vulnerabile e sensibile agli effetti dei cambiamenti climatici sui rischi naturali.

### La gestione integrata dei rischi naturali nello spazio alpino

L'entità dei danni causati dagli eventi naturali nello spazio alpino è andata continuamente aumentando negli ultimi 30 anni (Figura 9).

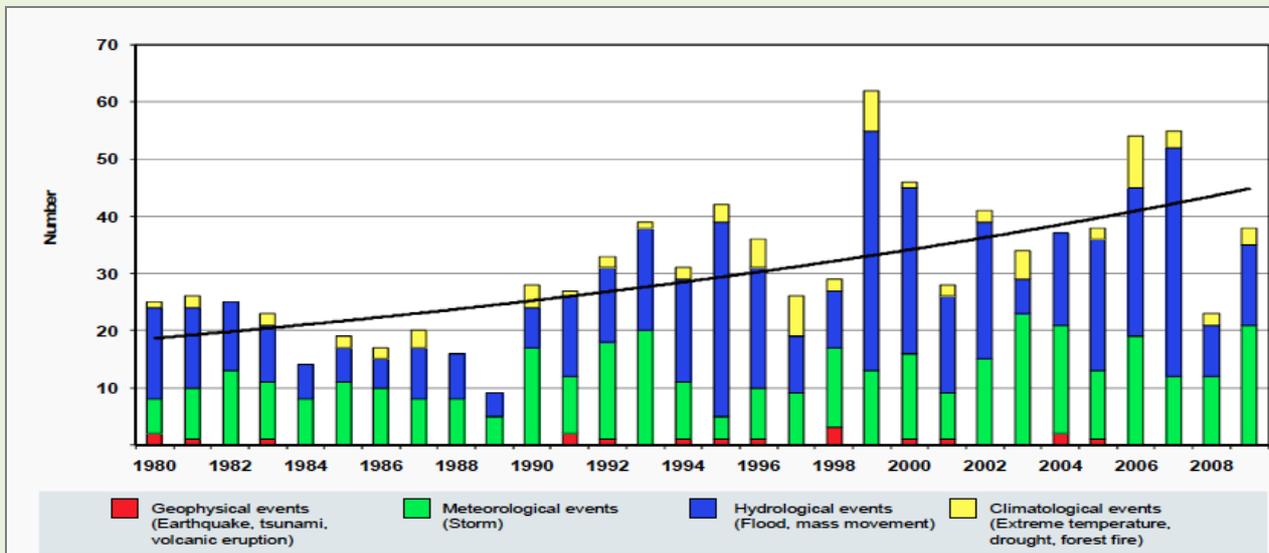


Figura 9.22: Trend evolutivo del numero di eventi naturali catastrofici nelle Alpi nel periodo 1980 - 2009. (Fonte: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCatSERVICE, 2012).

Le cause principali comprendono: da un lato, l'evoluzione di fattori socio-economici come l'incremento del numero e del valore delle infrastrutture potenzialmente vulnerabili in aree alpine (incremento dell'esposizione e della vulnerabilità); dall'altro la variazione di fattori meteo-climatici, come l'incremento in frequenza e intensità delle tempeste, la maggiore intensità delle precipitazioni o il maggior numero di episodi di temperature estreme. Queste variazioni del clima sono in grado di influenzare il verificarsi degli eventi naturali estremi, risultando in un aumento dell'intensità e della frequenza di eventi catastrofici con grandi impatti socio-economici, quali: eventi alluvionali, eventi franosi, valanghe e rischi glaciali. Alla luce di ciò, nel 2004 la Convenzione delle Alpi ha riconosciuto la necessità di sviluppare una strategia comune a tutto lo spazio alpino (transfrontaliera) di gestione dei rischi naturali, come strumento strategico per ridurre i rischi montani considerando esplicitamente le implicazioni dei cambiamenti climatici. A tale riguardo, nella VIII Conferenza Alpina è stata approvata la creazione della **Piattaforma Alpina Sui Rischi Naturali (PLANALP - Natural Hazards Platform-)** come strumento strategico per mitigare i rischi naturali e fornire un quadro d'indirizzo ai paesi della Convenzione nell'adozione e implementazione di appropriate misure di adattamento. Concretamente, al gruppo di esperti della piattaforma è stato delegato il compito di garantire una rete efficace di coordinamento delle attività di mitigazione dei rischi naturali sul territorio alpino riguardante la gestione integrata dei rischi montani (analisi degli strumenti di gestione dei rischi), lo sviluppo di Early Warning Systems e di una rete di "Risk Dialogue" o processo partecipativo per migliorare la percezione dei rischi e i processi decisionali. Con la conclusione nel 2008 del progetto internazionale **ClimChAlp - Climate change, impacts and adaptation strategies** è stata posta la pietra miliare per un **Piano d'azione per le Alpi**, in cui la tematica dell'adattamento ai cambiamenti climatici è assunta come un problema urgente da affrontare.

Il progetto ha posto le basi scientifiche e elaborato raccomandazioni specifiche per la gestione degli impatti dei cambiamenti climatici e per le strategie di adattamento nello spazio alpino. Concretamente il Work Package 5 stabilisce le basi per il monitoraggio e la modellizzazione dei rischi naturali, elencando un insieme di misure e indicazioni per l'adattamento dei processi di valutazione integrata dei rischi naturali montani, con speciale attenzione ai rischi derivanti dalla fusione accelerata dei ghiacciai e dal degrado del permafrost. [PLANALP-db](#), che costituisce un completo database d'informazioni rilevanti in materia di gestione dei rischi nello spazio alpino basato sulla raccolta delle tecniche esistenti di gestione dei rischi e di casi pratici di gestione in ambiente alpino. Infine, sulla base delle raccomandazioni formulate nel documento strategico del progetto ClimChAlp, è stato sviluppato il progetto [AdaptAlp - Adaptation to Climate Change in the Alpine Space](#), il cui Work Package 6 ha il compito di risolvere le questioni emerse nel corso del progetto ClimChAlp in riferimento all'attuazione pratica dell'adattamento della gestione integrata dei rischi naturali nelle regioni alpine alle sfide emergenti dai mutamenti del clima. Il lavoro svolto si è concentrato sull'aggiornamento dello stato dell'arte in materia di gestione integrata dei rischi montani, sui processi partecipativi e cooperativi nella valutazione dei rischi naturali a livello locale, sulla comunicazione, sull'educazione e processi formativi e sullo sviluppo di nuove metodologie e tecniche per il raffinamento della gestione dei rischi collegati ai cambiamenti climatici.

### *Degrado del suolo: erosione idrica e desertificazione*

L'erosione idrica è un fenomeno complesso e molto grave di degrado del suolo (Soil and Water Conservation Society, 2003) influenzato principalmente da: I) caratteristiche intrinseche del suolo (pendenza, struttura), II) copertura vegetale del suolo, e III) fattori climatici dell'area in questione. Le regioni alpine e appenniniche italiane sono caratterizzate da un elevato tasso di erosione idrica, con circa il 30% del territorio montano a rischio estremamente alto (Bosco et al., 2008).

La vulnerabilità delle Alpi e degli Appennini al fenomeno di perdita di suolo fertile è imputabile alle loro caratteristiche geomorfologiche, al tipo di precipitazioni e ad altri fattori alterabili dai cambiamenti climatici. La riduzione della coesione dei suoli di alta quota a causa dell'accelerazione dei processi di scioglimento del permafrost alpino, il previsto incremento dell'intensità delle precipitazioni e quindi la maggiore capacità erosiva della pioggia e il previsto aumento degli eventi meteorologici estremi (ondate di calore e periodi siccitosi) molto probabilmente incrementeranno il rischio di degrado della copertura edafica, specialmente nei versanti con pendenze pronunciate (Bischetti et al., 2001).

Anche la capacità protettrice della copertura del suolo potrebbe essere compromessa dai cambiamenti climatici. Da un lato, l'incremento delle temperature medie accelera il processo di digestione della materia organica contenuta nel suolo, rendendo la struttura edafica più vulnerabile all'effetto erosivo della pioggia; dall'altro lato, il possibile incremento degli incendi boschivi, specialmente nell'intero arco alpino e nell'Appennino settentrionale (Camia et al., 2008), potrebbe aumentare la vulnerabilità dei suoli montani all'erosione idrica, poiché, dopo l'evento, i

suoli sono sprovvisti della loro copertura vegetale protettiva, incrementando l'esposizione ai processi di degrado (Jones et al., 2012).

Infine, i cambiamenti degli usi del suolo, in campo agricolo e forestale, potrebbero agire in sinergia con i cambiamenti climatici nell'innalzamento del rischio di degrado dei suoli montani. Anche il rischio di desertificazione (processo di degrado acuto dei suoli che comporta la quasi irreversibile scomparsa della biosfera edafica) potrebbe aumentare a causa dei cambiamenti climatici, soprattutto in aree montane caratterizzate da suoli poco profondi (EEA, 2012). La variazione delle temperature e la maggiore incidenza dei fenomeni di erosione del terreno legati a eventi atmosferici violenti potrebbero, infatti, aumentare il rischio di desertificazione nelle aree montane aride, semi-aride e sub-umide secche della catena appenninica.

Il degrado del suolo nelle aree montane è in grado di limitare la produzione di beni e servizi, quali: diminuzione dell'uso e del valore dei suoli, danni alle infrastrutture, peggioramento della qualità dei corpi idrici di montagna e effetti negativi su biodiversità e habitat (EEA, 2012).

### *Qualità dell'aria*

Le variabili climatiche possono influenzare la qualità dell'aria a livello locale e regionale influenzando la velocità delle reazioni chimiche in atmosfera (produzione e trasformazione di inquinanti), l'altezza degli strati di rimescolamento degli inquinanti, le caratteristiche dei flussi d'aria che regolano il trasporto degli inquinanti e la rimozione e deposizione degli stessi.

I cambiamenti climatici stanno modificando le principali variabili climatiche che influenzano la formazione degli inquinanti atmosferici in aria (aumento delle temperature e del tasso d'irraggiamento solare), inducendo una maggiore formazione d'inquinanti secondari in atmosfera, in particolare dell'ozono troposferico e del particolato fine o PM<sub>10</sub> (Jacob & Winner, 2009). Inoltre, la recente evoluzione del clima montano in termini di diminuzione del numero di giorni piovosi, tendenza a un aumento della frequenza di periodi di stabilità atmosferica (Buffoni et al., 2003) e fenomeni d'inversione termica tipici delle valli montane, stanno creando condizioni sempre più sfavorevoli alla rimozione degli inquinanti atmosferici.

Infine, si ci si aspetta che l'aumento della frequenza di incendi boschivi (Giannakopoulos, et al. 2005) e ondate di calore (Fisher et al., 2010) aggravino ulteriormente gli episodi di inquinamento dell'aria in aree alpine e appenniniche. Sebbene le incertezze associate alle proiezioni climatiche future e la complessità dei fattori che interagiscono nel determinare la qualità dell'aria impediscano tuttora di giungere a conclusioni attendibili per le aree montane, molti scenari concordano nel prevedere un peggioramento generale della qualità dell'aria in tutta l'Europa Centrale, incluse le aree montane (Lindner et al., 2010).

## *Impatti sul macrosettore socio-economico*

### *Turismo*

Secondo le proiezioni dei principali modelli climatici, l'ulteriore riscaldamento del clima previsto per i prossimi decenni avrà importanti conseguenze per il settore turistico montano (OECD, 2007) e specialmente per il turismo invernale, la cui appetibilità dipende strettamente dalla presenza di una copertura nevosa stabile e durevole che permetta lo svolgimento degli sport di neve (Bigano & Bosello, 2007).

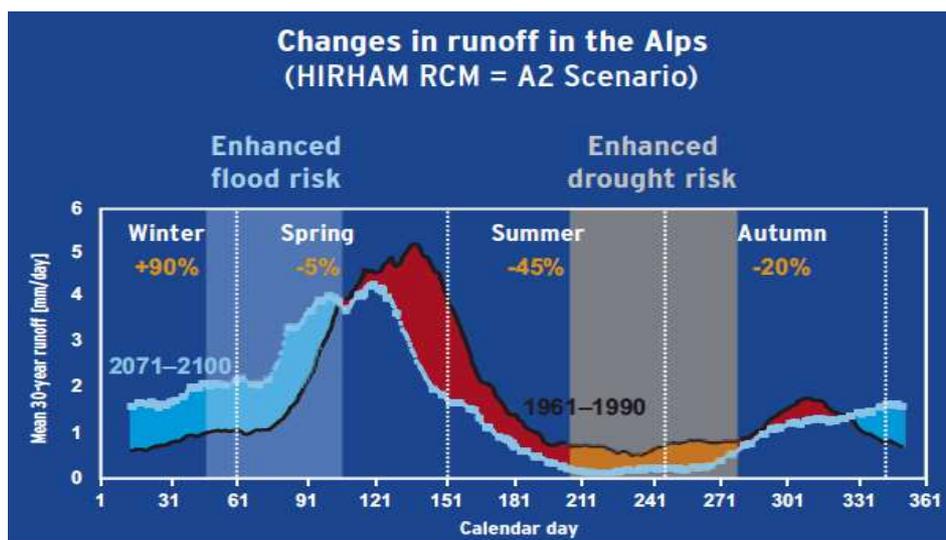
Diversi studi concordano nel prevedere che, assieme a una diminuzione delle precipitazioni nevose, nei prossimi decenni ci sarà anche una risalita sia del limite delle neviccate, sia della linea di affidabilità della neve (la cosiddetta LAN). Ciò si ripercuoterebbe seriamente sulla praticabilità delle piste e degli impianti sciistici, facendo sì che la maggior parte dei comprensori sciistici italiani abbiano la necessità di ricorrere sempre di più all'innevamento artificiale per poter soddisfare i requisiti minimi d'innevamento per il funzionamento degli impianti, con importanti ripercussioni a livello ambientale per l'ingente quantità di acqua richiesta e economico per le spese energetiche e di manutenzione degli impianti d'innevamento (CIPRA, 2004; Rixen et al., 2011). In alcune località l'aumento delle temperature potrà addirittura rendere inefficace anche l'innevamento artificiale, e alcuni comprensori sciistici saranno sicuramente destinati a dismettere le loro attività per una contrazione troppo elevata del fatturato turistico invernale (Progetto Kyoto, 2008). Oltre al turismo invernale, anche il turismo estivo montano potrebbe essere influenzato dai cambiamenti climatici (ulteriori approfondimenti sono stati riportati nel capitolo "Turismo" al quale si rimanda per completare l'analisi di questo settore).

### *Ambiente costruito e mobilità*

Le aree montane italiane, e specialmente quelle alpine, presentano caratteristiche intrinseche di particolare esposizione e sensibilità agli eventi naturali estremi. Nell'ultimo trentennio la categoria prevalente è stata quella di esondazioni e alluvioni seguite da tempeste (vedere relativo paragrafo in questo capitolo), eventi franosi, valanghe (vedere relativo paragrafo) e incendi boschivi (OECD, 2007). A seguito dei cambiamenti climatici, è molto probabile che tutti questi fenomeni interessino con maggiore frequenza il territorio alpino e appenninico, e in particolare i fenomeni alluvionali e di piene improvvise (Gobiet et al., 2013).

La variazione del regime delle piogge, con un minor numero di giorni piovosi e un maggior numero di eventi di precipitazioni intense, la diminuzione delle precipitazioni nevose in inverno e il progressivo innalzamento del limite delle neviccate oltre allo scioglimento accelerato dei ghiacciai, potrebbero agire in sinergia aumentando la frequenza e intensità degli eventi idrogeologici pericolosi. Nel caso delle fasce fluviali del fiume Po nelle Alpi centrali, si prevede che i tempi di ritorno delle alluvioni che attualmente hanno periodi di ritorno di 100 anni si riducano fino a 20 anni (Dankers & Feyen, 2009).

È anche previsto che i periodi di più alto rischio d'inondazione e piene improvvise abbiano una marcata stagionalità. In particolare, Beniston et al. 2007 proiettano un incremento del runoff invernale e all'inizio della primavera pari al 90%, e una diminuzione del 45% del runoff estivo nelle Alpi centrali, che può portare, rispettivamente, a cicli di maggior rischio d'inondazione in inverno e inizio primavera, e di siccità in estate e inizio autunno (Figura 10.22). Questi risultati concordano con le conclusioni di un più recente studio sul clima e le implicazioni dei cambiamenti climatici nei principali settori socio-economici della regione dell'alto Adige (Zebisch et al., 2011). Questa indagine (condotta sulla base del modello CLM-UBA e lo scenario IPCC SRES A1B) stima cambiamenti sostanziali dei deflussi stagionali nell'arco alpino italiano. In particolare, entro fine secolo ci si aspetta una riduzione dei runoff stagionali in primavera, estate e autunno, di circa 5%, 40% e 1%, rispettivamente rispetto al periodo di riferimento (1961-1990). Al contrario, per la stagione invernale ci si aspetta un incremento medio del runoff di circa 135%. Se gli scenari proposti dovessero confermarsi, l'alterazione del regime idrologico nella stagione invernale avrebbe importanti ricadute sul rischio idrogeologico, e in particolare sulla probabilità di accadimento di piene improvvise e eventi alluvionali.



**Figura 10.22:** Proiezioni per il periodo 2071-2100 delle variazioni di runoff nelle Alpi centrali, rispetto al periodo 1961-1990 (Fonte: Beniston, 2006).

Uno studio ad alta risoluzione realizzato a scala europea (Ciscar, 2009) nelle aree alpine e appenniniche dell'Italia stima per il periodo 2071-2100 un forte incremento dell'occorrenza di fenomeni alluvionali (localmente +40%, rispetto al periodo 1961-1990), corrispondente a un incremento di circa il 30% dei danni correlati a alluvioni nelle Alpi lombarde, friulane e nell'Appennino settentrionale, e di circa il 15% nell'Appennino meridionale.

Parallelamente, sebbene la correlazione tra il mutamento delle principali variabili meteorologiche e l'incremento della frequenza e intensità dei fenomeni franosi sia stata meno dimostrata e studiata a

causa del gran numero di parametri in gioco, pare evidente che l'incremento nell'intensità delle precipitazioni nelle aree montane (in congiunzione ai processi di deglaciazione accelerata) sia un fattore scatenante di eventi relazionati all'instabilità dei versanti (Zemp et al., 2008).

Anche il plausibile aumento del rischio d'incendi boschivi in aree montane (Giannakopoulos, et al. 2005), a causa di condizioni estive e invernali più asciutte, e il probabile aumento di tempeste con attività ceraunica (fulmini e temporali), sono un fattore di rischio non solo diretto, per l'incremento dei danni alle infrastrutture di trasporto/energia, proprietà e persone, ma anche indiretto, per le possibili sinergie tra incendi e aumento dei fenomeni franosi superficiali, come conseguenza della perdita della funzione protettiva della vegetazione e del degrado del suolo (Galeotti et al., 2004).

Alla luce del gran numero di rischi naturali influenzabili dai cambiamenti climatici nelle aree di montagna, della loro complessità e delle loro dinamiche e considerandole incertezze delle evoluzioni future, la gestione integrata dei rischi naturali in aree montane rappresenta una delle sfide principali delle future strategie di adattamento ai cambiamenti climatici (Damm, 2011).

Nelle zone montane alpine e appenniniche, inoltre, i cambiamenti climatici determineranno verosimilmente un aumento dei danni alle persone a causa di una maggiore frequenza e intensità degli eventi climatici estremi e il conseguente incremento del rischio idrogeologico. Solo nella regione alpina italiana, nel periodo tra il 1966 e il 2006 i fenomeni franosi e alluvionali hanno causato un totale di 379 vittime mortali e danni complessivi pari a circa 2000 milioni di Euro (APAT, 2006). Le zone appenniniche sono estremamente vulnerabili ai fenomeni franosi, che, pur essendo eventi localizzati, sono responsabili di più vittime rispetto alle inondazioni (ANCE/CRESME, 2012). Oltre alle frane e alluvioni, le aree montane sono soggette anche ai rischi legati al cosiddetto idrosistema proglaciale, per la formazione di laghi e morene non consolidate che si mobilitano verso valle dopo lo scioglimento delle pareti di ghiaccio (Smiraglia et al., 2008). Per quel che riguarda le valanghe, ci si attende una diminuzione dell'attività delle valanghe di neve fresca a basse e medie altitudini, e un aumento della proporzione di valanghe 'umide'.

### *Salute umana*

Come evidenziato nel quarto rapporto di valutazione dell'IPCC (2007), i cambiamenti climatici hanno e potranno avere ripercussioni importanti sulla salute umana. L'aumento dello stress da calore è uno degli effetti più gravi ed eclatanti dei cambiamenti climatici sulla salute della popolazione europea, soprattutto nelle fasce più vulnerabili (malati, anziani, bambini) (Katsouyanni et al., 1993; Kunst et al., 1993) e nei prossimi decenni è da attendersi un aumento della mortalità legata a stress termico in tutta la penisola italiana (Fisher & Schär, 2010).

In Italia, le zone montane, più fresche e generalmente meno popolate delle zone di pianura, risentiranno dello stress da calore in maniera minore di quest'ultime; tuttavia, si prevede che anche negli Appennini potranno verificarsi condizioni di temperatura che contribuiscono alla pericolosità delle ondate di calore (massime giornaliere sopra i 35 °C e massime notturne sopra i 20 °C, Fisher & Schär, 2010).

I mutamenti climatici possono incrementare la prevalenza e l'intensità di patologie allergiche dovute ai pollini (Huynen et al., 2003). In Svizzera, per esempio, si è evidenziata una tendenza all'anticipo delle fasi fenologiche primaverili (apertura delle foglie e fioritura) in specie come il ciliegio e l'ippocastano, con conseguente aumento del rilascio di pollini (UFAM, 2000). Inoltre, è stato dimostrato in condizioni sperimentali che l'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> può ulteriormente accrescere la quantità di pollini prodotta dalle piante (Wayne et al., 2002; Rogers et al., 2006). Questi risultati suggeriscono che l'aumento dell'incidenza delle allergie da polline e, di conseguenza, di asma bronchiali potrà interessare notevolmente le aree montane, caratterizzate da considerevoli estensioni di zone vegetate.

Infine, il cambiamento della distribuzione geografica e del ciclo vitale degli insetti vettori di malattia (ad esempio le zanzare) può influenzare la comparsa o ricomparsa di malattie infettive, così come influenzare la presenza di agenti patogeni veicolati dall'acqua e dagli alimenti. La valutazione della reale pericolosità di questi eventi per le aree alpine ed appenniniche richiede tuttavia ulteriori approfondimenti. Nelle zone montane alpine e appenniniche, inoltre, si ritiene possibile un aumento dei danni alle persone associato a un maggiore rischio idrogeologico indotto dai cambiamenti climatici. Solo nella regione alpina italiana, nel periodo tra il 1966 e il 2006 i fenomeni franosi e alluvionali hanno causato un totale di 379 vittime mortali e danni complessivi pari a circa 2.000 Milioni di Euro (APAT, 2006). Le zone appenniniche sono estremamente vulnerabili ai fenomeni franosi, che come cennato in precedenza, sono responsabili di più vittime rispetto alle inondazioni pur essendo fenomeni localizzati. Oltre a frane e alluvioni, le aree montane sono soggette ai rischi legati al cosiddetto idrosistema proglaciale, per la formazione di laghi e morene non consolidate che si mobilizzano verso valle dopo lo scioglimento delle pareti di ghiaccio (Smiraglia et al., 2008). Per quel che riguarda le valanghe, ci si attende una diminuzione dell'attività delle valanghe di neve fresca a basse e medie altitudini e un aumento della proporzione di valanghe 'umide'.

### *Agricoltura*

L'agricoltura è uno dei comparti che, secondo le proiezioni, risentirà maggiormente degli effetti dei cambiamenti climatici (EEA, 2012). Nei prossimi decenni i cambiamenti climatici potranno influire notevolmente sulla capacità produttiva delle colture europee, sia per gli effetti diretti dell'incremento della concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera, sia attraverso la modifica delle condizioni climatico-ambientali.

Nel caso specifico dell'arco alpino italiano, si stima che nel breve periodo e per moderati scenari di incremento della temperatura non si assisteranno a particolari problemi di scarsità idrica. Questo, connesso al previsto effetto fertilizzante della CO<sub>2</sub>, potrebbe condurre a un aumento della produttività e della produzione dei suoli in alcuni settori delle Alpi (Fuhrer, et al., 2006; Calanca et al., 2006; Anderson, 2008), maggiormente nelle parti profonde delle vallate di montagna e in misura molto minore nelle aree marginali (Behringer et al., 2000).

Anche se nel lungo periodo ci si attende che la scarsità di risorse idriche per l'agricoltura alpina influenzerà negativamente il rendimento delle rese agricole (OcCC, 2003), i rischi maggiori per le colture montane sembrano essere rappresentati piuttosto dagli eventi climatici estremi, in particolare dal possibile aumento degli episodi di precipitazioni intense e dal connesso incremento del rischio idrogeologico, che può mettere in pericolo le coltivazioni montane presenti sui pendii (Carraro & Sgobbi, 2008). La maggiore intensità delle precipitazioni può condurre, come evidenziato precedentemente, a un maggiore rischio di erosione degli strati fertili del suolo (Williams et al., 2001) con impatti negativi sulla produttività dei terreni montani, traducendosi in una diminuzione della produzione agricola montana.

Tuttavia, nelle zone interne delle Alpi, i fenomeni siccitosi possono diventare importanti e implicare necessità d'irrigazione, a causa del previsto incremento dell'evapotraspirazione e conseguente riduzione dell'umidità del suolo (es. Della Chiesa et al., 2014).

Il previsto incremento in numero e intensità delle ondate di calore e dei periodi siccitosi potrebbe indurre ulteriori diminuzioni delle rese agricole montane, anche sulle colture foraggere, e quindi danneggiare indirettamente l'allevamento di bestiame e la produzione di latte (Fuhrer et al., 2006). La possibile maggiore diffusione di organismi nocivi, che possono trovare condizioni ambientali più idonee per la loro proliferazione grazie a un clima più mite, potrebbe essere fonte di ulteriori disturbi per l'agricoltura montana, soprattutto in aree di alta quota dove finora le basse temperature hanno bloccato l'espansione di questi organismi (FAO, 2007; Miglietta et al., 2008; Luck et al., 2011).

La modifica delle condizioni ambientali potrebbe anche provocare uno spostamento della geografia adatta alle diverse colture montane (Mereu et al., 2008), vedendosi ristretta come nel caso del mais (Iglesias & Rosenzweig, 2009) o ampliata, come nel caso dell'olivo e della vite, che, grazie all'innalzamento delle temperature medie, potrebbero espandersi verso terreni a maggiore altitudine e latitudine (Meehl et al., 2007).

Non va infine dimenticato che l'impatto climatico dei cambiamenti climatici (più alte temperature e maggiore insolazione) sulla formazione d'inquinanti atmosferici secondari come l'ozono, l'inquinante con più elevato grado di fitotossicità, potrebbe esacerbare l'effetto di tali inquinanti sulla resa delle colture agrarie, anche per effetti sinergici con gli stress biotici e abiotici.

## *Energia*

I cambiamenti climatici influenzano il settore dell'energia con effetti sia sul lato dell'offerta sia su quello della domanda. Per quel che riguarda l'offerta energetica, la produzione idroelettrica, termoelettrica e solare sono le fonti di energia principalmente influenzate dai cambiamenti climatici. Le variazioni attese sulla quantità e la distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni, la riduzione delle portate dei fiumi e l'insufficiente capacità di accumulo possono ridurre la capacità di produzione idroelettrica, settore d'importanza strategica nell'arco alpino (Lehner et al., 2005; Van Vliet et al., 2012). Inoltre, la riduzione attesa delle portate fluviali accompagnata da un aumento della temperatura dei corsi d'acqua potranno limitare in futuro la

capacità di produzione di energia termoelettrica a causa di una minore efficienza dei sistemi di raffreddamento delle centrali, soprattutto durante la stagione estiva (Wilbanks et al., 2007). Ci si attendono invece effetti positivi sull'idoneità del territorio montano alla produzione di energie alternative, in particolare solare fototermico e fotovoltaico, per via di una maggiore insolazione legata alla diminuzione della copertura nuvolosa (Crook et al., 2011). L'incremento di frequenza e intensità dei fenomeni meteorologici estremi potrebbe invece minacciare il sistema produttivo energetico dal punto di vista delle infrastrutture di accumulo, trasmissione e distribuzione dell'elettricità (Sathaye et al., 2011). Per quanto concerne la domanda energetica, è prevedibile che con l'aumento delle temperature medie ci sarà una minore richiesta di energia per il riscaldamento durante la stagione invernale, mentre nella stagione estiva ci si può attendere un incremento della richiesta energetica a scopi di raffreddamento e condizionamento (Parry et al., 2009).

## **Definizione di azioni e interventi di adattamento delle aree montane ai cambiamenti climatici**

Le aree montane sono particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici. Secondo le proiezioni, gli impatti dei cambiamenti saranno ancora più intensi nei prossimi decenni sui sistemi montani, che sono non solo di critica importanza a livello socio-economico e ecologico per l'intera nazione, ma che sono già di per sé vulnerabili a una vasta gamma di pericoli naturali, pressione antropiche e ambientali.

La fattibilità delle misure di adattamento ai cambiamenti climatici è quindi di fondamentale importanza per le regioni montane, e in particolare per le aree alpine. Ciò è stato riconosciuto, per esempio, dalla Convenzione delle Alpi, che già alla fine del 2006 invitava i paesi membri a sviluppare strategie di adattamento volte a ridurre la vulnerabilità e a incrementare la resilienza dei settori più colpiti dagli impatti dei cambiamenti climatici. Diversi rapporti e pubblicazioni rilevanti per la definizione delle principali vulnerabilità ai cambiamenti climatici delle aree montane (OECD, 2007; EEA, 2012; IPCC, 2007; EURAC, 2007; Damm, 2011; IPCC, 2012) sono concordi nel rilevare le successive sfide come punti da trattare prioritariamente in ulteriori strategie di adattamento. Le conclusioni sono applicabili in molte situazioni anche agli Appennini.

Le vulnerabilità prioritarie, come identificate ed elencate nel rapporto OECD (2007), sono:

- l'incremento del rischio di perdite economiche nel settore turistico invernale dovuto agli inverni sempre più caldi e alla minore copertura nevosa, specialmente a quote inferiori ai 1.500 m;
- la maggiore vulnerabilità delle infrastrutture e dei nuclei abitativi ai rischi naturali, quali piene improvvise, alluvioni, valanghe, smottamenti, esacerbati dal cambiamento dei regimi pluviometrici, e rischi glaciali a causa all'incremento dell'intensità delle precipitazioni e lo scioglimento accelerato della criosfera;

- l'incremento della vulnerabilità degli ecosistemi montani (in delicato stato di equilibrio) e dei rischi per la biodiversità, con alcune specie costrette a modificare il loro areale di distribuzione e, in certi casi, a rischio di estinzione;
- le variazioni del bilancio stagionale delle risorse idriche, con una consistente riduzione del runoff estivo nei bacini alimentati da acque piovane e un incremento del runoff e del rischio alluvionale in quei bacini alimentati da ghiacciai in arretramento;
- aumento della vulnerabilità della salute umana, a causa della maggiore frequenza e intensità delle ondate di calore, del peggioramento della qualità dell'aria e delle acque, e del maggiore rischio idrogeologico e glaciale.

### *Misure di adattamento già intraprese o in corso, specifiche delle aree montane*

Ad oggi, sono state intraprese a livello europeo, interregionale e nazionale diverse azioni di adattamento delle aree montane ai cambiamenti climatici. Tali iniziative, più numerose nella regione alpina rispetto a quella appenninica, comprendono principalmente progetti volti a migliorare lo stato delle conoscenze sugli impatti e le vulnerabilità del territorio montano ai cambiamenti climatici, e misure (anche esempi di buone pratiche) volte a ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei principali settori montani interessati e ad aumentarne la loro resilienza.

### Perfezionamento dei sistemi di monitoraggio delle variabili meteo-climatiche e di evoluzione della criosfera

*A livello europeo*

- Il progetto **PERMOS Network** (Swiss Permafrost Monitoring Network)<sup>326</sup> ha creato un network sistematico di documentazione, ricerca e raccolta di lunghe serie storiche di dati sull'evoluzione del permafrost nelle Alpi Svizzere. Questa rete copre tre tipi di osservazioni: (1) temperatura del suolo misurata in pozzi e in superficie in prossimità dei siti di perforazione; (2) i cambiamenti dello stato del ghiaccio sub-superficiale e il contenuto di acqua presso i siti di perforazione attraverso analisi geo-elettriche; (3) velocità dello scorrimento del permafrost determinato da rilevamenti geodetici e di fotogrammetria. Inoltre, il progetto ha analizzato la documentazione relativa ai movimenti di massa veloci e frane relativi ad aree di permafrost.
- Il progetto **PermaNET** (Permafrost Monitoring Network)<sup>327</sup> ha come obiettivo la mitigazione dei rischi naturali che derivano dagli impatti climatico dei cambiamenti climatici sul permafrost alpino. La creazione di una rete alpina di monitoraggio e lo sviluppo di una strategia comune per affrontare i rischi relativi al permafrost dovrebbero

---

<sup>326</sup> <http://www.permos.ch/>.

<sup>327</sup> <http://www.permanet-alpinespace.eu/>.

contribuire allo sviluppo sostenibile e all'implementazione di pratiche di buon governo per adattare la gestione dei rischi glaciali alle implicazioni dei cambiamenti climatici.

*A livello nazionale*

- Il progetto **PERMAdataROC**<sup>328</sup> ha fornito una banca dati sui fenomeni gravitativi in ambiente periglaciale su siti pilota (Valle d'Aosta, Italia) per la raccolta di dati sui movimenti gravitazionali, attraverso la definizione del regime termico delle pareti di roccia, al fine di stabilire un legame tra le condizioni meteorologiche e di stabilità dei versanti.

**Gestione dei rischi naturali ( idrogeologici e glaciali)**

*A livello europeo*

- Il progetto **ILUP (Integrated LandUse Planning)**<sup>329</sup> in Austria ha sviluppato un sistema innovativo di gestione e uso del suolo, tramite: la valutazione della diverse aree del territorio attraverso: I) l'analisi delle loro caratteristiche funzionali (equilibrio del terreno, salvaguardia delle risorse idriche), II) indagine sul legame tra precipitazioni e deflussi, III) uso del suolo e i cambiamenti strutturali in essere, IV) analisi dei rischi nelle aree montane.

*A livello della regione alpina (programma Alpine Space)*

- Il progetto **CLISP (Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space)**<sup>330</sup> si concentra sulle sfide poste dai cambiamenti climatici alla pianificazione del territorio nelle aree montane e si prefigge di contribuire all'adattamento a tali cambiamenti offrendo soluzioni di pianificazione che tengano conto del clima e delle proiezioni future. In questo progetto si riconosce il ruolo fondamentale della pianificazione del territorio nello sviluppo sostenibile futuro e dell'adattamento ai cambiamenti climatici in termini di riduzione della vulnerabilità e di aumento della resilienza di fronte alle sfide emergenti;
- **PLANALP** (la Piattaforma Pericoli naturali della Convenzione delle Alpi)<sup>331</sup> è stata costituita al fine di sviluppare strategie comuni volte a prevenire i pericoli naturali nelle Alpi e di decidere in merito alle modalità di adattamento. I principali obiettivi di questa piattaforma sono: I) discutere progetti finalizzati a una riduzione globale dei pericoli naturali nelle regioni alpine; II) individuare best practice in aree montane; III) attuare le conseguenti misure di risposta; IV) intensificare gli scambi trans-frontalieri di esperienze a livello della gestione dei rischi montani.

*A livello nazionale*

---

<sup>328</sup> <http://www.fondazionemontagnasicura.org/archivio-progetti/permadataroc>.

<sup>329</sup> <http://www.schabl.at/ilup/events.htm>.

<sup>330</sup> <http://www.clisp.eu/>.

<sup>331</sup> <http://www.alpconv.org/it/organization/groups/WGHazards/default.html>.

- Il progetto **HydroAlp** (Modelling the interaction between water cycle, vegetation and climate in Alpine environments)<sup>332</sup> si propone di quantificare gli effetti dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico nelle regioni Alpine. Il progetto si propone di sviluppare e applicare a bacini alpini con diverse caratteristiche climatiche un sistema modellistico innovativo che consideri in modo integrato le interazioni tra morfologia, suolo, vegetazione e clima in maniera distribuita.

### Tutela della biodiversità montana

#### *A livello internazionale*

- Il progetto **GLORIA** (Global Observation Research Initiative in Alpine environments)<sup>333</sup> è un progetto internazionale che ha creato un database costruito su 62 stazioni attive sulle Ande, le Alpi, l'Himalaya e le Montagne Rocciose per monitorare gli effetti climatici dei cambiamenti climatici sui biomi di alta quota.

#### *A livello della regione alpina (programma Alpine Space)*

- Il progetto **MANFRED** – (Management strategies to adapt Alpine Space forests to climate change risks)<sup>334</sup>, sviluppato nell'ambito dell'Alpine Space Program cofinanziato dall'Unione Europea, ha l'obiettivo di indagare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle principali specie forestali dell'arco alpino in riferimento a differenti tipologie di rischio, e di definire possibili strategie gestionali per l'adattamento e il mantenimento delle funzioni svolte dal bosco, in collaborazione con gli Enti locali che operano sul territorio.
- Il progetto Interreg **PhenoALP**<sup>335</sup> sta sviluppando un network di osservazione fenologica nelle Alpi Occidentali, definendo un protocollo comune di monitoraggio sia degli ecosistemi forestali, sia della prateria alpina. Le osservazioni condotte hanno permesso di studiare la sensibilità delle specie ai cambiamenti climatici durante il loro intero ciclo vitale.
- Il progetto **ECONNECT**<sup>336</sup> sviluppato nell'ambito dell'Alpine Space Program cofinanziato dall'Unione Europea, assieme alla Piattaforma "Rete ecologica" della Convenzione delle Alpi, mira a migliorare la connessione ecologica in tutta la catena alpina, attraverso la creazione di una rete alpina transfrontaliera di aree protette e di elementi connettivi. La Rete delle Aree protette alpine (ALPARC), la Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi (CIPRA) e il Comitato Scientifico Internazionale per la Ricerca nelle Alpi (ISCAR, International Scientific Committee on Research in the Alps) hanno collaborato per creare un "continuum ecologico" tra gli spazi naturali dell'arco alpino, con speciale riguardo agli impatti dei cambiamenti climatici sui corridoi della biodiversità alpina.

---

<sup>332</sup> <http://www.eurac.edu/en/research/projects/ProjectDetails.aspx?pid=9221>.

<sup>333</sup> [http://gloriaorobie.parcorobie.it/IT/il\\_progetto\\_internazionale.html](http://gloriaorobie.parcorobie.it/IT/il_progetto_internazionale.html).

<sup>334</sup> <http://www.manfredproject.eu/>.

<sup>335</sup> <http://www.phenoalp.eu/index.php/it>.

<sup>336</sup> <http://www.econnectproject.eu/cms/>.

## Gestione delle risorse idriche

### *A livello della regione alpina (Alpine Space Program)*

- Il programma **SILMAS** (Sustainable Instruments for Lakes Management in the Alpine Space)<sup>337</sup> mira a predisporre misure sostenibili per la gestione dei laghi e degli invasi nell'arco alpino per la gestione delle risorse idriche, la governance, e la formazione istituzionale considerando i cambiamenti climatici in atto e futuri. Il progetto prevede lo scambio di buone pratiche, la condivisione di esperienze e nuovi metodi di gestione delle risorse idriche con lo scopo di fornire misure di adattamento ai 15 partner dei cinque paesi partecipanti (Italia, Slovenia, Austria, Germania, Francia).
- **Alp-Water-Scarce**<sup>338</sup> è un progetto volto allo sviluppo di strategie di gestione delle risorse idriche e all'elaborazione di un sistema di allarme precoce (Early Warning System) per prevenire la scarsità di acqua nello spazio alpino in vista dei cambiamenti climatici.

## Adattamento del settore agro-alimentare

### *A livello europeo*

- **BIO Alpe Adria**<sup>339</sup> (Italia, Slovenia e Austria), è una Associazione di produttori biologici che hanno costituito un'area transfrontaliera di agricoltura biologica di varietà tradizionali. I produttori associati non utilizzano l'ingegneria genetica così che le varietà tradizionali possano conservarsi, costituendo una banca genetica naturale. La gestione conservativa del suolo e delle colture contribuisce ad adattare il settore ai cambiamenti climatici attraverso il maggiore assorbimento di carbonio nel suolo e la preservazione della qualità delle acque superficiali e sotterranee, che di fronte a ulteriori diminuzioni della ricarica degli acquiferi e del runoff non saranno inquinate da concimi chimici e pesticidi, estesamente utilizzati nell'agricoltura non biologica.

### *A livello nazionale*

- L'obiettivo del progetto **Irriframe**<sup>340</sup> è creare una piattaforma di servizi di copertura nazionale, che permetta la condivisione delle informazioni per un uso oculato ed efficiente delle risorse idriche in agricoltura con l'obiettivo di giungere a consistenti risparmi d'acqua mantenendo elevata, od addirittura migliorando, la produttività delle colture. Il portale offre servizi funzionali ad indicare agli agricoltori tramite i Consorzi di bonifica il preciso momento di intervento irriguo ed il volume di adacquata, basandosi su dati del bilancio idrico suolo/pianta/atmosfera e sulla convenienza economica dell'intervento irriguo.

---

<sup>337</sup> <http://www.silmas.eu/>.

<sup>338</sup> <http://www.alpwaterscarce.eu/>.

<sup>339</sup> <http://www.bioalpeadria.info/>

<sup>340</sup> <http://www.irriframe.it/irriframe>

## Azioni di adattamento: ricerca e sviluppo

### *A livello Europeo*

- Il progetto **C3-Alps**<sup>341</sup> è volto a sintetizzare, trasferire e attuare i risultati delle politiche e delle pratiche di adattamento ai cambiamenti climatici di precedenti progetti dell'Alpine Space Program. L'approccio di capitalizzazione mira a: I) creare nuove sintesi dello stato dell'arte che generino conoscenze nuove e direttamente utilizzabili nelle Alpi; II) assicurare una comunicazione efficace e su misura da trasmettere ai gruppi interessati; c) migliorare l'efficacia della politica di adattamento e di governance dei territori alpini; III) avviare, sostenere e sperimentare processi di adattamento su misure, strategie, piani d'azione e di supporto alle decisioni nelle Regioni pilota e nei Comuni.

## Settore energetico

### *A livello Europeo*

- L'obiettivo del progetto **MountEE**<sup>342</sup> consiste nell'offrire sostegno a tre regioni montane europee (Scandinavia, Alpi e Pirenei) affinché esse modifichino le pratiche adottate nella costruzione e nelle ristrutturazioni puntando a una maggior efficienza energetica e sostenibilità anche in riguardo ai cambiamenti climatici futuri. L'attenzione viene concentrata in particolare sugli edifici pubblici e sull'edilizia residenziale sociale. MountEE persegue un approccio partecipativo e punta a coinvolgere tutti gli attori interessati.
- Il Comune di Diex (Austria), avvantaggiandosi del maggiore indice di radiazione solare nelle Alpi e della riduzione dei giorni di nebbia, ha realizzato grandi investimenti nel settore urbano attraverso un "programma fotovoltaico" per gli edifici residenziali, segnali stradali e illuminazione stradale.

## Settore trasporti: adattamento versus mitigazione

### *A livello della regione alpina*

- Il progetto **PARAMOUNT**(imProved Accessibility: Reliability and security of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazards in a changing climate)<sup>343</sup> mira a colmare le lacune conoscitive nel campo della gestione dei rischi naturali, portando l'esperienza accumulata nel settore dei trasporti, punto vitale per le Alpi. Il progetto intende migliorare la protezione delle infrastrutture attraverso l'adattamento degli strumenti attuali e delle buone pratiche nel settore dei trasporti, ampliando l'accessibilità, l'affidabilità e la sicurezza delle infrastrutture di trasporto nelle Alpi in relazione ai rischi legati ai cambiamenti climatici presenti nelle zone di montagna.

---

<sup>341</sup> <http://www.c3alps.eu>.

<sup>342</sup> <http://www.mountee.eu/it/progetto/>.

<sup>343</sup> <http://www.paramount-project.eu/>.

- L'obiettivo del progetto **CO<sub>2</sub>NeutrAlp** (CO<sub>2</sub>-Neutral Transport for the Alpine Space)<sup>344</sup> è dimostrare che la mobilità "dolce" è fattibile grazie alle energie rinnovabili. 15 partner provenienti da cinque Stati alpini tentano di testare l'ipotesi oltre che esplorare i diversi modi in cui la mobilità può essere integrata nell'era del solare.
- Rendere le Alpi neutrali da un punto delle emissioni clima-alteranti entro il 2050 è l'obiettivo del progetto Alpine Space **ALPSTAR** (Towards Carbon Neutral Alps -Make Best Practice Minimum Standard-)<sup>345</sup>. Con questo progetto, i 13 partner dello spazio alpino affrontano la sfida di dimostrare come si possono ridurre efficacemente le emissioni di CO<sub>2</sub> nel territorio alpino.
- La rete Alpina Pearls, **Alpine Pearls network**,<sup>346</sup> promuove sistemi di mobilità sostenibile per i turisti dell'area alpina Austriaca, incentivando l'utilizzo dei mezzi di trasporto pubblici invece che l'auto privata. Tra le attività svolte vi sono iniziative che contribuiscono a incentivare anche l'uso di veicoli elettrici e servizi di car pooling, oltre che la creazione di comunicati stampa e sistemi di informazione ai viaggiatori.

---

<sup>344</sup> <http://www.co2neutralp.net/>.

<sup>345</sup> <http://alpstar-project.eu/home/>.

<sup>346</sup> <http://www.alpine-pearls.com/it/home.html>.

## Bibliografia

- Abeli, T., Rossi, G., Gentili, R., Gandini, M., Mondoni, A., Cristofanelli, P. (2012). Effect of the extreme summer heat waves on isolated populations of two orophitic plants in the north Apennines (Italy). *Nordic Journal of Botany*, 30, 109-115.
- Alcamo, J., Floerke, M., Maerker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 247-275.
- Ambrosetti, W., Barbanti, L., Carrara, E. (2010). Mechanisms of hypolimnion erosion in a deep lake (Lago Maggiore, N. Italy). *J. Limnol.*, 69, 3-14.
- ANCE/CRESME (2012). Primo Rapporto ANCE/CRESME - Lo stato del Territorio Italiano 2012 - Insediamento e rischio sismico e idrogeologico. Roma, ottobre 2012.
- APAT (2006). Annuario dei dati ambientali 2005-2006. ISPRA, Roma.
- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J.-M., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z., Nieplova, E. (2007). 'HISTALP - Historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region-. *International Journal of Climatology*, 27, 17-46.
- Baldi, M., Dalu, G., Maracchi, G., Pasqui, M., Cesarone, F. (2006). Heat waves in the Mediterranean: a local feature or a larger-scale effect? *International Journal of Climatology*, 26, 1477-1487.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P., eds. (2008). *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210.
- Beniston, M. (2005). Warm winter spells in the Swiss Alps: Strong heat waves in a cold season? *Geophysical Research Letters*, 32, L01812.
- Beniston, M. (2007). Linking extreme climate events and economic impacts: Examples from the Swiss Alps. *Energy Policy*, 35, 5384-5392.
- Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, C.A.T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikoff, J., Schöll, R., Semmler, T., Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81, 71-95.
- Bigano, A., Bosello, F. (2007). Impacts of Climate Change on Tourism in the Italian Alps: An Economic Assessment. Report for the ClimChalp Project.
- Bischetti, G.B., Bonfanti, F., Greppi, M. (2001). Misura della resistenza a trazione delle radici: apparato sperimentale e metodologia d'analisi. *Quaderni di Idronomia Montana* 21/1.
- Bloom, A. (2012). Birds: Warming Could Benefit Some Species. Retrieved from <http://www.eoearth.org/view/article/161659>.
- BMU (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety) (2007a). Symposium Report. Time to adapt: climate change and the European water dimension. Vulnerability - Impacts - Adaptation. International Symposium, 12-14 February 2007. BMU, Berlin, Germany.
- BMU (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety) (2007b). Climate change in the Alps: facts-impacts-adaptation. BMU, Berlin, Germany.

- Böhm, R., Jones, P.D., Hiebl, J., Hiebl, J., Frank, D., Brunetti, M., Maugeri, M. (2008). The early instrumental warm-bias: A solution for long central European temperature series 1760-2007. *Climatic Change*, 101, 41-67.
- Brancaleoni, L., Gualmini, M., Tomaselli, M., Gerdol, R. (2007). Responses of subalpine dwarf-shrub heath to irrigation and fertilization. *Journal of Vegetation Science*, 18, 337-344.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., Navarra, A. (2002). Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series. *International Journal of Climatology*, 22, 543-558.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two Centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26, 345-381.
- Burgiel, S.W., Muir, A.A. (2010). *Invasive Species, Climate Change and Ecosystem-Based Adaptation: Addressing Multiple Drivers of Global Change*. Global Invasive Species Programme, Washington, DC and Nairobi, Kenya.
- Calanca, P., Roesch, A., Jasper, K., Wild, M. (2006). Global warming and the summertime evapotranspiration regime of the Alpine region. *Climatic Change* 79, 65-78. doi:10.1007/s10584-006-9103-9.
- Camia, A., Amatulli, G. San-Miguel-Ayanz, J. (2008). Past and future trends of forest fire danger in Europe. (JRC 46533, EUR 23427 EN). European Commission, Joint Research Centre..
- Cannone, N., Sgorbati, S., Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology*, 5, 360-364.
- Cantonati, M., Lazzara, M., eds. (2006). *I laghi di alta montagna del bacino del Fiume Avisio (Trentino orientale)*. Monografie del Museo Tridentino Scienze Naturali, 3, 1-249.
- Carraro, C., Sgobbi, A. (2008). *Climate Changes Impacts and Adaptation Strategies in Italy. An Economic Assessment*. Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Chen, I.-C., Hill, J.K., Ohlemüller, R., Roy, D.B., Thomas, C.D. (2011). Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science* 333(6045), 1 24-1 26. doi:10.1126/ science.1206432.
- CIPRA (2004). *Relazione Annuale*. CIPRA.
- Ciscar, J.C., ed. (2009). *Climate change impacts in Europe*. Final report of the PESETA research project. JRC European Commission. EUR 24093 EN.
- Coppola, E., Giorgi, F. (2010). An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations. *International Journal of Climatology*, 30, 11-32.
- Crook, J.A., Jones, L.A., Forster, P.M., Crook, R. (2011). Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. *Energy Environ. Sci.*, 4, 3101-3109.
- Damm, M., ed. (2011). *Climate adaptation and natural hazard management in the Alpine*. Space Final Report. AdaptAlp.
- Dirnbock, T., Essl, F., Rabitsch, W. (2011). Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Global Change Biology*, 17, 990-996.
- Diolaiuti, G., Bocchiola, D., D'agata, C., Smiraglia, C. (2012). Evidence of climate change impact upon glaciers' recession within the Italian Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 429-445.
- Döll, P., Zhang, J. (2010). Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 783-799. doi:10.5194/ hessd-7-1305-2010.

- Dokulil, M.T., Jagsch, A., George, G.D., Anneville, O., Jankowski, T., Wahl, B., Lenhart, B., Blenckner, T., Teubner, K. (2006). Twenty years of spatially coherent deepwater warming in lakes across Europe related to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography* 51, 2787-2793. doi:10.4319/lo.2006.51.6.2787.
- Dullinger, S., Willner, W., Plutzer, C., Englisch, T., Schratt-Ehrendorfer, L., Moser, D., Ertl, S., Essl, F., Niklfeld, H. (2012). Post-glacial migration lag restricts range filling of plants in the European Alps. *Global Ecology and Biogeography* 21, 8, 829-840. doi:10.1111/j.1466-8238.2011.00732.x.
- EEA (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. EEA Report No 12/2012. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. EEA (2009). Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. EEA Report n 8/2009. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- Engler, R., Randin, C.F., Thuiller, W., Dullinger, S., Zimmermann, N.E., Araújo, M.B., Pearman, P.B., Le Lay, G., Piedallu, C., Albert, C.H., Choler, P., Coldea, G., De Lamo, X., Dirnböck, T., Gégout, J., Gómez-García, D., Grytnes, J.-A., Heegaard, E., Høistad, F., Nogués-Bravo, D., Normand, S., Puşcaş, M., Sebastià, M.-T., Stanisci, A., Theurillat, J.-P., Trivedi, M.R., Vittoz, P., Guisan, A. (2011). 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology* 17, 7, 2330-2341. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02393.
- EURAC (2007). Impacts of Climate Change on winter tourism in the Italian Alps. *ClimChalp Report*.
- European Commission (2008). Drought Management Plan Report. Including agricultural, drought indicators and climate change aspects. Water Scarcity and Droughts Expert Network. Technical Report 2008-023, 1-107. European Communities.
- FAO (2007). Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fisher, E.M., Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience* 3, 6, 398-403.
- Flörke, M., Wimmer, F., Laaser, C., Vidaurre, R., Tröltzsch, J., Dworak, T., Stein, U., Marinova, N., Jaspers, F., Ludwig, F., Swart, R., Long, H.-P., Giupponi, C., Bosello, F., Mysiak, J. (2011). Final Report for the project Climate Adaptation - modelling water scenarios and sectoral impacts. Contract N° DG ENV.D.2/SER/2009/0034. CESR - Center for Environmental Systems Research, Kassel, Germany.
- Forkel, R., Knoche, R. (2007). Nested regional climate-chemistry simulations for Central Europe. *Comptes Rendus Geoscience*, 339, 734-746.
- Fuhrer, J., Beniston, M., Fischlin, A., Frei, C., Goyette, S., Jasper, K., Pfister, C. (2006). Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland. *Climatic change*, 79, 79-102.
- Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., Goodess, C.M. (2009). Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change*, 68, 3, 209-224. Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo, M., LeSager P., Tin, T. (2005). Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. A report for WWF. WWF, Gland, Switzerland.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M. (2013). 21st century climate change in the European Alps: A Review. *Science of the Total Environment*. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050.
- Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barancok, P., Benito Alonso, J.L., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Fernandez Calzado, M.R., Kazakis, G., Krajci, J., Larsson, P., Mallaun, M., Michelsen, O., Moiseev, D., Moiseev, P., Molau, U., Merzouki, A., Nagy, L., Nakhutsrishvili, G., Pedersen, B., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A.,

- Theurillat, J.-P., Tomaselli, M., Villar, L., Vittoz, P., Vogiatzakis, I., Grabherr, G. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*, 2, 2, 111-115. doi:10.1038/nclimate1329.
- Gregory, R.D., Willis, S.G., Jiguet, F., Voříšek, P., Klvaňová, A., van Strien, A., Huntley, B., Collingham, Y.C., Couvet, D., Green, R.E. (2009). An Indicator of the Impact of Climatic Change on European Bird Populations. *PLoS ONE* 4, 3, e4678. doi:10.1371/journal.pone.0004678.
- Hanewinkel, M., Cullmann, D.A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Zimmermann, N.E. (2012). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3, 203-207. doi:10.1038/nclimate1687.
- Hickler, T., Vohland, K., Costa, L., Miller, P., Smith, B., Feehan, J., Kühn, I., Cramer, W., Sykes, M. (2010). Vegetation on the move - where do conservation strategies have to be re-defined. In: *Atlas of Biodiversity Risks* -(Settele, J., Penev, L., Georgiev, T., Grabaum, R., Grobelnik, V., Hammen, V., Klotz, S., Kotarak, M., Kühn, I., eds.). Sofia & Moscow: Pensoft Publishers (300).
- Huynen, M., Menne, B., et al., (2003). Phenology and Human Health: Allergic Disorders. Report on a WHO meeting Rome, Italy. 16-17 January 2003. (EUR/03/5036791), WHO, Rome.
- Iglesias, A., Rosenzweig, C. (2009). Effects of Climate Change on Global Food Production under Special Report on Emissions Scenarios (SRES) Emissions and Socioeconomic Scenarios.. Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. <http://dx.doi.org/10.7927/H4JM27JZ>.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E., eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976.
- IPCC (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014b). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535.
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582.
- Jacob, D.J., Winner, D.A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmos. Environ.*, 43, 51-63.
- Jacob, D., Göttel, H., Lorenz, P. (2007). *Hochaufgelöste regionale Klimaszenarien für Deutschland, Österreich und die Schweiz*. DMG-Mitteilungen, 03/07, Berlin.

- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gardi, C., Erhard, M., Hervás, J., Hiederer, R., Jeffery, S., Lükewille, A., Marmo, L., Montanarella, L., Olazábal, C., Petersen, J.-E., Penizek, V., Strassburger, T., Tóth, G., Van Den Eeckhaut, M., Van Liedekerke, M., Verheijen, F., Viestova, E., Yigini, Y. (2012). The State of Soil in Europe - A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report - SOER 2010. . European Commission Joint Research Centre, Scientific and Technical Research series, EUR 25186 EN, 76. .
- Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., Tselepidaki, I., Moustris, K., Asimakopoulos, D., et al. (1993). Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Arch Environ Health* 48, 235-242.
- Klein Tank, A.M.G., Können, G.P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe 1946-99. *J. Climate*, 16, 3665-3680.
- Kunst, A.E., Looman, C.W.N, Mackenbach, J.P. (1993). Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time series analysis. *Am. J. Epidemiol.* 137, 331-341.
- LAWA - German Working Group of the Federal States on water issues (2007). Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement. Empfehlungen der Bund/ Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser, Kulturbuch Verlag, Mainz 10-11.
- Lautenschlager, M., Keuler, K., Wunram, C., Keup-Thiel, E., Schubert, M., Will, A., Rockel, B., Boehm, U. (2008). Climate simulation with CLM, climate of the 20<sup>th</sup> century, data stream 3: European region MPIM/MaD. World Data Center for Climate. Lehner, B., Czisch, G., Vassolo, S. (2005). The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energy Policy*, 33, 7, 839-855.
- Lemoine, N., Schaefer, H. Böhning-Gaese, K. (2007). Species richness of migratory birds is influenced by global climate change. *Global Ecology and Biogeography* 16, 1, 55-64. doi:10.1111/j.1466- 8238.2006.00252.x.
- Levinson, D.H., Waple, A.M., eds. (2004). State of the Climate in 2003. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*
- Lindner, Marcus, Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R. Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M. J., Marchetti, M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259,4 , 698-709.
- Lionello, P, Boldrin, U., Giorgi, F. (2008). Future changes in cyclone climatology over Europe as inferred from a regional climate simulation. *Climate dynamics*, 30, 6, 657-671.
- Marchi, L., Chiarle, M., Mortara, G. (2009). Climate changes and debris flows in periglacial areas in the Italian Alps. In: *From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management. Hydrochange 2008*, 1-3 October 2008, Kyoto, Japan. (Taniguchi, M., Burnett, WC., Fukushima, Y., Haigh, M., Umezawa, Y., eds.). CRC Press.
- Maclean, I.M.D., Wilson, R.J. (2011). Recent ecological responses to climate change support predictions of high extinction risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. doi:10.1073/ pnas.1017352108.
- Mantyka-Pringle, C.S., Martin, T.G., Rhodes, J.R. (2012). Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. *Global Change Biology* 18, 4 , 1239-1252. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02593.
- Margottini, G., Delmonaco, F., Ferrara, F. (2011). Impact and Losses of Natural and Na-Tech Disasters in Europe. In: *Inside Risk: A Strategy for Sustainable Risk Mitigation* (Menoni, S., Margottini, C., eds.), 93-127. doi 10.1007/978-88-470-1842-6. Springer, Milano.
- Meehl, G.A., Arblaster, J.M., Tebaldi, C. (2007). Contributions of natural and anthro- pogenic forcing to changes in temperature extremes over the U.S. *Geophysical Research Letters*, 34, L19709.

- Menzel, A., Seifert, H., Estrella, N. (2011). Effects of recent warm and cold spells on European plant phenology. *International Journal of Biometeorology*, 55, 6, 921-932. doi:10.1007/s00484-011-0466-x. Mercalli, L., Cat Berro, D. (2006). Climi, acque e ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese. SMS, Società Meteorologica Subalpina, 754. Castello Borello, Bussoleno (TO), Italia.
- Mercalli, L., Cat Berro, D., Acordon, V., Di Napoli, G. (2008). Cambiamenti climatici sulla montagna piemontese. SMS, Società Meteorologica Subalpina. Castello Borello, Bussoleno (TO), Italia.
- Mereu, V., Iocola, I., Spano, D., Murgia, V., Duce, P., Cesaraccio, C., Tubiello, F.N., Fischer, G. (2008). Land suitability and potential yield variations of wheat and olive crops determined by climate change in Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 3, 797-798.
- Mosello, R., Ambrosetti, W., Arisci, S., Bettinetti, R., Buzzi, F., Calderoni, A., Carrara, E.A., de Bernardi, R., Galassi, S., Garibaldi, L., Leoni, B., Manca, M., Marchetto, A., Morabito, G., Oggioni, A., Pagnotta, R., Ricci, D., Rogora, M., Salmaso, N., Simona, M., Tartari, G., Veronesi, M., Volta, P. (2010). Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. *Biologia ambientale*, 24, 1, 167-177. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA).
- NatCatSERVICE (2012). Munich RE NatCatSERVICE. NATHAN Risk Suite. Munich RE. <http://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/natcatservice/index.html>.
- Nôges, P., Nôges, T., Ghiani, M., Paracchini, B., Grande, J.P., Sena, F. (2011). Morphometry and trophic state modify the thermal response of lakes to meteorological forcing. *Hydrobiologia*, 667, 241-254. doi:10.1007/s10750-011-0691-7.
- OcCC (2003). Extreme Events and Climate Change (2003). Status of knowledge and recommendations of the OcCC. Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, Switzerland.
- OECD (2007). Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management. (Agrawala, S., ed.). ISBN. 92-64-031678-5.
- ONERC (2008). Climate change in the Alps: Impacts and natural hazards.
- Parolo, G., Rossi, G. (2007). Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic and Applied Ecology*, 9, 2, 100-107.
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R., Wheeler, T. (2009). Assessing the costs of adaptation to climate change: a review of the UNFCCC and other recent estimates. International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C., Grabherr, G. (2007). Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology*, 13, 147-156.
- Pecci, M., D'agata, C., and Smiraglia, C.: Ghiacciaio del Calderone (Apennines, Italy): the mass balance of a shrinking Mediter-ranean glacier, *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 31, 55-62, 2008.
- Peeters, F., Livingstone, D.M., Goudsmit, G.H., Kipfer, R., Forster, R. (2002) Modeling 50 years of historical temperature profiles in a large central European lake. *Limnology and Oceanography*, 47, 186-197. doi:10.4319/lo.2002.47.1.0186.
- Petraglia, A., Tomaselli, M. (2007). Phytosociological study of the snow-bed vegetation in the Northern Apennines (Northern Italy). *Phytocoenologia*, 37 (1).
- Petriccione, B. (2005). Biodiversity state and monitoring of some protected forests in Italy (Forest Ecosystems Monitoring Programme CONECOFOR). *Environmental Encounters Series*, 57, 81-84.

- Progetto Kyoto - Lombardia (2008). Regione Lombardia e Fondazione Lombardia per l'Ambiente.
- Reading, C. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia* 151(1), 125-131. doi:10.1007/s00442-006-0558-1.
- Rixen, C., Teich, M., Lardelli, C., Gallati, D., Pohl, M., Pütz, M., Bebi, P. (2011). Winter tourism and climate change in the Alps: An assessment of resource consumption, snow reliability, and future snowmaking potential. *Mountain Research and Development* 31, 3, 229-236. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00112.1.
- Rogers, C.A., Wayne, P.M., Macklin, E.A., Muilenberg, M.L., Wagner, C.J., Epstein, P.R., Bazzaz, F.A. (2006). Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environ. Health Perspect.*, 114, 865-9..
- Salmaso, N., Buzzi, F., Garibaldi, L., Morabito, G., Simona, M. (2012). Effects of nutrient availability and temperature on phytoplankton development: A case study from large lakes south of the Alps. *Aquatic Sciences*, 74, 555-570.
- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I.C., Araújo, M.B., Arnell, N.W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter T.R., Gracia C.A., de la Vega-Leinert, A.C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J.I., Kankaanpää, S., Klein, R.J.T., Lavorel, S., Lindner, M., Metzger, Jeannette Meyer, M.J., Mitchell, T.D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S., Zierl, B. (2005). Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science*, 310, 1333-1337.
- Singer, M.C., Parmesan, C. (2010). Phenological asynchrony between herbivorous insects and their hosts: signal of climate change or pre-existing adaptive strategy? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 3161-3176. doi:10.1098/rstb.2010.0144.
- Smiraglia, C., Morandi, G., Dialaiuti, G. (2008). Clima e ghiacciai. L'evoluzione delle risorse glaciali in Lombardia. Consiglio Nazionale della Lombardia.
- Soil and Water Conservation Society (2003). Conservation Implications of Climate Change: Soil Erosion and Runoff from Cropland. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society.
- Stanisci, A., Pelino, G., Blasi, C. (2005). Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy). *Biodiversity and Conservation*, 14, 1301-1318.
- Sugiyama, S., Bauder, A., Zahno, C., Funk, M. (2007). Evolution of Rhonegletscher, Switzerland, over the past 125 years and in the future: application of an improved flowline model. *Annals of Glaciology* 46, 268-274.
- Theurillat, J-P., Guisan, A. (2001). Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: A review. *Climatic change*, 50, 77-109.
- Thuiller, W., Lavergne, S., Roquet, C., Boulangeat, I., Lafourcade, B., Araujo, M.B. (2011). Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature*, 470, 531-534.
- UFAM -Ufficio Federale dell'Ambiente- (2007). Il cambiamento climatico in Svizzera. Indicatori riguardanti cause, effetti e misure. 2007.
- Urhausen, S., Brienen, S., Kapala, A., Simmer, C. (2011). Climatic conditions and their impact on viticulture in the Upper Moselle region. *Climatic Change*, 109, 349-373. doi:10.1007/s10584-011-0059-z.
- Valt, M., Cagnati, A., Crepaz, A., Marigo, G. (2005). Neve sulle Alpi. Neve e Valanghe, 56, 24-31.
- Van der Linden, P., Mitchell, J.F.B., eds. (2009). ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160.

- Van Vliet, M.T.H., Yearsley, J.R., Franssen, W.H.P., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D.P., Kabat, P. (2012). Coupled daily streamflow and water temperature modelling in large river basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9, 8335-8374.
- Verstraete, M.M., Brink, A.B., Scholes, R.J., Beniston, M., Stafford Smith, M. (2008). Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go? *Global and Planetary Change*, 64, 105-110.
- Vilà, M., Basnou, C., Pyšek, P., Josefsson, M., Genovesi, P., Gollasch, S., Nentwig, W., Olenin, S., Roques, A., Roy, D., Hulme, P.E. (2010). How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8, 135-144. doi:10.1890/080083.
- Visser, M.E., Holleman, L.J.M. (2001). Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1464), 289. doi:10.1098/rspb.2000.1363.
- Voigt, T., Füssel, H.M., Gärtner-Roer, I., Huggel, C., Marty, C., Zemp, M. (2010). Vulnerability and Adaptation to Climate Change Impacts in Europe. A scoping report, European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC).
- Wilbanks, T. J., et al. (2007). Executive Summary in Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the subcommittee on Global Change Research. Washington, DC.
- Weingartner, R., Viviroli, D., Schädler, B. (2007). Water resources in mountain regions: A methodological approach to assess the water balance in a highland-lowland system. *Hydrological Processes*, 21, 578-585.
- Zebisch, M., Tappeiner, U., Elmi, M., Hoffmann, C., Niedrist, G., Pedoth, L., Pinzger, S., Pistocchi, A., Tasser, E. (2011). Rapporto sul clima: Alto Adige. EURAC, 105.
- Zemp, M., Paul, F., Hoelzle, M., Haeberli, W. (2008). Glacier fluctuations in the European Alps, 1850-2000. An overview and a spatiotemporal analysis of available data. In: *Darkening Peaks: Glacier Retreat, Science, and Society* (Orlove, B., Wiegandt, E., Luckman, B.H., eds.), 152-167. University of California Press, Los Angeles.
- Zemp, M., Haeberli, W., Hoelzle, M., Paul, F. (2006). Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters*, 33, L13504.

# Distretto idrografico del fiume Po

## Sintesi

La maggior parte degli impatti indotti dal mutamento climatico è provocata e/o amplificata dalla variazione della disponibilità idrica media annuale, e dalla maggiore frequenza e intensità degli eventi estremi meteorologici e climatici. Questi fenomeni si sommano alla trasformazione economica e sociale in corso provocando una tendenza di eccessivo, e comunque non sostenibile sfruttamento delle risorse naturali, quali acqua e suolo. L'adattamento dovrebbe quindi intervenire sia nei confronti delle criticità gestionali in essere ed in divenire, che nei confronti di quelle derivanti dai cambiamenti climatici, in modo da prevenire le crisi idriche e promuovere la sicurezza idraulica.

Il Distretto Idrografico del fiume Po (DIP), il più importante in Italia in termini geografici, economici, sociali e politici, nonostante l'abbondanza delle risorse idriche è estremamente vulnerabile alle variazioni indotte dai cambiamenti climatici. Nel territorio del DIP i cambiamenti climatici potrebbero provocare un aumento consistente della temperatura media (da +2 a +4°C al 2100 in base alla località) e indurre una diminuzione delle precipitazioni medie annuali (fino a -20 %) modificando la loro distribuzione stagionale e variabilità. Se a questi fenomeni di cambiamento delle variabili meteo-climatiche si aggiungono la riduzione dell'estensione e del volume dei ghiacciai alpini, essi potrebbero portare a sensibili variazioni dei deflussi idrici che saranno solo parzialmente compensabili dalle opere idrauliche di regolazione artificiale dei deflussi esistenti. Lo studio delle serie storiche nel bacino conferma questa tendenza.

La produzione energetica ed il settore agricolo potrebbero subire gravi danni da condizioni prolungate di carenza idrica. Le alterazioni del regime idrogeologico potrebbero indurre gravi rischi (alluvioni, frane, ecc.) alle aree urbane e produttive, nonché alle infrastrutture essenziali di trasporto e di mobilità, di distribuzione dell'energia elettrica, delle telecomunicazioni e dell'acqua.

La governance di tutela e pianificazione delle risorse idriche nel DIP è articolata e complessa. Spesso tali caratteristiche costituiscono un ostacolo alla gestione efficiente della risorsa idrica.

## Introduzione

### *Obiettivo del capitolo sul distretto idrografico del fiume Po*

Il quadro conoscitivo della Strategia Nazionale permette di individuare le conoscenze esistenti e gli impatti principali indotti dai cambiamenti climatici. Poiché la maggior parte di essi è provocata o amplificata dalla variazione della disponibilità idrica e dalla frequenza ed intensità degli eventi estremi meteorologici, è essenziale esaminare l'impronta dei cambiamenti climatici all'interno dei singoli bacini o distretti idrografici. Queste entità rappresentano la dimensione fisico-istituzionale più adeguate per la difesa del suolo e per la garanzia dell'equilibrio tra i diversi usi delle risorse

idriche. La quantità idrica disponibile e la sua qualità sono limiti intrinseci alla crescita economica e sociale del territorio. Gli effetti dei cambiamenti climatici devono perciò essere interpretati in termini di rischio e vincolo all'approvvigionamento idrico, tenendo opportunamente conto delle dinamiche di cambiamento dovuto a trasformazioni economiche, sociali e ambientali del territorio compreso nei confini del bacino. Questo capitolo presenta perciò una valutazione complementare all'analisi degli impatti identificati su scala nazionale, proponendo una dimensione *pilota* per l'analisi ed il coordinamento delle misure di adattamento a scala di distretto idrografico.

Come già evidenziato l'oggetto di approfondimento di questo documento è il Distretto Idrografico del fiume Po (DIP).

### ***L'importanza del distretto idrografico del fiume Po***

Il DIP è indubbiamente il distretto più importante in Italia, sia in termini geografici che economici, sociali e politici. Non solo l'asta principale del fiume Po supera di gran lunga la lunghezza di tutti gli altri fiumi italiani (650km), ma anche quattro dei suoi affluenti (Adda, Oglio, Tanaro e Ticino) sono tra i dieci corsi d'acqua italiani più importanti. L'estensione del distretto (70.700 km<sup>2</sup>) rappresenta un quarto del territorio italiano e contiene cinque dei dieci laghi più grandi in Italia (Garda, Maggiore, Como, Iseo e Lugano). Il territorio del DIP interessa il territorio (intero o porzioni) di 3.210 comuni delle Regioni Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Lombardia, Veneto, Emilia Romagna, Toscana e della Provincia Autonoma di Trento, oltre ad alcuni comuni in Svizzera (4.000 km<sup>2</sup>) e Francia. La popolazione residente nel territorio del bacino è di circa 17 milioni (~26 % di quella nazionale). Nel DIP viene prodotto circa il 35 % della produzione agricola e zootecnia nazionale, il 37 % circa della produzione industriale ed il 40 % del prodotto interno lordo nazionale (536 miliardi di Euro nel 2005) (AdBPo 2006; ISTAT 2011; AdBPo 2012). Il DIP costituisce anche una delle zone più rilevanti per la produzione di energia elettrica. Nel DIP sono installati più di mille impianti idroelettrici, che producono il 48 % circa della produzione nazionale (Terna 2010), e 400 impianti termoelettrici che producono il 30 % circa dell'energia termoelettrica nazionale (AdBPo 2012).

### ***Vulnerabilità del distretto***

Nel bacino del Po la disponibilità della risorsa idrica è naturalmente influenzata dalla conformazione orografica del bacino. La presenza delle Alpi, naturale barriera orografica rispetto alle correnti umide che dal Mediterraneo migrano verso Nord, e quindi di neve e ghiacciai, unita alla capacità di accumulo dei grandi laghi e dei numerosi invasi artificiali, genera una sostanziale ricchezza di acqua. Tuttavia, la storica abbondanza di risorsa ha implicato l'affermazione di un uso delle risorse calibrato su grandi disponibilità, e di modelli di gestione prevalentemente impostati su analisi locali e di breve periodo (singola stagione irrigua). Negli anni, con il progressivo e rapido sviluppo socio-economico e tecnologico che ha caratterizzato la pianura padana, l'uso ha registrato un consistente incremento senza che venissero attuate procedure di aggiornamento e revisione degli strumenti regolativi, ormai quasi ottuagenari. A partire dal 2003 il bacino del Po ha subito condizioni frequenti di insufficienza idrica rispetto alla domanda, determinate da un lato dal clima più arido (incremento delle temperature medie, diminuzione delle precipitazioni estive,

precipitazioni nevose e volumi dei ghiacciai in calo molto rilevante, deflussi idrici estivi medi alla chiusura del bacino in calo) e dall'altro da variazioni della domanda legate a nuovi fattori: oltre alla copertura delle esigenze per uso irriguo derivanti dalla siccità agricola, sono aumentati i fabbisogni estivi di energia elettrica per il condizionamento degli ambienti domestici. Nel DIP lo stato di emergenza (SdE) secondo la Legge n. 225 del 24 febbraio 1992 è stato dichiarato nel 2003, 2006 e nel 2007 per un periodo complessivo di 21 mesi. Lo stato di emergenza per crisi idrica è stato poi dichiarato nel 2012 nelle Regioni Veneto e Toscana e nelle province Romagnole. Gli eventi dell'ultimo decennio hanno dimostrato che tutti i settori produttivi, fra cui agricoltura, industria e produzione energetica ed i settori civili di approvvigionamento idrico sono estremamente vulnerabili a variazioni prolungate di disponibilità idrica.

Il territorio del bacino è inoltre molto esposto al rischio idrogeologico. Negli ultimi anni lo SdE per tale rischio è stato dichiarato per alcune porzioni di territorio in seguito a 15 eventi meteorologici eccezionali avvenuti negli anni 2000, 2002-2003, 2008-2011, per una durata complessiva di 460 mesi. I danni subiti dal sistema socio-economico in caso di alluvione sono spesso molto ingenti, dell'ordine dei miliardi di Euro. Ad esempio, gli eventi alluvionali avvenuti nell'Ottobre 2000 causarono danni stimati superiori agli 8 miliardi di Euro (Carrera et al. 2014), e furono poi motivo di una revisione del quadro normativo della gestione del rischio idrogeologico in Italia. Inoltre, il sistema di infrastrutture presente del DIP include elementi critici per l'economia e lo sviluppo nazionale quali ferrovie ad alta velocità, strade statali, secondarie ed autostrade, centrali termoelettriche, idroelettriche e centrali nucleari (non in uso), reti di trasmissione dell'energia elettrica, aeroporti nazionali ed internazionali, ospedali, importanti ecosistemi come i parchi nazionali e le aree umide, strutture idrauliche, canali e sistemi di distribuzione dell'acqua, e quant'altro presente in un'area ad elevata densità demografica ed ampiamente sviluppata come il DIP. Gli ultimi eventi hanno mostrato che le infrastrutture critiche del bacino sono vulnerabili agli eventi estremi meteorologici.

### *Sintesi sull'andamento climatico passato e futuro*

Il DIP è caratterizzato da una complessità di componenti sensibili al clima. L'aggravarsi delle condizioni di depauperamento delle risorse idriche dovuto a diversi fattori non solo climatici, è ormai reso evidente dalle ricorrenti annate di magra che hanno coinvolto il DIP nell'ultimo decennio, ed in particolare dalle più recenti emergenze siccità.

In base ai modelli di previsione climatica globali e regionali, il DIP si pone nella zona di transizione climatica fra il Mediterraneo ed il Nord Europa, nella quale l'incertezza sul clima futuro è più elevata che in altre aree Europee. Tale posizione geografica e le caratteristiche orografiche tipiche dell'area causano incertezza sugli sviluppi futuri del clima, in particolare sulla distribuzione delle precipitazioni, anche nevose, e sulla frequenza con cui potranno presentarsi periodi siccitosi e temperature superiori alla media storica.

#### *Governance delle risorse idriche*

Il modello italiano di *governance* dell'acqua ha subito un significativo processo di innovazione negli ultimi decenni. La legislazione Europea ne rappresenta la cornice generale di riferimento, specialmente in seguito all'entrata in vigore della Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/EC).

Il sistema di governo delle risorse idriche è caratterizzato da una stratificazione di enti preposti nella gestione delle risorse idriche e nella fornitura di servizi idrici. Le Regioni sono interamente responsabili delle funzioni di pianificazione e regolazione: delimitano le dimensioni e l'organizzazione degli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO), definiscono le forme di cooperazione degli enti locali riuniti nelle Autorità di Ambito Territoriale Ottimale (AATO) e gli obiettivi di tutela dei corpi idrici, disciplinano la pianificazione territoriale e ambientale (secondo le direttive dei *Piani di bacino*) e le concessioni di derivazione per le acque superficiali. L'Autorità di Bacino, ora Autorità di Bacino Distrettuale, svolge la funzione di coordinare attraverso il *Piano di bacino* le diverse pianificazioni settoriali di competenza regionale e di garantire la coerenza tra i piani di bacino e le normative europee, nazionali, regionali e locali. La gestione del servizio idrico integrato è affidata agli ATO. Le AATO sono strutture che raggruppano vari comuni e sono responsabili dell'aggiudicazione e del controllo dell'erogazione di servizi idrici, e di gestione delle acque reflue per la popolazione che vive nelle aree di loro competenza. Le Province svolgono funzioni amministrative relative all'uso delle acque pubbliche, riguardanti ad esempio l'istruttoria ed il rilascio delle concessioni di piccole derivazioni, le licenze di attingimento le autorizzazioni per la ricerca, le concessioni per l'estrazione e l'utilizzo delle acque sotterranee ad usi diversi da quelli domestici. Le amministrazioni locali contribuiscono all'attuazione dei *Piani di gestione* delle risorse idriche adottati da ogni regione; le loro competenze quindi variano da regione a regione. I Consorzi di Bonifica e Irrigazione sono responsabili dei processi di bonifica dei suoli e della distribuzione delle acque per scopi irrigui. Sono gestiti da consorziati, proprietari degli immobili compresi nell'area di competenza dell'ente.

E' importante evidenziare che in Italia in generale, e nelle regioni del DIP in particolare, la struttura di funzionamento del sistema di approvvigionamento idrico per usi antropici sia caratterizzata da un elevato livello di frammentazione e separazione tra i vari settori (urbano, industriale ed energetico, irriguo). Nella maggior parte dei casi l'irrigazione è gestita collettivamente tramite associazioni locali di agricoltori che si occupano soltanto dell'approvvigionamento idrico a scopi irrigui ma non hanno nessun legame con gli operatori responsabili delle forniture idriche per uso urbano e industriale (OCSE 2013).

## Principali norme per la tutela quali - quantitativa della risorsa idrica

Una compiuta sistematizzazione della normativa in materia di risorse idriche ha avuto inizio a partire dagli anni Settanta, quando lo sviluppo socio-economico del paese e le insorgenti problematiche ambientali resero palese la necessità di un ripensamento della legislazione vigente, in modo da promuovere un impiego dell'acqua secondo una politica razionale e correlata al concetto di salvaguardia ambientale. A partire da quegli anni vengono dunque disciplinate la tutela delle acque dall'inquinamento (L. 319/1976), la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e gestione del patrimonio idrico e la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi (L. 183/1989), la gestione integrata dell'intero ciclo idrico (L. 36/1994), la tutela della qualità delle acque (D.Lgs. 152/1999).

In anni recenti, il quadro normativo italiano è stato influenzato dalla Direttiva 2000/60/CE, la cui attuazione è avvenuta ad opera del D.Lgs. 152/2006 (c.d. Codice ambientale CA). Il Codice, che dedica l'intera parte III alle "norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche", riordina e coordina tra loro le disposizioni precedentemente frammentate in una pluralità di testi, unificando la normativa sopracitata e apportandone alcune modifiche.

La maggiore novità riguarda la disciplina della pianificazione. In conformità alla Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), il Codice indica come ambito territoriale ottimale per gli interventi di salvaguardia del suolo e delle risorse idriche il *distretto idrografico*, definito come "l'area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere, che costituisce la principale unità per la gestione dei bacini idrografici". Viene dunque superata la ripartizione introdotta dalla L. 183/1989 in bacini idrografici nazionali, interregionali e regionali, sostituiti da otto distretti idrografici. Di conseguenza, le funzioni delle diverse Autorità di Bacino sono assorbite dalle Autorità di Bacino Distrettuale, alla quali è demandata la redazione di un *Piano di bacino* distrettuale avente valore di piano territoriale di settore (art.65 del D.Lgs. 152/2006). Il piano costituisce lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ed alla corretto utilizzo delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. Il piano è redatto e approvato per sotto-bacini o stralci relativi a settori funzionali e sottoposto a valutazione ambientale strategica (VAS), secondo le modalità descritte dalla parte II del D.Lgs. 152/2006.

Particolare rilievo tra gli stralci funzionali è assunto dal *Piano di gestione* (art. 117), la cui adozione è disciplinata dalla L. 13/2009. Essa stabilisce che l'adozione dei piani sia effettuata, sulla base degli atti e dei pareri disponibili, entro e non oltre il 22 dicembre 2009, dai comitati istituzionali delle Autorità di Bacino di rilievo nazionale, integrati da componenti designati dalle regioni il cui territorio ricada nel distretto idrografico al quale si riferisce il piano di gestione, e non già rappresentate nei medesimi comitati istituzionali (comma 3-bis.). Il termine del 22 dicembre 2009 è

stato in seguito differito al 28 febbraio 2010 (D.L. 194/2009), affinché tutti i piani di gestione a livello nazionale potessero essere sottoposti ad un periodo minimo di consultazione di sei mesi.

Parte integrante del piano di gestione sono i *Piani di tutela delle acque* (PTA) redatti a livello regionale e già previsti dal D.Lgs. 152/99. Essi contengono gli interventi volti a garantire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi di qualità e le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico. Le Autorità di Bacino Distrettuali, nel contesto delle attività di pianificazione o mediante appositi atti di indirizzo e coordinamento, definiscono gli obiettivi su scala di distretto cui devono attenersi i PTA, nonché le priorità degli interventi. Nei PTA sono adottate anche misure volte ad assicurare l'equilibrio del bilancio idrico (art. 95) come definito dalle Autorità di Bacino Distrettuali (art. 145), nel rispetto delle priorità stabilite dalla normativa vigente e tenendo conto dei fabbisogni, delle disponibilità, del minimo deflusso vitale, della capacità di ravvenamento<sup>347</sup> dei corpi idrici sotterranei, e delle destinazioni d'uso della risorsa compatibili con le relative caratteristiche qualitative e quantitative. Ogni singolo PTA, dopo aver analizzato lo stato e le caratteristiche del suolo e delle acque nel suo territorio, dovrebbe anche contenere valutazioni in merito a tendenze future nel settore civile, agro-zootecnico e industriale, tenendo conto dei potenziali mutamenti climatici.

Il codice dell'Ambiente è stato recentemente modificato dall'entrata in vigore del disposto della L. 42/2010, decretante l'abolizione delle Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale (AATO). Introdotta dalla Legge Galli del 1994, le AATO - associazioni obbligatorie di enti locali - costituivano la controparte contrattuale dei gestori del servizio idrico ed avevano il compito di predisporre un *Piano d'ambito*, comprensivo del programma degli interventi (manutenzione straordinaria e nuove opere necessarie per garantire i livelli minimi di servizio), del piano economico-finanziario, del modello gestionale-organizzativo e del piano tariffario all'interno del proprio ambito territoriale di competenza.

In un'ottica di razionalizzazione delle spese dello Stato e di semplificazione del sistema, la L. 42/2010 ha disposto la soppressione di tali autorità entro il 27 Marzo 2011 (termine più volte prorogato fino alla data finale del 31 dicembre 2012) e l'attribuzione delle rispettive funzioni tramite legge regionale e nel rispetto dei principi di sussidiarietà, differenziazione e adeguatezza. Ogni regione ha operato scelte di diverso tenore adeguandole alle peculiarità dei propri territori e alle realtà in atto nel contesto regionale<sup>348</sup>.

---

<sup>347</sup> Aumento della ricchezza idrica di una falda freatica.

<sup>348</sup> Le regioni principali appartenenti al DIP hanno riorganizzato le funzioni delle AATO nella seguente forma (ultimo aggiornamento inizio 2013):

Valle d'Aosta: un solo ambito regionale gestito della Regione e sub-ambiti gestiti a livello locale;

Piemonte: mantenimento dei sei ambiti già presenti ma sotto la supervisione del Consiglio Regionale;

Lombardia: i 13 ambiti, uno per ogni Provincia più il Comune di Milano, vengono gestiti dagli Uffici d'Ambito provinciali;

— Emilia Romagna: un solo ambito regionale gestito dall'Agenzia territoriale dell'Emilia-Romagna per i servizi idrici e rifiuti.

In ultimo, il D.L. 201/2011 (c.d. *Salva-Italia*) ha attribuito all'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) le funzioni attinenti alla regolazione e al controllo dei servizi idrici (art.21, comma 19) in precedenza affidate all'agenzia nazionale per la regolazione e la vigilanza in materia di acqua.

## *Il governo del DIP*

La struttura istituzionale di governo del DIP cominciò a delinearsi già all'inizio del secolo scorso quando, dopo le prime grandi piene del secolo (1907 e 1917), si sentì l'esigenza di individuare una struttura unica alla quale affidare il coordinamento dell'attività di gestione delle acque di tutto il bacino. Nel 1924, fu istituito a Parma il Circolo di Ispezione del Genio Civile per il Po, al quale vennero affidati i compiti di polizia idraulica e di vigilanza sui progetti e sull'esecuzione delle opere per la sistemazione e la regolarizzazione degli alvei. Fu però l'alluvione del 1951 a determinare l'istituzione del Magistrato per il Po (MagisPo), allo scopo di unificare tutte le attività di pianificazione, coordinamento, esecuzione e controllo delle opere idrauliche attinenti l'asta del fiume.

In seguito alla L. 183/1989 venne istituita l'Autorità di Bacino del fiume Po (AdBPo) e si rese necessario attuare una redistribuzione di competenze tra questa e il MagisPo. All'autorità di Bacino venne affidato il compito di elaborare il *Piano di bacino*, lo strumento di indirizzo e coordinamento del governo delle acque a scala di bacino, mentre al MagisPo (che dal 2003 è diventato l'Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO)) sono state attribuite competenze in materia di progettazione ed esecuzione degli interventi sulle opere idrauliche e compiti di polizia idraulica e servizio di piena (Borelli 1999, Rainaldi 2010). Come già ricordato, il Codice Ambientale ha abolito le autorità di bacino nazionali e interregionali; tuttavia nelle more dell'istituzione delle autorità di distretto (Autorità di Distretto Idrografico del fiume Po in questo caso) sono rimaste ancora operative le autorità di bacino ai sensi della L. 183/89. Nel caso del bacino del fiume Po, la delimitazione prescritta dalla L. 183/89 e quella del distretto ai sensi del D.Lgs. 152/2006 coincidono, come non accade di norma nel resto del territorio nazionale. Il disegno di legge collegato alla legge di stabilità del 2014 prevede che i territori del Fissero Tartaro Canalbianco e la Romagna vengano accorpati al DIP.

Il 24 febbraio 2010, il comitato istituzionale dell'AdBPo ha adottato il *Piano di gestione* per il DIP. Il piano si fonda sui PTA approvati nelle Regioni ricadenti nel DIP<sup>349</sup>. All'entrata in vigore del Codice le Regioni interessate si trovavano già in una fase avanzata di definizione dei PTA, seppur in consistente ritardo rispetto al termine stabilito dal D.Lgs. 152/99 (31 Dicembre 2003)<sup>350</sup>.

---

<sup>349</sup> La cui validità ed efficacia è stata garantita dalle norme transitorie dettate per il passaggio tra il D.Lgs. 152/1999 e il D.Lgs. 152/2006 e in particolare dal comma 11 dell'articolo 170 del Codice dell'Ambiente.

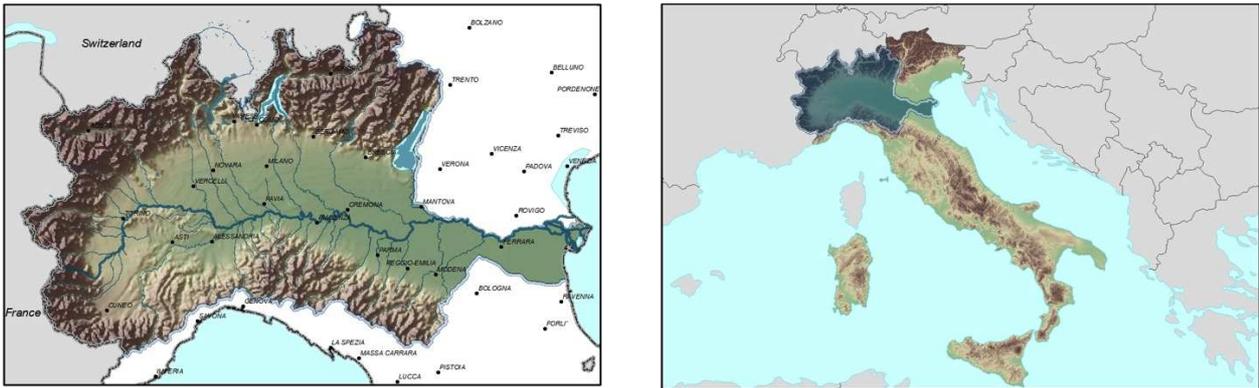
<sup>350</sup> La Regione Emilia-Romagna ha approvato il PTA in via definitiva con Delibera n. 40 dell'Assemblea Legislativa il 21 dicembre 2005, la Regione Liguria ha approvato il Piano di Tutela delle Acque con Delibera del Consiglio Regionale n. 32 del 24 novembre 2009, la Regione Lombardia ha approvato in via definitiva il PTUA con Delibera di Giunta Regionale (DGR) n. 2244 del 29 marzo 2006, la Regione Piemonte ha approvato il PTA in via definitiva in data 13 marzo 2007 con Deliberazione del Consiglio Regionale (DCR) n. 117-10731, la Regione Toscana ha approvato il PTA con Delibera del Consiglio Regionale n. 6 del 25 gennaio 2005, la Provincia Autonoma di Trento ha approvato il PTA in via definitiva con Delibera di Giunta n. 3233 del 30 dicembre 2004, la Regione Valle

Si ricorda, infine, l'importante ruolo giocato dai Consorzi di Bonifica ed Irrigazione per quanto concerne la pianificazione e gestione delle risorse idriche a livello di bacino. Di particolare interesse è l'esperienza di alcuni consorzi di bonifica della Regione Emilia-Romagna, che già nel corso del 2007, hanno provveduto a redigere ed approvare piani siccità, inseriti come strumento operativo all'interno del più ampio *Piano di conservazione delle acque*. In molte regioni del DIP i consorzi di bonifica sono stati recentemente riformati in funzione di una gestione più efficiente e coordinata, cercando di evitare eccessiva frammentazione e sperpero di informazioni nelle aree considerate omogenee. La nuova struttura dei Consorzi prevede una rilevante razionalizzazione dei costi e lo snellimento delle strutture amministrative in funzione di istituzioni più agevoli da gestire. A tal riguardo, si cita quale atto rilevante l'accordo di programma stipulato a luglio del 2012 tra le autorità di bacino di rilievo nazionale e l'Associazione Nazionale Bonifica e Irrigazione (ANBI), allo scopo di definire ed attuare un'azione comune in materia di ottimizzazione delle risorse idriche, di difesa e tutela del sistema fisico-ambientale.

## Clima

### *Tipologie climatiche*

Dal punto di vista climatico, il DIP è influenzato da vari fenomeni locali, fra cui: a) la presenza dei laghi naturali prealpini, che mitigano la temperatura in alcune aree del DIP; b) la maggiore azione mitigatrice sulla temperatura esercitata dal mare Tirreno rispetto all'Adriatico; c) l'orografia delle zone alpine ed appenniniche che determina un clima di montagna in tali zone; c) la presenza di correnti marine particolari (ad esempio la corrente diretta verso sud che lambisce la costa italiana adriatica determina, a parità di latitudine, un clima nella parte orientale del bacino più freddo rispetto alla parte tirrenica); e d) l'esposizione della pianura padana rispetto ai venti dominanti e locali.



*Figura 3.23: Distretto idrografico del fiume Po (DIP) (Fonte: elaborazione propria).*

Tutti questi fenomeni influenzano il clima del bacino, determinando diverse tipologie di territorio omogenee in termini di temperatura e precipitazioni. La definizione di tali tipologie risulta essenziale alla comprensione degli effetti del cambiamento climatico sul territorio.

In termini di temperatura, esiste una tendenza generale delle linee di uguale temperatura a disporsi secondo quelle fondamentali del rilievo, in cui le isoterme<sup>351</sup> seguono l'andamento delle isoipse<sup>352</sup>. Il territorio si può dividere quindi in tre fasce in base ai valori medi annuali (AdBPo 2010):

- <math> < 5^{\circ}\text{C}</math> zone alpine di alta quota e crinale dell'Appennino emiliano;
- $5\text{-}10^{\circ}\text{C}$  zone montane di media altitudine;
- $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$  vallate alpine, zona dei laghi, Alpi Marittime e l'intera pianura padana.

In base all'andamento delle precipitazioni si possono individuare invece 5 tipi pluviometrici (AdBPo 2010):

- il tipo continentale che presenta il massimo delle precipitazioni in estate e il minimo in inverno: predomina in tutto l'arco alpino che comprende le alte vallate dell'Oglio, dell'Adda e del Ticino con propaggini estese sino ai rilievi secondari delle Prealpi;
- il tipo sub-litoraneo alpino che è caratterizzato da due massimi e due minimi di precipitazione nell'anno medio con modesta prevalenza del massimo primaverile sull'autunnale e con minimo invernale inferiore a quello estivo: inizia dalla pianura,

<sup>351</sup> Le isoterme sono linee sulla carta meteorologica che uniscono i punti della terra e del mare con la stessa temperatura.

<sup>352</sup> Le isoipse sono curve che uniscono punti con la stessa quota.

interessa tutta la fascia prealpina della regione lombarda, si protrae all'intero bacino del Toce e riprende, con caratteri meno accentuati, nell'alta valle d'Aosta;

- il tipo sub-litorale occidentale in cui si rilevano due massimi e due minimi pluviometrici, con il massimo di primavera più elevato e con il minimo invernale più basso: comprende tutta la parte occidentale del DIP, dal Ticino al Tanaro, ad eccezione della valle della Dora Riparia e dei rilievi delle Alpi Marittime e del Monferrato;
- il tipo sub-litorale padano il quale è caratterizzato da due massimi e due minimi pluviometrici equivalenti: si estende in tutta la zona di pianura compresa fra i primi rilievi delle Prealpi ed il fiume Po, protraendosi a ponente nella vasta valle del Tanaro sino quasi al suo apice;
- il tipo sub-litoraneo appenninico in cui le precipitazioni medie annuali presentano due massimi e due minimi, con il massimo autunnale più elevato di quello primaverile e con il minimo estivo più contratto di quello invernali: comprende l'intera regione dominata dai rilievi dell'Appennino, dal crinale al corso della Bormida e del Po, escluse le zone del basso modenese. Include altresì una porzione delle Alpi Marittime.

Mentre nel sistema appenninico la dipendenza dei valori isoietografici<sup>353</sup> dalla quota è piuttosto regolare, nelle Alpi le rappresentazioni isoietografiche appaiono piuttosto complesse e non sempre in diretto rapporto con il parametro altimetrico; ciò dipende da un complesso di fattori meteorologici e geografici: altitudine, regime dei venti e delle temperature nella zona interessata e nella zona adiacente, complessità ed intensità del rilievo, giacitura rispetto al mare e ai grandi corsi d'acqua, direzioni da cui spira il vento dominante, e così via. Ad esempio valori bassi di precipitazione si riscontrano nel fondo delle vallate orientate secondo i paralleli: Valle di Susa, Val d'Aosta, Valtellina, mentre precipitazioni notevoli tendono a concentrarsi nella zona dei laghi, in corrispondenza di rilievi non superiori ai 2.000–2.500 m s.l.m.

### *Cambiamenti climatici osservati*

Esistono diverse osservazioni dei cambiamenti climatici a livello nazionale ed alcune a livello regionale. Lo studio dell'andamento dei valori osservati di temperatura e precipitazione in Italia a partire dal 1800 al 2003 ha evidenziato un incremento uniformemente distribuito di temperatura di circa 1 K per secolo (Brunetti et al. 2006). In base agli studi di Brunetti la curva cresce più rapidamente a partire dal 1980. Il trend è più evidente nei mesi primaverili e estivi, mentre nella stagione autunnale e invernale risulta meno marcato. Su un arco temporale più limitato, l'Istituto Superiore per la protezione e la Ricerca dell'Ambiente (ISPRA) ha stimato la variazione di temperatura in Italia dal 1961 al 2011 in 1,13 °C o 0,94 °C a seconda del modello utilizzato (piecewise o sloped-steps) (Fioravanti et al. 2012). Gli ultimi 30 anni mostrano (ad eccezione del 1991) una temperatura media in Italia sempre superiore rispetto al valore normale del periodo

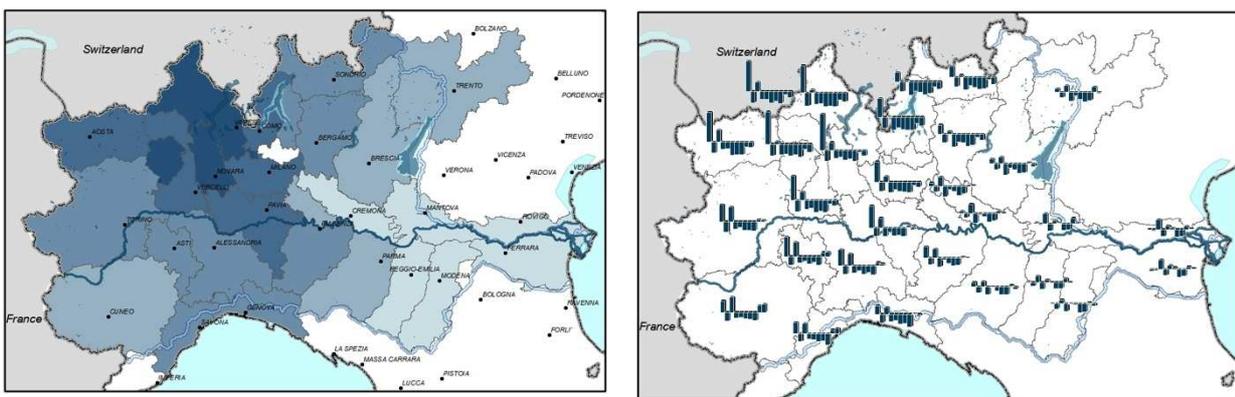
---

<sup>353</sup> Le isoiete sono curve che indicano aree interessate dalla stessa quantità di precipitazioni.

1961-1990. Le temperature massime e minime sull'intero periodo evidenziano una sostanziale uniformità rispetto ai valori medi, ovvero non è stato rilevato un aumento della differenza tra valori medi ed estremi (Simolo et al. 2010). Le ondate di calore mostrano invece un forte aumento negli ultimi decenni, sia in termini di frequenza sia di intensità. Per quanto riguarda le precipitazioni, le medie europee non mostrano variazioni significative dal 1950 (Haylock et al. 2008). In Italia, invece, il trend di precipitazione dal 1800 evidenzia una diminuzione complessiva di lieve entità e statisticamente poco significativa (Brunetti et al. 2006). La media annuale nazionale delle osservazioni evidenzia una diminuzione del 5% per secolo, principalmente data dalla diminuzione del 9% primaverile (Brunetti et al. 2006).

Le attività di monitoraggio meteo-idrologico da parte delle Agenzie ambientali dell'Emilia-Romagna, della Lombardia, del Piemonte, della Valle d'Aosta e del Veneto, confermano ed in alcuni casi rafforzano nel Nord Italia i trend nazionali di aumento della temperatura. Ad esempio in Emilia Romagna le osservazioni nell'ultimo trentennio hanno evidenziato un aumento delle temperature medie annue di circa 2°C dal 1960 ad oggi (Cacciamani et al. 2010). Per quanto riguarda le precipitazioni Toreti identifica nelle serie stagionali una diminuzione della precipitazione media invernale di 1,47 mm/anno per l'Italia settentrionale, mentre nelle serie annuali non viene identificata alcuna variazione statisticamente significativa (Toreti et al. 2009). Una successiva valutazione statistica effettuata da ISPRA (Desiato et al. 2012) sulle anomalie di precipitazione per il Nord Italia conferma una variazione annuale leggermente negativa e continua negli ultimi 60 anni, ma non significativa.

Altri studi rilevano una variazione delle precipitazioni nel bacino più evidente. Arpa Emilia-Romagna rileva un aumento dell'intensità dei singoli eventi piovosi ma una riduzione complessiva del numero di eventi totali col risultato di un rilevante calo delle precipitazioni medie nel bacino del fiume Po di circa il 20% su base annua e del 35% nel periodo gennaio-agosto (1975-2006) (Cacciamani et al. 2008).



*Figura 4.23: Precipitazioni nel DIP: (sinistra) precipitazione annua media (2000-2009) per Provincia; (destra) istogramma della variazione di precipitazione annuale negli anni 2000-2010 rispetto alla precipitazione annuale media nel periodo (1971-2000) per Provincia (Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT).*

Sempre secondo Arpa Emilia-Romagna alla diminuzione progressiva degli afflussi nell'ultimo trentennio fa riscontro un decremento significativo della portata media in chiusura del bacino (sezione di Po a Pontelagoscuro) di circa il 20 % su base annua e del 45 % nella stagione estiva nel periodo 1975-2006 (Cacciamani et al. 2008).

Le medie di deflusso alla stazione di Pontelagoscuro sul più lungo periodo (1923-2010) non evidenziano invece particolari trend significativi di riduzione dei flussi in chiusura Po.

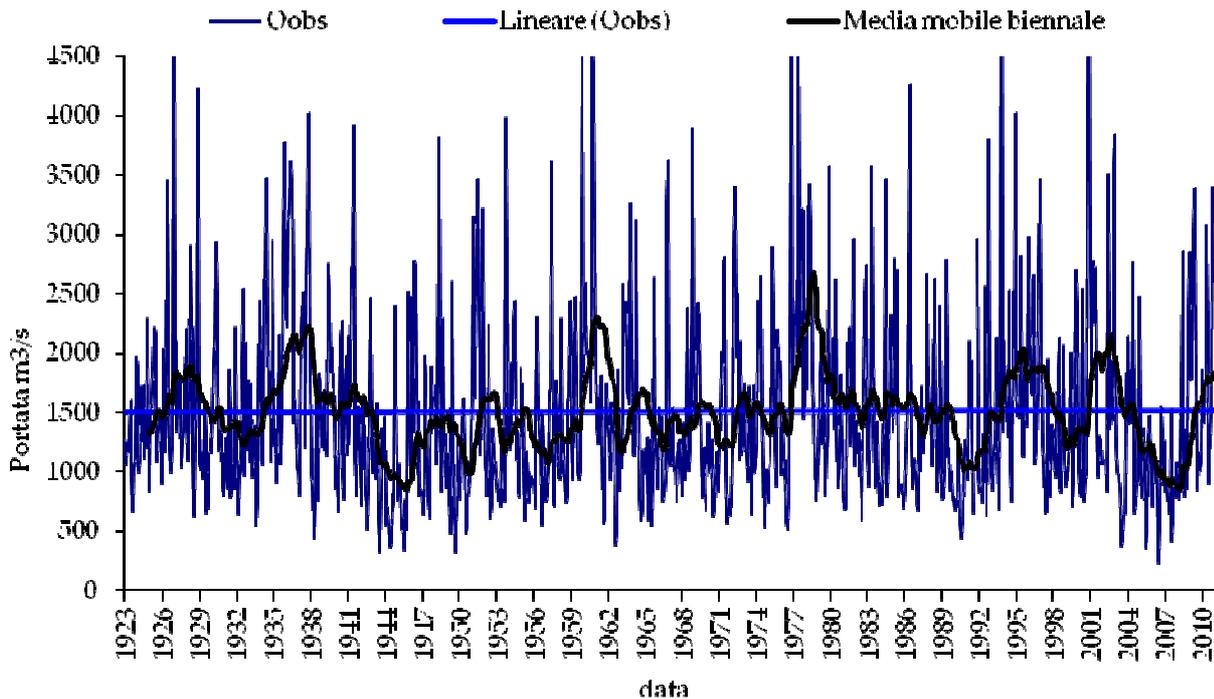


Figura 5.23: Portata media mensile osservata nella stazione di Pontelagoscuro sul fiume Po nel periodo 1923-2010, media mobile biennale e trend lineare. Qobs = portata osservata (Fonte: Arpa Emilia-Romagna).

Il deflusso è anche influenzato dalle precipitazioni nevose e dal volume dei ghiacciai alpini, osservato in forte calo. La copertura nevosa subisce le maggiori riduzioni in primavera e nel passaggio autunno-inverno, poiché la stagione di accumulo della neve al suolo è ritardata, mentre quella di fusione è anticipata. In futuro ci si attende anche un progressivo arretramento dei principali ghiacciai alpini che dal 1860 ad oggi è stato generalmente omogeneo, eccetto per un breve intervallo alla fine del XIX secolo. Ad oggi si stima che lo scioglimento dei ghiacciai tale abbia portato alla perdita di circa il 40 % della loro superficie.

Va sottolineato che la stima degli impatti dei cambiamenti climatici sulle portate dei fiumi è influenzata dalle incertezze legate alla mancanza e/o incompletezza delle informazioni relative ai prelievi effettuati a monte delle sezioni di misura, con conseguente difficoltà nella ricostruzione dei deflussi naturali e quindi disomogeneità delle portate oggetto di comparazione temporale. I prelievi complessivamente effettuati su tutto il bacino corrispondono infatti ad una portata a

Pontelagoscuro stimata in alcune centinaia di m<sup>3</sup>/s nel periodo irriguo. Pertanto lo studio del loro impatto sulle portate osservate è fondamentale per distinguere il segnale dei cambiamenti climatici dagli effetti antropici, anche se un aumento dei prelievi per l'irrigazione può essere considerato un impatto indiretto dei cambiamenti climatici che generano un maggior fabbisogno irriguo. Analoga considerazione va fatta per quanto riguarda lo studio degli impatti sui laghi naturali ed artificiali, per i quali alle incertezze sui prelievi si aggiunge quella sugli schemi gestionali adottati.

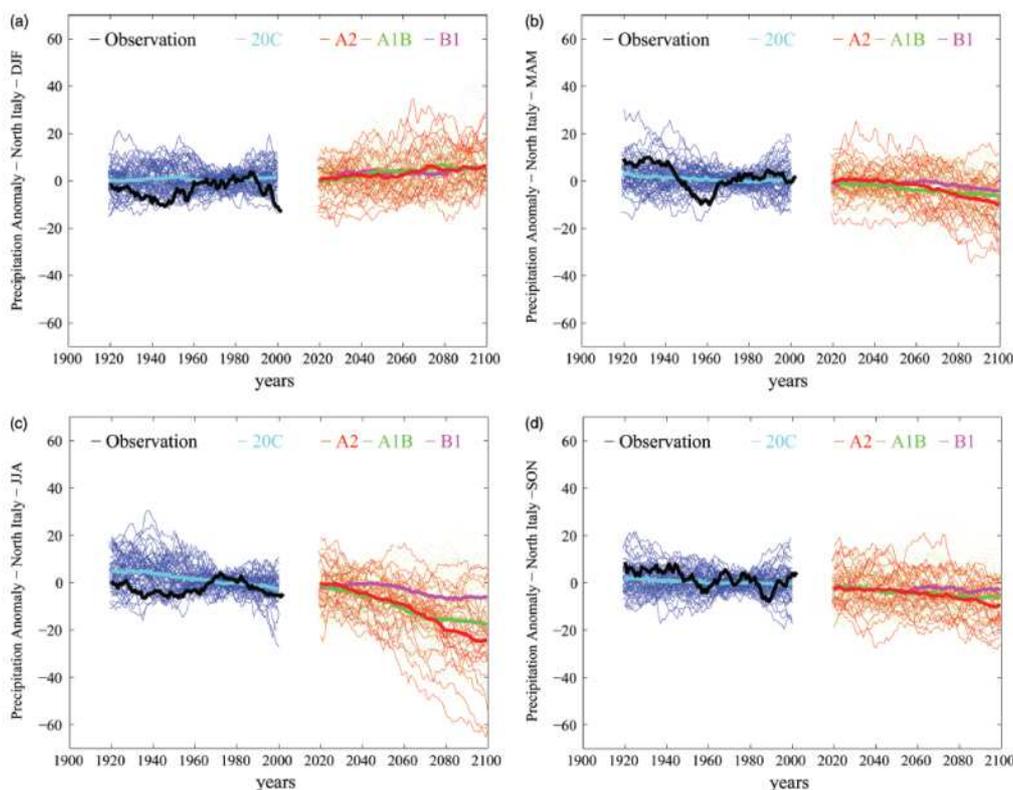
E' chiaro quindi che ai trend climatici in atto si sono sommati, negli ultimi decenni, altrettanto forti trend (in crescita) della domanda di risorsa idrica e dei conseguenti prelievi sull'asta del Po e sui suoi principali affluenti. Alle modificazioni significative della distribuzione, durata ed intensità delle precipitazioni liquide e nevose fanno seguito rilevanti modificazioni del regime dei deflussi superficiali e sotterranei con:

- aumento dei periodi di esposizione al rischio di siccità ed alluvioni. Va ricordato che negli ultimi dieci anni il Piemonte ha dovuto affrontare almeno tre eventi di piena che le statistiche correnti indicherebbero come ultracentenarie;
- diminuzione della durata e della capacità di ritenzione idrica del suolo e di ricarica delle falde;
- aumentata probabilità ed intensità degli episodi di intrusione del cuneo salino;
- deterioramento della qualità dell'acqua (minore diluizione, maggiore temperatura e contenuto di nutrienti) e degli ecosistemi associati;
- maggiore esposizione al rischio idraulico, di desertificazione e sanitario;
- conseguente progressiva inadeguatezza/insufficienza di alcune opere idrauliche.

Nel bacino del fiume Po tali modificazioni sono amplificate ed immediatamente riscontrabili nel delicato sistema deltizio, che può pertanto essere considerato un indicatore di sintesi dello stato dell'intero bacino (*hot spot* climatico). Ad un possibile aumento del livello marino e alla diminuzione delle portate fluviali corrisponde una risalita di acqua salata dall'Adriatico nei rami deltizi del Po che oggi si attesta, nei periodi di magra estiva, sui 20 km contro i circa 2 km degli anni '70. La frequente riduzione di portata al di sotto dei 400 m<sup>3</sup>/s, minima per contrastare l'intrusione salina, mette in sofferenza circa 30.000 ettari di territorio, causando la salinizzazione delle falde, l'interruzione dell'approvvigionamento idrico, del funzionamento dell'irrigazione, del prelievo per il raffreddamento delle centrali termoelettriche di Sermide e Ostiglia e l'inaridimento delle zone litoranee, con pesanti effetti sugli ecosistemi associati ed in primis a quelli sostenuti dal corpo idrico deltizio. Alcuni degli impatti elencati cominciano a registrarsi per portate inferiori al valore di 600 m<sup>3</sup>/s della portata osservata a Pontelagoscuro.

## Le proiezioni future

Il Quarto *Assessment Report* dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2007) include il DIP nelle aree Europee continentali che subiranno una variazione del regime piovoso ed un aumento degli eventi idrometeorologici estremi. In base ai modelli climatici di circolazione globale, il DIP si trova nella fascia Europea di transizione della variazione di piovosità (da generalmente inferiore – a sud- a generalmente superiore – a nord), caratterizzata da un alto grado di indeterminatezza previsionale. Anche il Quinto *Assessment Report* (*Working Group 1*) dell'IPCC conferma questa incertezza, che però è meno evidente per quanto riguarda le temperature. Infatti tutti i modelli climatici considerati in questo studio prevedono un aumento della temperatura (da 2°C a 4°C circa dipendente da scenario e luogo di osservazione) ma evidenziano maggiore incertezza nelle precipitazioni.



**Figura 6.23:** Modelli generali di circolazione stagionale (DJF: Dicembre-Gennaio-Febbraio, MAM: Marzo-Aprile-Maggio, JJA: Giugno-Luglio-Agosto, SON: Settembre-Ottobre-Novembre) anomalia del trend di piovosità sul Nord Italia. The linee blu sono i risultati delle singole simulazioni relative alla media ventennale di precipitazione del ventesimo secolo. La linea azzurra è la media d'insieme delle simulazioni nello stesso periodo e la linea nera è la media delle osservazioni reali dalla Climate Research Unit della University of East Anglia. Le linee gialle, verdi e rosse sono le medie ventennali risultanti dagli scenari rispettivamente B1, A1B and A2; le linee più marcate dello stesso colore sono la media d'insieme dei risultati dei modelli. L'unità di misura dell'asse delle ascisse è la percentuale di variazione dai valori medi di precipitazione del periodo 1961-1990 (Fonte: Coppola e Giorgi 2010).

Tale incertezza viene amplificata dalla particolare orografia del bacino. Recenti studi del Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) (Cattaneo et al. 2012) evidenziano come i risultati delle simulazioni siano soddisfacenti per quanto riguarda la parte piana del bacino, ma siano meno soddisfacenti nella parte montuosa dove l'orografia gioca un ruolo preponderante. Sebbene questa incertezza sia notevole, Coppola e Giorgi (2010) attraverso la riduzione di scala di modelli globali a livello regionale con previsione al 2100 identificano per il Nord Italia una diminuzione delle precipitazioni annuali nella stagione estiva (fino al 20%) ed un lieve aumento nella stagione invernale (5% circa). L'andamento è pressoché stazionario nelle stagioni intermedie nei tre scenari di sviluppo socio-economico considerati dall'IPCC (A2, A1B, B1).

Altri studi (Tomozeiu et al. 2007) scalati a livello regionale (Regione Emilia-Romagna), mostrano un aumento significativo sia delle temperature massime sia minime, associate ad una diminuzione dei giorni di gelo ed un aumento della durata delle onde di calore. Proiezioni di variazione della temperatura e precipitazione sono state prodotte sull'Italia settentrionale (Tomozeiu et al. 2012) e sulla Val Padana (Tomozeiu et al. 2011).

Quantunque sia difficile e molto complesso prevedere il clima del futuro, specialmente ad una scala spaziale ridotta come quella regionale italiana, ancor più complesso e difficile appare prevederne le conseguenze sul ciclo idrologico quali i regimi pluviometrici e le portate dei corpi idrici superficiali e sotterranei. Oltre alle variazioni previste di temperatura e piovosità, va evidenziato come questi cambiamenti influiscano pesantemente sulla frazione solida/liquida delle precipitazioni e sulle caratteristiche di ritenzione idrica e scorrimento superficiale dei suoli. Studi elaborati dal CMCC (Baruffi et al. 2012) prevedono anche un aumento generalizzato dell'evaporazione fino al 25% (lo studio si riferisce al Nord-Est Italia). Questi cambiamenti comporteranno quindi una variazione generale della circolazione idrica sia superficiale che freatica di difficile quantificazione, dalla quale risulteranno modifiche alla disponibilità idrica del bacino. Ulteriori studi sono al momento in fase di elaborazione da parte del CMCC, dove si stanno sviluppando modelli regionali a bassa scala (10 km), che in futuro potranno fornire informazioni più dettagliate sui potenziali eventi meteorologici estremi, quali piene e magre. Tra i vari studi evidenziamo Vezzoli e Mercogliano (2013<sup>a</sup>), Vezzoli e Mercogliano (2013b), Vezzoli et al. (2012), Turco et al. (2013).

### *Monitoraggio delle grandezze idrometeorologiche e degli usi*

Il monitoraggio idrologico, sul quale si basano le conoscenze e le previsioni relative ai cambiamenti climatici e ai loro impatti, viene oggi attuato dagli enti regionali che hanno ereditato le funzioni del servizio *Idrografico e Mareografico Nazionale* (ARPA/APPA, Centri Funzionali di Protezione Civile, Assessorati, Direzioni Generali). La tradizione ed esperienza maturate nel DIP in materia di monitoraggio ed analisi idrologica consentono di tracciare un quadro abbastanza chiaro dei fenomeni in corso, ancorché nei limiti imposti da una divisione amministrativa del bacino e della gestione delle reti di monitoraggio e dalle tecnologie in campo non sempre al passo con gli sviluppi tecnologici. Va detto che queste criticità sono oggi in fase di parziale superamento a seguito di una serie di iniziative a livello regionale, interregionale e di Autorità di Bacino, fra cui:

a) la revisione e l'adeguamento delle reti di monitoraggio ed integrazione dei sistemi informativi (progetto DPC-Centri Funzionali e più di recente progetto RE.MO a cura di AdBPo); b) l'implementazione di modellistica numerica idrologica e idraulica per la previsione delle piene fluviali (progetto MODPO, realizzato dalle ARPA del bacino, su iniziativa di AIPO e con la collaborazione di AdBPo e del Dipartimento per la Protezione Civile (DPC) della Presidenza del Consiglio di Ministri (PCM); c) l'implementazione di modellistica per la gestione delle risorse idriche ottimizzata separatamente per le situazioni di magra fluviale (progetto PEDRO, realizzato dalle ARPA del bacino e da AIPP su iniziativa di AdBPo); d) il potenziamento del rilievo dei corsi d'acqua ed in particolare le campagne di misura della salinità nel tratto deltizio e rilievo delle sezioni fluviali con conseguente taratura ed aggiornamento delle scale di deflusso; ed e) i servizi operativi regionali per la valutazione delle condizioni di innevamento.

La rete esistente nel DIP deriva da un lavoro di integrazione di diverse reti osservative installate in passato da soggetti diversi e con obiettivi differenti, e misura un certo numero di variabili di interesse idrologico mediante una pletora di strumenti. Ad oggi le Regioni Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna e Veneto gestiscono i dati idrometrici, termometrici, pluviometrici e nivometrici in tempo reale della rete osservativa, composta da circa 500 idrometri, 700 pluviometri, 600 termometri e 150 nivometri.

La densità della rete idro-meteo-pluviometrica è variabile da Regione a Regione in quanto deriva da reti preesistenti del Servizio idrografico e Mareografico Nazionale, integrate poi dalle singole Regioni dopo il trasferimento dell'Ente disposto dalla Legge Bassanini. I dati della rete idro-meteo-pluviometrica vengono acquisiti in automatico dagli Enti competenti in varie aggregazioni temporali, con tempi di acquisizione generalmente pari a 30 minuti.

Sebbene i dati esistenti sul DIP siano piuttosto estesi, esistono tuttavia alcune criticità, fra cui: a) la scarsa accessibilità dei dati, l'incompletezza delle serie idrologiche storiche; b) la scarsità di dati e conoscenze sull'idrologia sotterranea; c) la scarsità e talvolta impossibilità di sufficiente conoscenza dei dati di pressione sia quantitativa (prelievi superficiali e sotterranei) sia qualitativa (scarichi); d) la scarsità di dati sugli usi e sugli schemi gestionali della risorsa; e) la mancanza di strumenti di valutazione economica degli impatti e delle misure (contabilità ambientale, analisi economica). Entrando nello specifico merito del monitoraggio del cambiamento climatico, si necessita inoltre di serie storiche il più possibile continue, con una numerosità dei dati significativa. Alcune di queste criticità hanno natura organizzativa, mentre altre hanno natura economico-finanziaria. Tutte potrebbero essere utilmente affrontate a livello del sistema Nazionale delle Agenzie Ambientali e delle Autorità di Bacino Distrettuale. Si ritiene quindi necessario potenziare l'intera attività di monitoraggio per le nuove finalità, rivedendo la consistenza e conformità delle reti, recuperando i dati storici e integrando i sistemi informativi, soprattutto dove il monitoraggio non è a carico delle agenzie ambientali, potenziando nel caso la disponibilità finanziaria complessiva del sistema e la struttura centrale di riferimento nelle sue funzioni di indirizzo, controllo, accentramento e distribuzione dei dati e dell'informazione.

Un paragrafo a parte merita il tema del monitoraggio dei prelievi regolato e gestito dal sistema concessorio. Le concessioni al prelievo dell'acqua sono organizzate in banche dati contenenti i dati tecnici, amministrativi e gestionali relativi alle utenze di acqua pubblica. Costituiscono dei veri e propri catasti sui prelievi di acque superficiali e sotterranee aggiornati periodicamente dalle Province per le piccole derivazioni (prelievi inferiori ai 100 l/s) e dalle Regioni per le grandi derivazioni. In teoria le banche dati delle concessioni dovrebbero fornire le coordinate del punto di prelievo e ove presenti, la presa e la restituzione, la portata massima e media prelevata, la tipologia d'uso dichiarata, il periodo di prelievo, la superficie irrigata ed il quantitativo di potenza nominale prodotta, lo stato sul provvedimento di concessione all'uso (fase istruttoria, domande valide o in rinnovo) dell'acqua ed un codice univoco per ogni utenza. La realtà è invece differente. Da una prima analisi sullo stato attuale delle banche dati sulle concessioni (in collaborazione con le Regioni del bacino) emergono sostanziali differenze nella struttura dei dati. Le banche dati delle regioni Lombardia e Piemonte forniscono un quadro di riferimento efficace degli usi idrici. E' possibile individuare, ad esempio, una differenziazione degli usi sul territorio tra i quali prevalgono l'uso idroelettrico ed irriguo. Va segnalato che la regione Piemonte ha recentemente creato una banca on-line condivisa fra i diversi enti, denominata SIRI (Sistema Informativo Risorse Idriche) in grado di descrivere in modo compiuto il ciclo dell'acqua, inteso come *prelievo-trasporto-uso-restituzione-scarico*. La Regione Toscana e la provincia autonoma di Trento, parzialmente all'interno del bacino, forniscono dati sui prelievi attraverso piattaforme *web-gis*. La Regione Valle d'Aosta autorizza a titolo gratuito i prelievi ad uso potabile e irriguo in base a diritti risalenti all'epoca feudale, per cui i dati disponibili contengono prevalentemente informazioni sulle portate prelevate degli usi idroelettrico e industriale. La Regione Emilia-Romagna fornisce dati sui prelievi concessi aggregati a livello solo Regionale che non permette la ricostruzione di un quadro conoscitivo sugli usi della risorsa idrica. Ulteriori banche dati sono state organizzate negli anni su iniziativa dalle stesse Province e Regioni ma, sebbene i dati disponibili siano numerosi (ma incompleti), nessuna di queste presenta le caratteristiche necessarie per una rappresentazione esaustiva e completa degli usi della risorsa su tutto il territorio, e tantomeno per il loro monitoraggio. In generale i catasti descritti non forniscono informazioni circa i volumi effettivamente prelevati. Ciò che emerge dall'analisi delle portate concesse, anche tenendo conto degli usi conservativi come l'idroelettrico, è che la portata complessiva concessa a monte di Pontelagoscuro supera di circa un terzo la disponibilità idrica del bacino nel periodo estivo, mentre ulteriori concessioni al prelievo vengono rilasciate di anno in anno. Se da un lato la presenza di portata a Pontelagoscuro rende evidente il fatto che i diritti non vengono esercitati tutti contemporaneamente, cosa peraltro fisicamente impossibile, dall'altro risulta altrettanto evidente che il sistema concessorio nel suo insieme sta seguendo un trend opposto a quello della disponibilità idrica naturale, quale è stato osservato negli ultimi anni e previsto dagli scenari di cambiamento climatico.

## Scenari socio-economici per la valutazione dei consumi idrici

Il DIP è fra i territorio Italiani maggiormente trasformati e modificati a servizio dell'uomo. La pianura padana in particolare costituisce, secondo i criteri di EUROSTAT, un vasto territorio metropolitano che si estende da Venezia fino a Milano e Torino, per proseguire poi lungo la Via Emilia fino a Bologna. In un territorio così antropizzato, lo stato delle risorse idriche dipende in larga parte dall'uso per scopi produttivi. Il settore residenziale, quello industriale-energetico e l'agricoltura concorrono in diversi modi e gradi a questa richiesta. In tale contesto più che altrove, il *mainstreaming* nella pianificazione e gestione delle risorse non può precludere dalla considerazione di scenari di richiesta e consumo che tengano conto di variabili sociali, ambientali ed economiche, attuali e future. Qui di seguito si riportano alcune considerazioni sui fattori che potranno determinare una modificazione del consumo idrico nei diversi settori.

### Settore residenziale

La popolazione del DIP ammonta a circa 17 milioni residenti (+6 % rispetto al 2001) in prevalenza residenti nelle piccole città sotto i 25.000 abitanti. Secondo le proiezioni di ISTAT, il numero di residenti è destinato ad aumentare sotto tutti gli scenari demografici (medio, basso, alto) raggiungendo nel 2050 valori compresi fra i 18 e i 21 milioni (da +7 a + 26 % rispetto al 2011). La dispersione urbana (Tabella 1.23) in atto verso aree a più bassa densità abitativa, si traduce in una crescita lenta o decrescita della popolazione nei centri (~1 % nel periodo 2001-2011) ed una crescita più rapida (~10 %) nelle zone periferiche o immediatamente confinanti (Mysiak et al. 2013).

	EU 27 (ha)	Italia (ha)	DIP (ha)
UMZ variazione 1990-2000	789.574	84.251	22.945
UMZ variazione 2000-2006	1.852.902	152.451	36.416
UMZ variazione 1990-2006	2.642.476	236.702	59.361
UMZ 2006	19.173.688	1.524.043	466.283
Percentuale aumento 1990-2006	15,98%	18,39%	14,59%

**Tabella 1.23:** *Variazione delle Urban Morphological Zones<sup>354</sup> nei periodi 1990-2000, 2000-2006, 1990-2006; e percentuale di aumento dal 1990 al 2006 in EU27, Italia e nel DIP in ettari (Fonte: elaborazione propria su dati European Environmental Agency - EEA).*

<sup>354</sup> Le Urban Morphological Zones (UMZ) (zone morfologiche urbane) sono definite da "Corine land cover" (mappe europee del territorio divise per classi di copertura del suolo) come classi di copertura del suolo che contribuiscono al tessuto urbano ed alle sue funzioni (definizione da Agenzia Ambientale Europea).

In base a tali variazioni demografiche e di sviluppo urbano si può prevedere un aumento della domanda idrica per scopi residenziali. Inoltre si prevede che la domanda potrà essere largamente influenzata dalla futura composizione sociale. Il rapporto di ISTAT sullo sviluppo demografico del paese evidenzia come il processo di invecchiamento della popolazione, in atto dal 1950, continuerà ad aumentare. Ad esempio, lo scenario centrale prevede un aumento del 60% della popolazione oltre i 65 anni nel Nord-Ovest al 2065 ed un aumento consistente della popolazione residente straniera (Tabella 2.23).

Area	Classe	2011	2020	2030	2040	2050	2065					
		mil	mil	%	mil	%	mil	%				
Nord Ovest	Totale	16.1	16.8	4	17.3	7	17.6	9	17.8	11	17.6	9
	Anziani (+65 anni)	3.5	-	-	4.6	31	-	-	-	-	5.5	57
	Stranieri	1.6	2.6	63	3.3	106	4.0	150	4.6	188	5.1	219
Nord Est	Totale	11.6	12.4	7	12.9	11	13.4	16	13.7	18	13.8	19
	Anziani (+65 anni)	2.5	-	-	3.3	32	-	-	-	-	4.3	72
	Stranieri	1.2	1.9	58	2.4	100	2.9	142	3.3	175	3.7	208
Italia	Totale	60.6	62.5	3	63.5	5	63.9	5	63.5	5	61.3	1
	Anziani (+65 anni)	12.3	-	-	16.6	35	-	-	-	-	20	63
	Stranieri	4.6	7.3	59	9.5	107	11.2	143	12.7	176	14.1	207

*Tabella 2.23: Scenario centrale dello sviluppo demografico regionale per classe residente. Valore assoluto e variazione percentuale sul 2011. Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT (ISTAT 2011).*

Sebbene la variazione della popolazione non sia particolarmente sostenuta, la modifica del tessuto sociale verso una tipologia di residenti anziani e stranieri, unita alla variazione culturale che questo comporta, potrebbe indurre nuove dinamiche nella domanda. Sulla base di recenti studi, come H. March et al. (2010), il quale ha studiato l'influenza di invecchiamento ed immigrazione sul consumo domestico nell'area Metropolitana di Barcellona (Spagna), tali fattori potrebbero concorrere alla diminuzione di consumo dell'acqua potabile. La crescente decentralizzazione degli sviluppi urbani verso aree a più bassa densità abitativa, limitrofe ai centri urbani, che prevedono la presenza di giardini, potrebbe essere un fattore di aumento della richiesta idrica, mentre un aumento della popolazione straniera residente potrebbe favorire un consumo pro-capite inferiore. Tutte queste considerazioni e le loro implicazioni dirette e indirette nei confronti della richiesta idrica, sono riassunte e rielaborate nella Tabella 3.23, che rappresenta i principali fattori sociali che dovrebbero essere considerati per l'elaborazione degli scenari di richiesta idrica per usi residenziali.

Fattori demografici	Dimensione familiare (nr. di componenti)
---------------------	--

	Pratiche sociali (stile di vita)
	Invecchiamento – consumo frugale dell’acqua
	Invecchiamento – giardinaggio
	Invecchiamento – famiglie mono-bi familiari
	Immigrazione – bassa disponibilità economica
	Immigrazione – abitazioni ad alta densità abitativa
Fattori economici	Reddito
	Costo del servizio idrico
Fattori culturali	Educazione alla conservazione
	Livello educativo
Fattori abitativi	Urbanizzazione verso aree a bassa densità abitativa
	Dimensione delle abitazioni
	Presenza di giardino e/o piscine
Fattori di governo	Politiche di gestione della domanda e campagne di sensibilizzazione

*Tabella 3.23: Fattori sociali che influenzano la richiesta idrica residenziale (Fonte: elaborazione propria).*

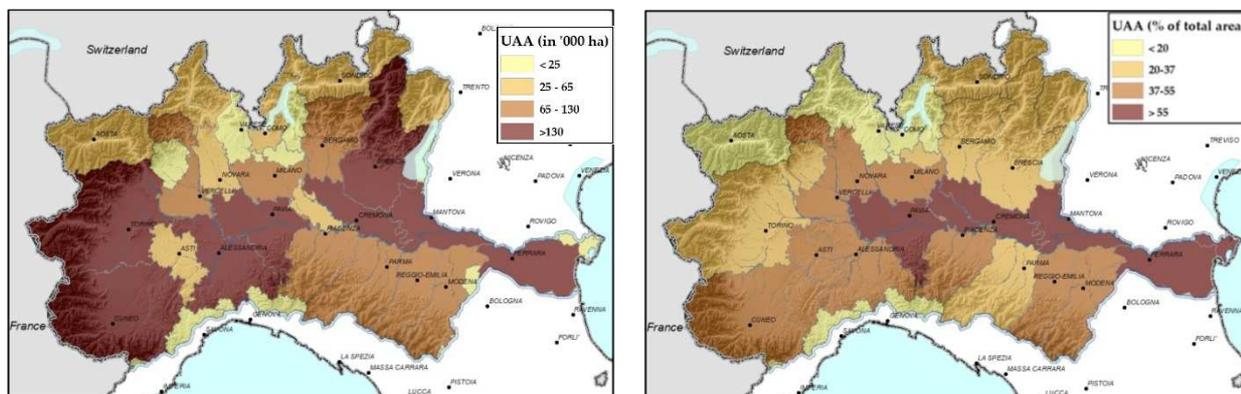
### **Settore industriale ed energetico**

Per quanto riguarda la richiesta idrica del settore industriale, si può considerare che la delocalizzazione della produzione sia ormai un processo compiuto e stabilizzato. Si prevede quindi che la domanda idrica ad essa collegata rimanga stabile. Inoltre la recente Strategia Nazionale Energetica (D.M. 8 Marzo 2013) non prevede una modifica sostanziale del mix energetico. La strategia prevede che il settore delle energie rinnovabili continui la sua ascesa nel mix energetico nazionale. L’aumento della richiesta di biomasse potrebbe perciò indurre un aumento indiretto della richiesta idrica del settore energetico attraverso il settore agricolo. In base a questa Strategia, la produzione energetica continuerà a dipendere dalla combustione degli idrocarburi, che richiedono consistenti risorse idriche per il raffreddamento degli impianti a ciclo aperto. Si prevede che il settore energetico compensi l’aumento di domanda per il raffreddamento degli impianti con l’utilizzo di impianti a ciclo chiuso o con raffreddamento a torre. La Strategia non prevede un aumento sostanziale della produzione idroelettrica. Si considera quindi che la domanda d’acqua del settore industriale ed energetico rimanga stabile nel futuro prossimo.

### **Settore agricolo**

Lo scenario di richiesta idrica da parte del settore agricolo è invece più incerto. Le politiche Europee, come la Politica Agricola Comunitaria (PAC) 2014-2020 e le politiche nazionali come il Piano Irriguo, richiedono un aumento consistente dell’efficienza irrigua nel settore. Come evidenziato dal Sesto Censimento Agricolo Nazionale (ISTAT, 2010) il settore vive da tempo una fase di contrazione. L’aumento della temperatura e della variabilità annuale e stagionale, con l’incremento della frequenza ed intensità degli eventi meteorici estremi, quali onde di calore e siccità, influiscono sulla produttività del suolo, sulla produzione ed i prezzi alimentari, sullo scambio dei prodotti e sulla presenza di aziende ed occupati nel settore (CE, 2009). L’ultimo

Censimento evidenzia chiaramente questi processi di trasformazione. Nelle regioni principali del DIP, fra il 2000 ed il 2010, il numero di aziende agricole è diminuito del 32,2 %, la superficie aziendale è aumentata dell'8 %, mentre la superficie agricola totale utilizzata è diminuita del 2,3 %.



**Figura 7.23:** Area Agricola Utilizzata (UAA) nel DIP: (sinistra) estensione totale (in 1000 ettari) aggregate a livello Provinciale (NUTS3), e (destra) UAA in proporzione alla superficie totale della Provincia (in percentuale).  
(Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT).

Regione	Aziende			Superficie Agricola Utilizzata			Superficie Agricola Totale		
	2010	2000	Δ %	2010	2000	Δ %	2010	2000	Δ %
Piemonte	66.930	106.969	-37,4	1.048.350	1.068.872	-1,9	1.364.088	1.459.224	-6,5
Valle									
D'Aosta	3.520	5.981	-41,2	55.384	71.120	-22,1	119.140	158.249	24,7
Lombardi									
a	54.107	71.350	-24,2	984.870	1.039.592	-5,3	1.228.274	1.350.853	-9,1
Emilia									
Romagna	73.441	106.363	-31	1.066.773	1.129.317	-5,5	1.364.698	1.462.984	-6,7
<b>ITALIA</b>	<b>1.630.420</b>	<b>2.405.453</b>	<b>-32,2</b>	<b>12.885.185</b>	<b>13.183.406</b>	<b>-2,3</b>	<b>17.277.022</b>	<b>18.775.270</b>	<b>-8</b>

**Tabella 4.23:** Censimento Agricolo Nazionale 2010: numero di aziende, superficie Agricola utilizzata e totale (ettari)  
(Fonte: elaborazione propria su dati Censimento dell'Agricoltura ISTAT (ISTAT 2000; ISTAT 2009; ISTAT 2011)).

Nel DIP il reticolo di canali irrigui è prevalentemente formato da canali a pelo libero che si estendono per una lunghezza di 11.000 km. Il metodo di irrigazione prevalente è quello a scorrimento (>50 %). L'alta permeabilità dei suoli induce ingenti perdite per infiltrazione (51,7 %) che tuttavia riforniscono la falda freatica che a sua volta alimenta, in aree estese, pozzi e fontanili. Le caratteristiche principali irrigue nelle regioni del DIP sono riassunte nella Tabella 5.23.

Regione	Uso (in km)		Tipo di infrastruttura (km)					Totale (km)
	Irrigazione	Multiplo	Canale aperto	Artefatto	Acquedotto	Pressurizzato	Altri	
Emilia Romagna	224	805	762	45	8	25	189	1.029
Lombardia – Emilia Romagna	150	295	434	1	-	10	-	445
Lombardia	1.357	1.996	3.078	83	18	173	2	3.353
Piemonte – Lombardia	-	1.894	1.889	-	4	1	-	1.894
Piemonte	3.001	588	2.663	258	19	234	415	3.589
Trentino	55	-	3	5	-	46	-	55
Valle d’Aosta	939	28	359	305	4	295	4	967
Bacino del fiume Po	5.727	5.605	9.188	697	53	784	610	11.332

*Tabella 5.23: Tipologie di infrastruttura irrigua (Fonte: INEA 2011).*

Considerata la bassa efficienza del sistema irriguo nel bacino e gli sforzi sia nazionali che europei per il miglioramento dell’efficienza e l’aumento della competizione settoriale dovuta allo stress idrico indotto dai cambiamenti climatici, si prevede che in futuro avvenga un’accelerazione sostanziale degli interventi di aumento dell’efficienza idrica nel settore agricolo. L’aumento della produzione agricola di biomasse per uso energetico aumenterà probabilmente la richiesta idrica, mentre i processi di diminuzione dell’area agricola utilizzata potrebbero contribuire alla riduzione della richiesta idrica del settore. L’uso di fonti alternative per l’irrigazione quali le falde, potrebbero ridurre la dipendenza dai deflussi superficiali ma non modificheranno sostanzialmente la vulnerabilità del settore a periodi siccitosi di lungo periodo.

### *Considerazioni conclusive*

In conclusione, lo scenario socio-economico più probabile associato all’uso della risorsa idrica nel DIP può essere riassunto come segue.

Non si prevede alcun cambiamento sostanziale nella richiesta idrica dei settori industriale ed energetico nel medio-lungo periodo. La nuova Strategia Nazionale Energetica non cambia in maniera significativa la composizione energetica nazionale, che rimane dipendente dall’uso di idrocarburi. Sebbene la componente rinnovabile aumenti, la sua richiesta idrica è considerata ininfluenza.

La richiesta del settore domestico vedrà probabilmente un aumento generale nel medio periodo dovuto all’aumento della pressione demografica sul bacino. Nel lungo periodo la tendenza può essere stimata in diminuzione, grazie a dinamiche di cambiamento sociale, campagne di sensibilizzazione al risparmio e maggiore efficienza delle apparecchiature domestiche.

La richiesta idrica nel settore agricolo è caratterizzata da trend contrapposti. Da un lato è stringente la richiesta per sistemi irrigui più efficienti, dall’altro è evidente l’aumento della produzione di colture idro-esigenti come le biomasse energetiche. L’aumento delle temperature e

dell'evapotraspirazione potrà comportare un aumento della domanda nelle stagioni più calde, incrementando lo stress idrico dovuto a potenziali siccità. Le richieste del mercato continueranno ad avere un'influenza preponderante sulle scelte di produzione agricola, molto più che la disponibilità idrica.

I cambiamenti climatici indurranno una diminuzione dell'accessibilità alla risorsa idrica del bacino, abbondante in condizioni normali. La riduzione anticipata del manto nevoso e la riduzione dei ghiacciai influenzeranno il regime di deflusso dei fiumi, con un impatto maggiore su quelli di origine alpina. L'incertezza sulle prospettive di deflusso superficiale è ancora troppo pronunciata per stimare l'influenza sulla richiesta idrica dei settori produttivi.

## **Descrizione dei settori principali e degli impatti dei cambiamenti climatici**

### *Descrizione del ciclo idrologico*

La precipitazione media nel DIP è di 1.080 mm (periodo 1923-2008) con massimi oltre i 2.000 mm sulle Alpi e minimi nella zona est della pianura di 700 mm (AdBPo 2012). Questo apporto meteorico produce un volume idrico teorico di 78 miliardi di m<sup>3</sup> annuali, che corrispondono ad un flusso teorico di 2.464 m<sup>3</sup>/s. Due terzi di tale flusso scorrono in superficie, 47 miliardi di m<sup>3</sup> che equivalgono a 1.470 m<sup>3</sup>/s. I 31 miliardi di m<sup>3</sup> rimanenti vengono dispersi per percolazione profonda ed evapotraspirazione. Le captazioni totali nel bacino ammontano a 20,5 miliardi m<sup>3</sup> annuali. La maggior parte di esse vengono utilizzate per l'agricoltura, 16,5 miliardi m<sup>3</sup>, 2,5 miliardi dal settore civile potabile e 1,5 miliardi dal settore industriale escluso l'energetico (AdBPo 2006). Tutti i corsi superficiali del bacino vengono alimentati dalle catene montuose Alpina ed Appenninica. Il regime idrologico dei fiumi dipende in grande misura dalla sorgente della loro origine. I fiumi con origine Alpina hanno un ciclo idrico con picco in estate, dovuto allo scioglimento dei ghiacci e del manto nevoso. I fiumi con origine Appenninica hanno picchi primaverili/autunnali dovuti principalmente alle precipitazioni.

Grazie alle sue catene montuose, il DIP è estremamente ricco di risorse idriche superficiali. Il sistema idrografico secondario si estende per una lunghezza nove volte superiore al sistema idrografico primario, lungo 6.750 km (AdBPo 2006). Decine di secoli di gestione del territorio hanno modellato il deflusso dell'acqua nel bacino. L'infrastruttura irrigua e quella di bonifica sono particolarmente sviluppate nel territorio e comprendono grandi canali artificiali, deviazioni dei corsi idrici, derivazioni per utilizzo agricolo e consistenti opere di bonifica. Fra i più importanti canali artificiali del bacino troviamo il Canale Cavour, il Canale della Muggia ed il Canale Emiliano-Romagnolo.

I grandi laghi Lombardi garantiscono un'elevata capacità di accumulo e gestione della risorsa. La regolazione dei laghi Maggiore, Como, Iseo, Idro, Garda e dei molti serbatoi artificiali alpini, è uno strumento utilissimo nella riduzione degli impatti durante i periodi siccitosi. Nell'area Alpina, 174 serbatoi regolano 2,8 miliardi di m<sup>3</sup> annuali, dei quali 143 sono serbatoi artificiali per uso

idroelettrico che permettono una regolazione annuale di 1,5 miliardi di m<sup>3</sup>, anche se non finalizzata all'approvvigionamento idrico del sistema irriguo o a obiettivi ambientali. I laghi naturali dispongono di una capacità di regolazione pari a 1,3 miliardi di m<sup>3</sup> (Tabella 6.23) che può corrispondere al 25-35% del volume che defluisce a Pontelagoscuro nel trimestre estivo in un anno siccitoso. Inoltre va sottolineato che il bacino racchiude 600 km<sup>2</sup> di ghiacciai.

Lago	Bacino <i>km<sup>2</sup></i>	Area <i>km<sup>2</sup></i>	Volume totale <i>mil m<sup>3</sup></i>	Livello di regolazione		Volume regolato <i>mil m<sup>3</sup></i>	Flusso medio effluente <i>m<sup>3</sup>/s</i>
				<i>max-m</i>	<i>min-m</i>		
Maggiore	6.599	212	37.500	+1,5	-0,5	318,0	298,0
Como	4.521	145	23.372	+1,2	-0,5	246,5	158,0
Iseo	1.785	61	7.549	+1,1	-0,3	85,4	53,5
Idro	617	12	747	n.d.	n.d.	246,5	23,8
Garda	2.350	368	49.030	+1,75	-0,05	662,4	58,4
<b>Totale</b>		<b>798</b>	<b>118.198</b>			<b>1.312,3</b>	

*Tabella 6.23: Volume regolabile dei grandi laghi (Fonte: elaborazione propria su dati AdBPo).*

La Pianura Padana è inoltre caratterizzata dalla presenza di importati acquiferi, che vengono principalmente ricaricati nella zona di interfaccia con la parte montuosa. Le risorse disponibili annuali sotterranee nel bacino sono stimate in 9 miliardi di m<sup>3</sup>. La ricarica della falda avviene per infiltrazione e percolazione, da flussi superficiali (soprattutto nelle Regioni Piemonte e Lombardia attraverso i grandi canali irrigui) ed in parte, nelle zone dell'alta pianura in sinistra Po, da pratiche irrigue. In generale si può affermare che l'acquifero si ricarica nella parte a ridosso delle catene montuose, dove sono presenti strati porosi non confinati.

### *Afflussi*

Lo studio della distribuzione della pioggia su di un'ampia regione con molte caratteristiche orografiche, come è il DIP, determina una notevole variazione spaziale della pioggia. In particolare, l'area risulta influenzata dalle Alpi, dagli Appennini, dalla pianura e dalla presenza del mare. Gli afflussi sono copiosi, in regime continentale e sub litoraneo (appenninico e padano) e derivano sia dalla circolazione generale dell'atmosfera che da fenomeni a meso e microscala; per questi ultimi lo stato idrologico dei suoli e delle valli può produrre retroazioni abbastanza significative sugli afflussi stessi. Gli afflussi nel DIP si presentano in forma solida o liquida, e in condizioni molto differenziate, alle quali possono corrispondere effetti differenti. Rovesci e temporali, isolati o organizzati, talvolta associati a grandinate, interessano in estate le vallate alpine, le fasce pedemontane e appenniniche e talvolta la pianura. Sistemi di maggiore scala (saccature, fronti, ecc.) provenienti principalmente da nord-nord est e sud sud-ovest possono produrre, nel tardo autunno e in primavera, piene sui corsi d'acqua principali. Particolarmente significative sono le precipitazioni sul crinale appenninico. La stagione invernale è caratterizzata

da assenza di precipitazioni o da precipitazioni nevose piuttosto frequenti, sistematiche sulle Alpi e sul crinale appenninico; a meno delle aree più a ridosso della costa ove possono perdurare precipitazioni liquide. Piogge gelate si verificano in concomitanza con il consolidamento di "cuscini freddi" a bassa quota ed inversioni termiche. Si segnala ancora l'occorrenza di periodi senza apporti di precipitazione; essi possono avvenire soprattutto in estate ed in inverno. Infine, tra gli apporti al bacino, soprattutto per la vegetazione e la qualità dell'aria, risultano molto importanti quelli derivati da nebbia, brina e galaverna.

## *Deflussi*

Il regime delle portate del Po ed affluenti è controllato, da quasi un secolo, in più stazioni di misura dall'Ufficio idrografico del Po, prima, e dagli Enti regionali competenti dal 2003 ad oggi. La portata media del Po a Pontelagoscuro nel periodo 1923-2011 è di 1505 m<sup>3</sup>/s (da dati Arpa Emilia-Romagna). I deflussi nel DIP derivano da corsi d'acqua alpini e collinari (Piemonte), alpini regimati da laghi (Lombardia) e appenninici (Emilia). Essi presentano regimi idrologici distinti e svariate relazioni con il bacino superficiale, la falda, con il contesto antropico e con le opere. I deflussi sono significativamente influenzati dalla variabilità del sistema climatico e dalle modifiche d'uso del suolo e delle risorse idriche. Nei regimi di deflusso si possono distinguere fenomeni di morbida, di piena, di esaurimento e di magra, influenzati dalla natura (solida o liquida) della precipitazione, dallo stato di umidità dei bacini e di riempimento dei tronchi, dalla tipologia di tronco fluviale attraversato, dalla presenza di invasi, regolazioni, o punti singolari.

I deflussi di piena sono influenzati dalle precipitazioni, dallo stato dei bacini (neve compresa) dei tributari e dell'asta principale, dalle condizioni del mare, del delta e delle infrastrutture irrigue e di drenaggio. Gli stessi determinanti fisici, se lievemente perturbati in estensione, durata ed intensità, possono produrre piene molto differenti, con necessità di azioni e valutazioni specifiche. Ad esempio due pluviogrammi<sup>355</sup> di forma differente, a parità di precipitazione cumulata, producono effetti molto diversi. Le precipitazioni che si presentano come scrosci o temporali, isolati o organizzati, possono produrre effetti locali importanti, ma non influire sulle piene dei tributari e dell'asta Po. I sistemi di maggiore scala sono invece tra i fattori più influenti nell'innescare piene severe. Essi presentano dinamiche differenziate anche in relazione al suolo (arco alpino, dorsale appenninica, direzione dei flussi, effetti del mare).

I deflussi di magra sono determinati invece dalle condizioni di innevamento pregresse, dalle precipitazioni primaverili, dalle temperature e dalle conseguenti idroesigenze irrigue, dalla gestione degli invasi artificiali, dei fattori che influenzano la programmazione della gestione dei grandi laghi prealpini regolati. Molti affluenti del Po, in particolare quelli emiliani e molti fiumi romagnoli presentano alvei asciutti per numerosi giorni consecutivi in estate e deflussi nulli.

---

<sup>355</sup> Il pluviogramma è il diagramma risultante dalle registrazioni del pluviografo, strumento che registra in continuo la quantità di pioggia in un determinato periodo di tempo (giorni, settimane, etc.).

## Piene

I cambiamenti climatici potranno impattare sulle piene fluviali generando ad esempio un aumento delle portate massime al colmo che ad oggi sono considerate di riferimento, e che sono classificate in base ad un valore di frequenza cui è associato un certo grado di rischio (alluvionale, idraulico, idrogeologico, ecc.). Le piene generatrici delle alluvioni derivano da fattori e fenomeni su ciascuno dei quali i cambiamenti climatici possono giocare un ruolo importante. In particolare essi potranno influire su: 1) volume, distribuzione spaziale, intensità e durata delle precipitazioni e dello scioglimento nivale sul bacino; 2) condizioni del bacino e meteorologiche antecedenti l'evento pluviometrico; 3) condizioni del suolo e topografia; 4) capacità di convogliamento del tronco interessato (comprese le eventuali occlusioni temporanee, anche dovute al ghiaccio); 5) impatto delle maree e delle mareggiate; 6) aumento delle frane, smottamenti e colate di fango. Qui di seguito si riportano le portate massime registrate nelle stazioni idrometriche lungo il fiume Po.

Stazione	Altezza massima		Portata massima	
	data	m	data	m <sup>3</sup> /s
P.te Becca	7/11/1994, 17/10/2000	7,81	-	-
P.te Spessa	07/11/1994	8,96	07/11/1994	11.301
Piacenza	17/10/2000	10,60	13/11/1951	12.800
Cremona	18/10/2000	6,15	13/11/1951	13.750
Casalmaggiore	19 /10/2000	8,01	-	-
Boretto	19/10/2000	9,06	14/11/1951	12.500
Borgoforte	14/10/1951	9,96	09/10/2000	12.047
Sermide	20/10/2000	10,69	20/10/2000	10.100
Ficarolo	20/10/2000	4,59	20/10/2000	11.200
Pontelagoscuro	14/11/1951	4,28	14/11/1951	10.300
Polesella	14 /11/1951	9,00	-	-

*Tabella 7.23: Portate massime registrate lungo l'asta del fiume Po (Fonte: ARPA-SIM).*

## Magre

La scarsità idrica e la siccità, e le magre fluviali che ne conseguono, sono largamente documentati come i fenomeni che verosimilmente risentiranno degli impatti più pesanti a causa dei cambiamenti climatici, in conseguenza di una previsione di diminuzione della risorsa idrica naturale disponibile. Negli ultimi anni le portate minime (estive) a Pontelagoscuro hanno fatto

segnare tempi di ritorno<sup>356</sup> (calcolati sulle serie storiche dei minimi annuali) superiori a 200 anni, mentre le stesse portate calcolate in sezioni più a monte mostravano valori dei tempi di ritorno tra 5 e 10 anni. Ciò implica da una parte la necessità di rivedere le procedure applicative dei metodi statistici classici a situazioni non stazionarie perché soggette ad un rapido cambiamento climatico, dall'altra parte sottolinea come la rarità (statistica) di un evento meteo-climatico che riguarda l'intero bacino cambia radicalmente se il tempo di ritorno viene calcolato alla chiusura del bacino montano piemontese (prima di tutti i grandi prelievi idrici effettuati sull'asta del Po) o alla foce, cioè quando tutti i prelievi sono stati effettuati. La Tabella 8.23 descrive le portate minime registrate nelle stazioni idrometriche lungo l'asta del fiume Po.

Stazione	Altezza minima		Portata minima	
	<i>data</i>	<i>m</i>	<i>Data</i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>
P.te Becca	25/07/2006	-3,50	-	-
P.te Spessa	19/04/1995	-2,49	16-20/07/2003	152
Piacenza	20/07/2006	-0,76	12/05/1945	125
Cremona	22/07/2006	-7,91	18/05/1965	200
Casalmaggiore	22-23/07 2003	-5,09	-	-
Boretto	22/07/2006	-4,51	18/05/1965	200
Borgoforte	23/07/2006	-3,84	19/05/1965	209
Sermide	25/04/1949	-2,22	22/07/2006	123
Ficarolo	20/07/2003	-7,05	Vari/07/2003	245
Pontelagoscuro	21/07/2006	-7,46	21/072006	156
Polesella	22/072006	-1,34	-	-

*Tabella 8.23: Portate minime registrate lungo l'asta del fiume Po (Fonte: ARPA-SIM).*

## Criosfera

Il DIP è caratterizzato da tre tipi di ambiti: alpino, appenninico e di pianura. Le aree montuose occupano circa la metà della superficie totale del bacino (AdBPo 1992). La catena alpina, che disegna un arco curvo a 180°, si estende dal confine nord-est nella Provincia Autonoma di Trento al confine sud-est caratterizzato dalla grande frattura sub-verticale in corrispondenza della linea Sestri-Voltaggio, dove è posizionato il confine nord occidentale della catena Appenninica, che si estende nel bacino sino al confine sud-est nella Provincia di Modena, con intrusioni nella Regione Toscana e nella Provincia di Bologna. La componente criosferica del DIP comprende quindi i

<sup>356</sup> Il tempo di ritorno di un evento è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità.

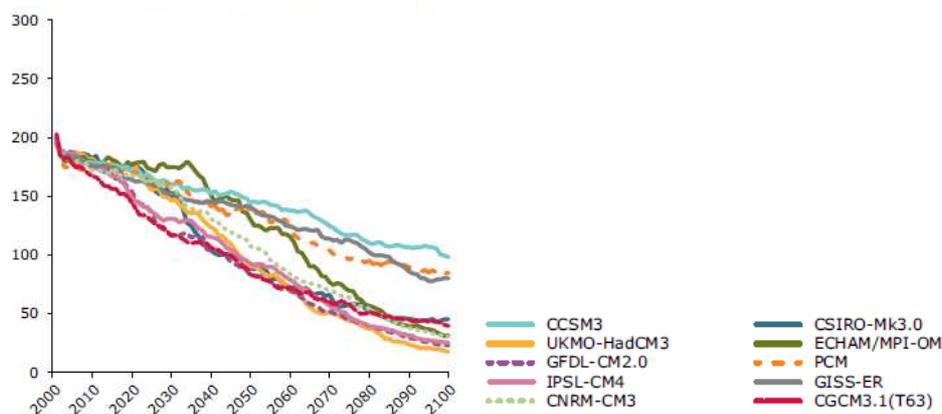
ghiacciai dell'arco Alpino, le aree a copertura nevosa Appenniniche ed Alpine, i laghi e le riserve idriche ghiacciate ed il suolo ghiacciato temporaneo o perenne (permafrost nel settore alpino).

Come già evidenziato nella Relazione Tecnica della Strategia sull'area alpina e appenninica, le aree di montagna incluse quelle del DIP per la loro posizione geografica e le loro caratteristiche morfologiche sono considerate sistemi ecologici estremamente sensibili al cambiamento climatico (IPCC 2007; EEA 2008). Le serie storiche della temperatura alpina osservata, evidenziano già un aumento delle temperature medie annuali di circa 2 °C dal 1760 al 2003 (Auer et al. 2007). L'Agenzia Ambientale Europea identifica inoltre che una parte consistente di questo aumento (1,2 °C) si sia verificata negli ultimi 25 anni (EEA 2009). Le previsioni future di riscaldamento regionale prevedono che tale trend di aumento arrivi nell'arco alpino fino a 3,8 °C entro la fine di questo secolo, rispetto al trentennio 1971-2000. Tale aumento risulta essere più accentuato nelle quote oltre i 1.500 m di altitudine (EURAC 2007) e nella stagione estiva, dove a quote elevate si potranno raggiungere incrementi superiori a +6 °C.

L'aumento della temperatura media stagionale comporta necessariamente una riduzione degli apporti nevosi. Dall'analisi delle serie storiche di innevamento lungo l'arco alpino, si osserva una tendenza alla riduzione del manto nel periodo 1920-2005 (Valt et al. 2005). Tale tendenza è più evidente negli ultimi 30 anni, con una riduzione media delle precipitazioni nevose del 18 % rispetto al periodo 1959-2000, con picchi del 40 % a bassa quota. Scenari futuri al 2100 prevedono che tale tendenza aumenti ulteriormente fino ad una riduzione media del 35 %. La durata di permanenza del manto nevoso subirebbe un'importante riduzione: meno 35 % per ogni grado di aumento della temperatura media sotto quota 1.400 m, meno 15 % a quota 1850 e meno 12 % a quota 2.300 m (Beniston 2007). Un aumento di 3,8 °C provocherebbe quindi una diminuzione della durata del manto del 57 % a quota 1850 m e del 45 % a quota 2300. Sotto quota 500 m l'accumulo nevoso potrebbe addirittura scomparire del tutto (Jacob et al. 2007).

Tali cambiamenti hanno portato ad una riduzione consistente dell'estensione dei ghiacciai alpini. Dal 1850 al 2000 si stima che la superficie totale si sia ridotta alla metà del volume originario (Zemp et al. 2008). Il ritiro medio nel ventennio dal 1980 al 2000 è stato di 95.4 m e di 150 m nei ghiacciai Lombardi. Ondate di calore eccezionali come quella del 2003 provocano poi uno scioglimento addizionale che non viene normalmente recuperate nelle successive stagioni. Solo nel 2003 i ghiacciai alpini hanno perso dal 5 al 10 % (Climalpture 2010). Le stime disponibili prevedono che un aumento della temperatura dell'aria estiva media di 3°C ed una precipitazione costante, produrrà una riduzione di circa 80 % della superficie totale dei ghiacciai al 2060 rispetto alla media del periodo 1971-2000 (Zemp et al. 2006; EEA 2008). L'ultimo rapporto dell'EEA prevede una diminuzione dei ghiacciai alpini del 76 +/- 15 % in base a 10 scenari climatici (Figura 8.23). Sebbene queste stime siano caratterizzate da grande incertezza a cause della particolare orografia dei sistemi montuosi alpini, va evidenziato che l'arretramento dei ghiacciai italiani (con esposizione dell'arco a sud) potrebbe essere accelerato in maniera consistente dall'effetto feedback provocato dalla modifica delle caratteristiche riflesse del manto nevoso, che sciogliendosi produrrebbe laghi glaciali che assorbono maggiormente l'energia solare. Inoltre va considerato che i ghiacciai italiani sono estremamente esposti alle ondate di calore africane, previste in generale

aumento nei prossimi decenni. I principali impatti di tale contrazione attengono all'esposizione degli strati di permafrost, che generano un incremento del rischio di mud-flows, colate detritiche e franamenti rapidi, e la drastica diminuzione del contributo alle portate fluviali derivante dalle acque di scioglimento, che in taluni casi è l'unico a sostenere le portate estive.



**Figura 9.23:** Stima delle variazioni di volume (in km<sup>3</sup>) dei ghiacciai nella regione Alpina nel periodo 2001–2100. Le stime sono eseguite usando un modello di bilancio di massa che considera temperature e precipitazioni derivate da 10 scenari GCMs (Fonte: Radić e Hock, 2011).

### Qualità dei corpi idrici

La qualità dei corpi idrici risulta essere particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici. La tabella sotto, tratta dalla pubblicazione *“River Basin Management in a changing climate”* (CE, 2009) riporta un possibile elenco dei parametri alla base della definizione dello stato di qualità dei corpi idrici ai sensi della Direttiva quadro acque che potrebbero risultare sensibili ai cambiamenti climatici, quindi potenzialmente utili nelle fasi di diagnosi e monitoraggio.

Parametro	Possibili impatti diretti
Parametri idrologici e idro morfologici	<p>Modifica dei regimi idrologici, dei livelli dei laghi e dei relativi tempi di ritenzione, dei livelli marini con conseguente erosione della costa.</p> <p>Connessione idrologica di aree ripariali, canali e aree costiere.</p> <p>Modifiche di lungo termine dell'alveo fluviale.</p> <p>Processi morfologici – habitat correlati.</p> <p>Modifiche delle dinamiche di trasporto solido a seguito dei CC.</p> <p>Modifiche della ricarica e dell'utilizzo delle acque sotterranee indotte o incrementate dai CC.</p>
Parametri chimico-fisici	<p>Modifiche della temperatura dell'acqua e del tasso di ossigeno disciolto.</p> <p>Modifiche nella capacità di diluizione degli inquinanti.</p> <p>Maggior erosione ed inquinamento diffuso.</p>

	<p>Maggior dilavamento degli inquinanti o fuoriuscite da condotte fognarie.</p> <p>Potenziale rimobilitazione di sedimenti e suoli contaminati.</p> <p>Fotoattivazione di sostanze tossiche.</p> <p>Superamento degli standard di qualità per l'acqua.</p> <p>Intrusione salina nelle falde e nelle aree deltizie.</p>
Parametri biologici e ecologici	<p>Modifiche nel metabolismo degli organismi.</p> <p>Modifiche nella produttività e nella biodiversità degli ecosistemi.</p> <p>Distribuzione geografica di piante ed animali.</p> <p>Variazioni nei flussi migratori dei pesci e nei corridoi di dispersione.</p> <p>Aumento dell'eutrofizzazione e delle fioriture algali.</p> <p>Modifiche nella fauna e nella flora acquatica, includendo quelle nei siti di riferimento.</p> <p>Cambi dell'insieme delle specie in aree particolari.</p> <p>Decadimento più rapido degli organismi fecali e delle popolazioni patogene.</p> <p>Aumento dell'attività microbica.</p> <p>Effetti negativi dell'abbassamento delle falde sugli ecosistemi dipendenti.</p>

**Tabella 9.23:** parametri sensibili ai cambiamenti climatici (Fonte: CE, 2009).

Un altro aspetto che influenza fortemente la qualità dei corpi idrici è rappresentato dal regime idrologico naturale del corso d'acqua, cui gli ecosistemi acquatici si sono adattati e che, se modificato per cause antropiche o climatiche, può influire negativamente sulla qualità.

Come riportato nell'art. 17 della Direttiva Habitat, lo stato di conservazione delle specie di acqua dolce di interesse comunitario è in genere a rischio di peggioramento.

L'eccessivo prelievo di risorsa dai corpi idrici superficiali e sotterranei sta causando la diminuzione delle portate che defluiscono negli alvei, la perdita di aree umide e l'abbassamento del livello degli acquiferi sottosuperficiali: quest'ultimo aspetto va considerato con la debita attenzione, perché la tempistica dei processi di cambiamenti climatico coincide con quella, pluriennale, di risposta del sistema idrico sotterraneo, rendendo quest'ultimo fortemente impattabile.

In molti siti spesso la domanda di acqua supera la disponibilità naturale, ed a pagarne le conseguenze sono i servizi ecosistemici dipendenti dall'acqua, che si trovano sovente a non usufruire della quantità di risorsa necessaria.

La Direttiva Quadro sulle Acque stabilisce un approccio moderno ed integrato alla protezione ambientale ed un miglioramento in senso sostenibile degli usi delle acque europee. Questa finalità è ripresa e confermata nel *Blueprint* pubblicato dalla Commissione Europea nel novembre 2012 (CE 2012a); per andare in tale direzione occorre includere gli ecosistemi a pieno titolo tra i fruitori prioritari della risorsa idrica naturale, in modo da tutelare le necessità ad essi collegate nel processo di negoziazione degli obiettivi delle varie politiche.

La quantità, la qualità e la distribuzione del deflusso nel tempo che caratterizza un certo corso d'acqua e che serve a garantire tutte le funzionalità ecosistemiche ed i servizi che gli ecosistemi forniscono, costituiscono assieme quell'entità che viene chiamata *portata ecologica*. Da questo punto di vista la portata ecologica rappresenta un importante meccanismo per proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici e per promuovere l'uso sostenibile, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi della Direttiva quadro acque.

I cambiamenti climatici possono generare impatti che riguardano sia il bilancio idrologico annuale (maggiore o minore volume complessivo defluito durante l'anno), che la variabilità sub annuale del deflusso, e generare quindi adattamenti naturali del sistema, che dovrebbero essere distinti da quelli derivanti, ad esempio, dalla riduzione delle portate per eccessivo prelievo a scopi antropici. E' importante quindi, attraverso lo studio degli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi, identificare le cause e gli effetti di due criticità idriche, simili per risultato ma di origine distinta: la *scarsità idrica* (di origine più antropica) e la *siccità* (di origine più naturale).

### **Descrizione ecosistemi nel DIP**

Le aree protette nel DIP sono 211, per una superficie totale di circa 517.000 ettari (7% della superficie totale del bacino). La rete ecologica del DIP corrisponde a circa il 26% di tutte le aree attualmente protette in Italia. Le categorie comprendono aree protette sia dalla normativa comunitaria che da quella nazionale e regionale. La tabella sottostante elenca le varie tipologie presenti nel bacino e il loro numero.

<b>Tipologia aree</b>	<b>Numero</b>
Aree di interesse comunitario (Rete Natura 2000)	591 (SIC 500 / ZPS 187)
Parchi nazionali	4
Parchi regionali	52
Riserve naturali statali	11
Riserve naturali regionali	117
Zone umide (Convenzione Ramsar)	7
Altre aree protette	20
Totale complessivo	802

*Tabella 10.23: Aree protette classificate per tipologia e relativa estensione (Fonte: AdBPo, 2009)*

Le aree del bacino sottostanti a vincolo di tutela sono un totale di 802, corrispondenti a circa 10.000 km<sup>2</sup> di territorio. Le aree maggiori sono parchi nazionali o regionali, che da sole contano per il 70 % dell'intero territorio tutelato; le riserve statali e regionali contano per il 9,4 % e le zone umide per lo 0,7 %. La percentuale restante (20% circa) è occupata da SIC, ZPS, oasi, monumenti naturali, parchi suburbani, ecc.. Alcune di queste aree (46) sono in prossimità di aste fluviali e vengono quindi considerate come parchi fluviali. La Lombardia ha il primato per il numero di parchi fluviali (29),

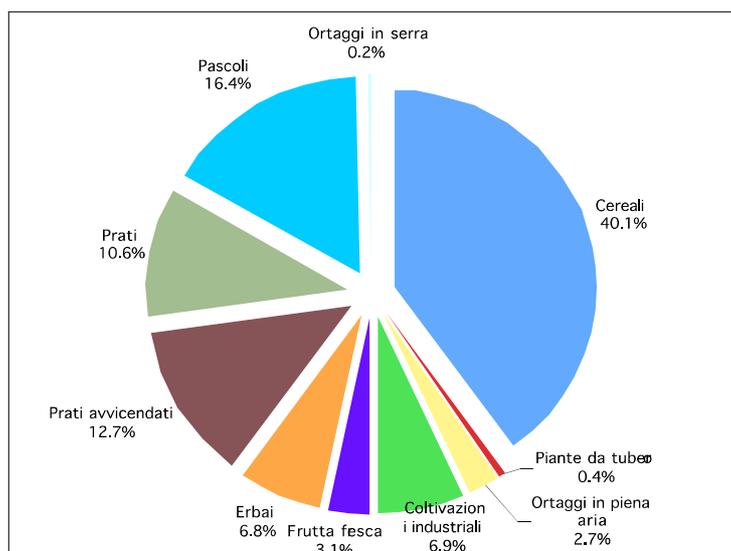
tra i quali i più importanti sono il Parco naturale regionale Valle del Ticino, il Parco regionale naturale Adda Sud, e il Parco naturale del Mincio. In Piemonte si segnala il “Sistema Regionale di aree protette della fascia fluviale del Po” che include 235 km di fascia fluviale tra Torino e Alessandria. In Emilia Romagna si segnalano i parchi regionali fluviali del Taro e dello Stirone. 349 dei siti Natura 2000 hanno una importanza particolare per la protezione degli habitat e delle specie di interesse comunitario. Il territorio deltizio è la zona umida più vasta del bacino, ed è di particolare importanza sia dal punto di vista della tutela delle acque sia per quanto riguarda la conservazione paesaggistica e della biodiversità, in particolare l’avifauna che rappresenta da sola oltre il 60% delle specie di interesse conservativo. Il Parco del Delta del Po, tutelato a livello internazionale, è costituito da due parchi regionali, uno in territorio veneto e l’altro emiliano-romagnolo.

Oltre alle aree protette sopra citate si aggiungono quelle soggette alla Legge Galasso (L. 431/1985), la quale si estende ai territori costieri, ai laghi, alle fasce fluviali, alle zone umide, alle foreste, ai ghiacciai e ai territori montani d’alta quota. La somma di queste aree raggiunge una quota considerevole del territorio del bacino. In queste aree vige l’obbligo di autorizzazione per gli interventi; inoltre sono disciplinate dai piani paesistici o urbanistici definiti dalle Regioni.

Altri ambienti, sebbene rilevanti per la nidificazione e il nutrimento di svariate specie legate agli ambienti acquatici, non sono ancora ritenuti di interesse comunitario. Alcuni di questi habitat sono i saliceti arbustivi (*salix cinirea*), le formazioni elofitiche in ambienti paludosi, i canneti di *phragmites australis*, e le comunità terofitiche dei sabbioni alveali (AdBPo 2009).

## **Agricoltura**

L’agricoltura del DIP, per quanto fortemente segnata dalle colture cerealicole (Figura 10.23) è un complesso sistema antropizzato dove si coltivano quasi 70 specie di interesse agrario, ognuna caratterizzata da una diversa sensibilità ai cambiamenti climatici in atto, ed in special modo alle sempre più frequenti situazioni di deficit idrico. La vulnerabilità dell’agricoltura in questo territorio è quindi estremamente variabile, non solo tra i diversi tipi di coltivazioni ma anche all’interno di ciascun tipo di coltura. Ad esempio, tra i cereali con ciclo primaverile-estivo coltivati nell’area, quali il sorgo, l’avena, il mais e il riso, le esigenze idriche sono diverse e progressivamente crescenti (FAO 1986).



**Figura 10.23:** Utilizzazione (in percentuale) della superficie produttiva tra le principali coltivazioni nel DIP (Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT, anno di riferimento 2003).

Le situazioni di stress idrico, come quelle che hanno caratterizzato il DIP nell'ultimo decennio (nel 2003, 2006-2007, 2012) possono quindi causare notevoli impatti sul settore agricolo, la cui intensità varia in funzione non solo del periodo dell'anno in cui gli eventi siccitosi si manifestano e del relativo grado di suscettibilità delle colture interessate, ma anche dell'efficacia delle azioni intraprese dagli agricoltori per contrastare le conseguenze provocate dalla siccità e della reattività dei mercati agricoli a tali shock climatici. Ciò è quanto emerge da un recente studio svolto da De Salvo e Mysiak (2014) che, analizzando le performance dell'agricoltura nel DIP nel periodo 2003-2007, hanno stimato i danni prodotti dalla siccità sui livelli di produzione, reddito netto aziendale e occupazione. Il modello proposto, che considera anche le specifiche strategie di mitigazione delle perdite attivate dagli agricoltori per fronteggiare gli eventi siccitosi, è stato utilizzato sia per stimare gli impatti delle siccità verificatisi nel DIP negli anni 2003-07 che per stimare i danni sull'agricoltura del bacino per ipotetici scenari simulati.

Anno	Variazione della resa (in q/ha) <sup>1</sup>		Variazione del reddito netto aziendale (in €/ha) <sup>1</sup>	Variazione del livello di occupazione (in ore lavorative/ha) <sup>1</sup>
	Frumento	Mais		
2003	1,35	-6,58	699,30	-135,70
2004	1,76	2,83	-183,14	-55,52
2005	1,58	1,25	-316,27	-42,23
2006	-0,82	-4,75	-789,55	21,75
2007	-1,38	-5,38	-891,12	41,87

**Legenda:** (1) rispetto al periodo 1990-2002.

**Tabella 11.23:** impatti stimati degli eventi siccitosi verificatisi nel DIP negli anni 2003-07 (Fonte: De Salvo e Mysiak 2014).

Lo studio evidenzia che il valore dei tre indicatori analizzati è influenzato dalla siccità e mostra che a livello stagionale, gli impatti possono essere molteplici, ed in alcuni casi, anche contrastanti. Verosimilmente ciò dipende dalle diverse strategie adottate dagli agricoltori e dall'elasticità dei prezzi al verificarsi della siccità. Il deficit idrico infatti causa certamente una diminuzione dell'offerta di alcuni prodotti agricoli, e parallelamente un aumento della domanda di altri prodotti e fattori della produzione. Per tener conto di questi aspetti lo studio simula un andamento variabile sia del prezzo delle produzioni agricole considerate che del relativo costo di produzione.

Particolarmente interessanti appaiono gli effetti prodotti dal deficit idrico simulato durante il periodo autunno-invernale (Tabella 11.23). La progressiva riduzione delle precipitazioni invernali ridurrebbe gradualmente la produttività dei cereali, sia di quelli autunno-vernini, come il frumento, che di quelli primaverile-estivi, come il mais. Nel primo caso, la riduzione della produttività plausibilmente potrebbe dipendere dalla riduzione dell'acqua direttamente disponibile per le colture. Infatti, gli effetti, anche se contenuti, sarebbero riscontrabili anche per situazioni di deficit idrico di lieve entità (-10 %). Nel secondo caso, invece, potrebbe scaturire dalla riduzione delle riserve idriche disponibili per le operazioni di irrigazione. Nelle simulazioni effettuate, il mais mostra una riduzione della resa solo nell'ipotesi di una riduzione delle precipitazioni medie invernali di notevole entità (più del 40 %).

Deficit idrico simulato <sup>357</sup>	Frumento	Mais
-10%	-0,21	0,05
-20%	-0,42	0,07
-30%	-0,63	0,03
-40%	-0,84	-0,04
-50%	-1,04	-0,16

*Tabella 11.23: Variazione della resa (in q/ha) dei principali cereali coltivati in funzione del deficit idrico ipotizzato nel periodo autunno-vernino (Fonte: De Salvo e Mysiak, 2014).*

Tuttavia, le simulazioni sull'andamento dei prezzi e del costo di produzione mostrano che un aumento del prezzo del frumento pari al 5% compenserebbe le perdite produttive causate dal verificarsi di eventi siccitosi durante il periodo di coltivazione della coltura anche nelle ipotesi di deficit idrico di notevole entità (-50%), ed a fronte di un aumento del costo di produzione pari al 10 %. Un aumento del prezzo del mais pari al 5%, invece, non sarebbe sufficiente a contrastare le perdite produttive dovute al verificarsi di gravi deficit idrici durante il periodo primaverile-estivo, anche nell'ipotesi di un aumento del costo di produzione piuttosto contenuto (pari al 10%).

<sup>357</sup> Lo studio simula il deficit idrico in termini di variazione del Bilancio Idro-Climatico (BIC), pari al valore delle precipitazioni stagionali al netto dell'evapotraspirazione.

Incrementi del costo produttivo pari al 30% sarebbero invece compensati da un aumento del prezzo del mais pari al 10%.

### *Settore civile*

Il settore civile (residenziale, industriale urbano e suburbano fornito da acquedotto e commerciale) di approvvigionamento idrico evidenzia al momento una moderata resilienza ai cambiamenti climatici. Tuttavia l'aumento dell'urbanizzazione, le dinamiche demografiche e la variabilità delle disponibilità, potrebbero aumentare la vulnerabilità del settore nel medio-lungo periodo. L'Italia è, fra i paesi economicamente sviluppati, tra i più idro-esigenti: la richiesta idrica media è di circa 380 litri/persona/giorno, mentre la richiesta di paesi come Olanda e Regno Unito è inferiore ai 280 litri/persona/giorno. Oltre alla "sete" nazionale, il nostro paese deve fare i conti con una rete di distribuzione spesso obsoleta e con elevate perdite strutturali. Tuttavia, la grande disponibilità e l'esigua percentuale di uso della risorsa rispetto agli altri settore, rende l'uso civile abbastanza resiliente di fronte ai cambiamenti locali. Le perdite di rete sono in diminuzione, come pure gli estremi di utilizzo delle Province con consumo più elevato, che tendenzialmente si allineano alla media nazionale. Rimane tuttavia una notevole disparità di usi all'interno del DIP: gli usi variano dai 93 m<sup>3</sup> per anno a persona di Monza ai 50 di Forlì - Cesena ed i prezzi dagli 0,58 Euro/ m<sup>3</sup> di Milano ai 2,07 Euro/m<sup>3</sup> di Ravenna. Il settore domestico ha quindi grandi potenzialità di contributo al risparmio idrico ma la definizione di strategie richiede però lo sviluppo di scenari futuri, al momento non chiaramente definiti. La vulnerabilità futura del settore dipenderà principalmente dalle politiche attuate e dalla capacità di auto-finanziamento del settore nella manutenzione e sviluppo del servizio.

### *Produzione di energia elettrica*

Il DIP costituisce una delle zone più rilevanti nel territorio nazionale per quanto riguarda la produzione di energia elettrica. Le più importanti fonti di produzione di elettricità, nel mix energetico Italiano, sono rappresentate dall'idroelettrico e dall'impiego di combustibili fossili mediante impianti termoelettrici. Entrambe le tecnologie sono caratterizzate da una forte dipendenza dalle risorse idriche.

Nel DIP sono installati più di mille impianti idroelettrici, per una potenza totale di oltre 10.000 MW e una produzione annua di circa 26.000 GWh, circa il 48 % dell'elettricità prodotta a livello nazionale (Terna, 2010).

Regione	Numero Impianti	Capacità istallata (MW)	Produzione (2010) (GWh)
Lombardia	354	5.917	12.503
Piemonte	574	3.512	9.234
Valle d'Aosta	78	901	2.930
Emilia Romagna	88	627	1.407
<b>Totale</b>	<b>1.094</b>	<b>10.957</b>	<b>26.074</b>

*Tabella 12.23: Impianti idroelettrici installati nelle quattro più importanti regioni del bacino del fiume Po (Fonte: Terna 2010).*

Grande rilevanza ha, inoltre, la capacità termoelettrica installata nella zona. Nel DIP sono localizzate più di 400 centrali termoelettriche, con una potenza installata di quasi 20.000 MW (più del 30% del totale nazionale) e una produzione annua vicina agli 80.000 Gwh (AdBPo, 2006).

	Num. Impianti	Potenza istallata [MW]	Produzione (2004) [GWh]
DIP	428	19.647	76.974
Italia	999	62.212	246.125

*Tabella 13.23: Impianti termoelettrici installati nel DIP ed in Italia (Fonte: AdBPo, 2006).*

Sebbene la capacità installata sia ripartita su più di 400 centrali, oltre la metà di essa è concentrata in 9 siti. In queste centrali, la risorsa idrica viene utilizzata per il raffreddamento degli impianti. Nella Tabella 15.23 sono riportati i valori di derivazione idrica concessi per ognuna delle principali centrali termoelettriche presenti nel DIP (AdBPo, 2006). Le concessioni per tali scopi ammontano ad un flusso complessivo di 338 m<sup>3</sup>/s.

<b>Centrale</b>	<b>Portata concessa (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Potenza istallata (MW)</b>
La Casella	40	1.490
Piacenza	22	780
Ostiglia	40	1.500
Sermide	50	1.140
Cassano D'Adda	12	425
Tavazzano	45	1.280
Turbigo	40	1.740
Ponti sul Mincio	9	400
Porto Tolle	80	2.640
<b>Totale</b>	<b>338</b>	<b>11.395</b>

*Tabella 14.23: Principali impianti termoelettrici installati nel bacino del fiume Po e valore di portata idrica data in concessione (Fonte: AdBPo 2006).*

L'impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione elettrica del bacino potrebbe rivelarsi particolarmente significativo in termini economici e potrebbe interessare la sicurezza energetica di una delle aree più produttive del paese. Il calo delle precipitazioni nei periodi più caldi dell'anno e l'intensificarsi degli eventi di scarsità idrica potrebbero arrecare significative diminuzioni alla produzione idroelettrica. Inoltre, considerato che la maggior parte delle grandi centrali termoelettriche è collocata sull'asta del fiume Po e sfrutta le sue acque per il raffreddamento, il funzionamento del sistema di produzione dipende dai suoi deflussi. Lo studio degli impatti delle siccità 2003 e 2006-07 sulla produzione idroelettrica (PREEMPT, 2011), identifica un'importante dipendenza del settore dalla variabilità meteo-climatica. La valutazione economica dei danni subiti dal settore, per mancati ricavi e mancata produzione, indica che la siccità del 2003 ha prodotto perdite complessive per un ammontare stimabile in circa 280 milioni di Euro, e per 670 milioni di Euro nel 2007. Gli impatti della scarsità idrica sul settore, oltre alle perdite di produzione in senso stretto, sono incrementati dall'impossibilità, negli anni siccitosi, di utilizzare la risorsa idroelettrica per soddisfare i picchi giornalieri di domanda di energia elettrica: questo potrebbe causare problemi alla distribuzione e potenziali black-out. I cambiamenti climatici in atto, le variazioni tendenziali di scioglimento anticipato delle nevi e la modifica di frequenza ed intensità degli eventi estremi, impongono una seria considerazione delle potenzialità produttive future sulle Alpi. Tali potenzialità, realistiche rispetto alla capacità produttiva, devono essere la base per le prossime strategie energetiche Nazionali ed Europee.

### *Turismo e settore ricreativo*

Il DIP rientra tra le aree a più alto afflusso turistico in Italia. Tre delle cinque regioni che da sole raccolgono circa il 55% delle presenze si trovano all'interno del bacino: Veneto, Emilia Romagna e Lombardia. Valle d'Aosta e Piemonte partecipano con una quota inferiore, ma pur sempre significativa (soprattutto per quanto riguarda il turismo invernale).

E' ragionevole pensare che il cambiamento climatico avrà degli impatti anche sull'industria turistica del DIP, sia per quanto riguarda le aree montane che quelle costiere e di pianura.

Il progetto PESETA, i cui risultati sono stati poi elaborati da Amelung e Moreno, suggerisce tra le conclusioni che paesi attualmente a clima più rigido potrebbero incontrare nei prossimi anni un aumento delle affluenze turistiche a seguito dei cambiamenti climatici, a differenza di paesi più caldi (come l'Italia) che subiranno una riduzione dei flussi turistici, in particolare quelli domestici.

La Tabella 16.23 raccoglie i risultati delle simulazioni regionali del modello HTM (Hamburg Tourism Model, Bigano et al. 2007) per quanto riguarda gli afflussi turistici nelle regioni del DIP, come media degli scenari climatici SRES AR4 (A1, A2, B1 e B2). Il saldo totale è per lo più negativo, ma le aumentate presenze italiane tendono a compensare la riduzione di flussi stranieri, diretti verso destinazioni meno calde.

Regione	2020			2030			2050		
	Stranieri	Italiani	Totale	Stranieri	Italiani	Totale	Stranieri	Italiani	Totale
Piemonte	-18.0	4.0	-8.4	-21.5	5.9	-11.1	-21.9	10.1	-12.6
Valle d'Aosta	-16.2	6.3	-1.9	-18.9	9.5	-2.5	-17.5	16.7	-1.1
Lombardia	-18.4	3.5	-9.5	-22.1	5.2	-12.5	-23.1	8.8	-14.6
Emilia-Romagna	-18.8	3.0	-5.3	-22.7	4.5	-7.5	-24.1	7.5	-9.5

*Tabella 15.23: Variazione percentuale dei flussi turistici in presenza di cambiamento climatico rispetto all'assenza dello stesso secondo il modello HTM (media scenari SRES A1, A2, B1, B2) (Fonte: dal capitolo "Turismo" di questo documento a cura di Bigano et al.).*

Per quanto riguarda gli impatti sul turismo nelle zone litoranee, l'innalzamento del livello marino (previsto ma piuttosto contenuto) e l'aumento delle mareggiate potrebbero indurre un aumento dell'azione erosiva sulle coste causando l'arretramento delle spiagge ed ingenti danni al turismo balneare con la possibilità di allagamento di strutture ricreative in aree poco elevate (spiagge, porti turistici, villaggi vacanze, ecc.).

Un altro tipo di impatti potrà essere causato dall'aumento delle temperature e della frequenza delle ondate di calore estive, che scoraggiano alcune tipologie sensibili di consumatori turistici (anziani, famiglie con figli piccoli). L'aumento del rischio di incendi è anch'esso correlato all'incremento di temperatura e al calo delle piogge. Inoltre, se la riduzione delle precipitazioni nei prossimi anni sarà significativa, la riduzione delle risorse idriche e l'aumento della desertificazione in alcune aree potrebbero influire negativamente sul già alto livello di stress ambientale nelle aree turistiche fortemente antropizzate (Amelung e Moreno, 2009), come le aree del litorale veneto e emiliano. Infine, l'innalzamento della temperatura nelle aree costiere potrebbe favorire l'aumento di popolazioni algali infestanti, mucillaggini e meduse: tutti elementi poco graditi alle attività turistiche.

In conclusione, i cambiamenti climatici non genereranno nuovi rischi nelle zone turistiche costiere, ma potrebbero accentuare ed amplificare le problematiche già presenti dovute a una forte presenza antropica, a un tasso di cementificazione eccessivo, ed alla notevole pressione sulle risorse marine. L'aumento del fattore di pericolosità dovuto ai cambiamenti climatici si correla quindi a un già alto valore di vulnerabilità e ad una bassa resilienza degli ecosistemi degradati.

Gli effetti più studiati dei cambiamenti climatici in area alpina (si veda ad esempio il progetto ClimAlpTour) sono quelli relativi alla copertura nevosa e al suo legame con l'aumento di temperatura. Due progetti di ricerca relativi a questo argomento (Agrawala, 2007; EURAC, 2007) suggeriscono che l'indicatore LAN (Linea di Affidabilità della Neve, ovvero la quota minima alla quale la presenza di neve e il conseguente funzionamento delle infrastrutture sciistiche è garantito) potrebbe spostarsi verso quote più alte (150 metri per ogni grado di incremento delle temperature). Attualmente, il 91% degli impianti ha certezza di presenza di neve naturale durante la stagione sciistica. Questa percentuale scenderebbe al 75 % per +1°C e al 61 % per +2°C. Per +4°C, solo il 30% degli impianti avrebbe neve garantita.

Le zone alpine Lombarde e Piemontesi subirebbero notevoli danni da uno spostamento della LAN a 1650 m s.l.m. causato da +1°C, con il 33% e il 26% rispettivamente di stazioni sciistiche inferiori al livello garantito. Per +4°C, l'incremento di quota della LAN ridurrebbe il numero di stazioni sciistiche operative nell'arco alpino al 18% del numero attuale.

Questi dati non sono ancora stati tradotti in termini economici, ma si può partire dai dati attuali conosciuti e applicare le riduzioni riportate in Tabella 17.23.

Altitudine LAN	> 1500 (situazione attuale)	> 1650 (+1°C)	> 1800 (+2°C)	> 2100 (+4°C)
Valle d'Aosta	22	20	16	5
Piemonte	30	22	16	6
Lombardia	21	14	11	6
Veneto	14	12	8	2
Italia	167	131	88	30

*Tabella 16.23: Numero di stazioni sciistiche con copertura nevosa affidabile per diversi scenari di temperatura (Fonte: EURAC 2007).*

Per quanto riguarda i flussi turistici estivi invece, il trend è incerto. Il riscaldamento potrebbe avere sia un effetto positivo (aumento della durata della stagione turistica estiva) che negativo (stress idrico, perdita di biodiversità, ritiro dei ghiacciai) (Isoard et al., 2008).

## Bibliografia

- AdBPo (Autorità di Bacino del fiume Po) (1992). *Notiziario dell'Autorità di Bacino del Po. Anno i - n.1 ottobre - dicembre 1992.*
- AdBPo (Autorità di Bacino del fiume Po) (2003). *Gestione unitaria del bilancio idrico del bacino idrografico del Fiume Po nella fase siccitosa dell'estate 2003: relazione finale.* Parma, 2 dicembre 2003. Parma.
- AdBPo (Autorità di Bacino del fiume Po) (2006). *Caratteristiche del DIP e primo esame dell'impatto ambientale delle attività umane sulle risorse idriche.* Autorità di Bacino del Fiume Po. Parma.
- AdBPo (Autorità di Bacino del fiume Po) (2010). *Piano di gestione del distretto idrografico del fiume Po.* Autorità di Bacino del Fiume Po. Parma.
- AdBPo (Autorità di Bacino del fiume Po) (2012). *Rapporto preliminare alla Valutazione Ambientale Strategica del Piano di bilancio idrico.* Autorità di Bacino del Fiume Po. Parma.
- Agrawala, S. (ed.) (2007). *Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management.* OECD Publishing, Paris (France).
- Auer, I.; Böhm, R.; Jurkovic, A. et al. (2007). 'HISTALP— Historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region 1760–2003'. *International Journal of Climatology* 27, pp. 17–46.
- Baruffi, F., Cisotto, A., Cimolino, A., Ferri, M., Monego, M., Norbiato, D., Marcomini, A. (2012). *Climate change impact assessment on Veneto and Friuli plain groundwater. Part I: An integrated modeling approach for hazard scenario construction.* *Science of the Total Environment*, 440, 154-166.
- Beniston, M. (2007). *Linking extreme climate events and economic impacts: Examples from the Swiss Alps.* *Energy Policy* 35: 5384–5392.
- Bigano, A., Hamilton, J. M., Tol, R. S. (2007). *The impact of climate change on domestic and international tourism: a simulation study.* *Integrated Assessment*, 7(1).
- Borelli, G. (1999). *Le relazioni intergovernative nelle politiche di difesa del suolo: il caso del Piano Stralcio 45 dell'Autorità di bacino del Po.* Piperno, S.(a cura di), 49-92.
- Cacciamani, C., Tibaldi, S. and Pecora, S. (2008). *Quanto il clima pesa sul bacino del Po.* Available at [http://www.arpa.emr.it/documenti/arparivista/pdf2008n3/CacciamaniAR3\\_08.pdf](http://www.arpa.emr.it/documenti/arparivista/pdf2008n3/CacciamaniAR3_08.pdf)
- Cacciamani, C., Tomozeiu, R. and Pavan, V. (2010). *Cambiamenti climatici, impatti e adattamento.* *Ecoscienza* Numero 2, Anno 2010.
- Carrera L., Standardi G., Bosello F., Mysiak J. (forthcoming). *Assessing direct and indirect economic impacts of a flood event through the integration of spatial and computable general equilibrium modelling.* *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Notes.* Milan, Italy.
- Cattaneo, L., Zollo, A. L., Buchignani, E., Montesarchio, M., Manzi, M. P., & Mercogliano, P. (2012). *Assessment of COSMO-CLM Performances over Mediterranean Area.* *CMCC Research Paper*, (144).
- ClimAlpTour (2010). *Cambiamento climatico e turismo, un progetto europeo per guardare al futuro.*
- CE, Commissione Europea (2007). *Communication on water scarcity and droughts in the European Union COM (2007) 414 final.*
- CE, Commissione Europea (2009). *River basin management in changing climate. Guidance document.*

- CE, Commissione Europea (2009). Study on water efficiency standards, Final Report.
- CE, Commissione Europea (2011). Third Follow up Report to the Communication on water scarcity and droughts in the European Union COM (2007) 414 final SEC(2011) 338 final.
- CE, Commissione Europea (2012). Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio economico e sociale e al comitato delle regioni – Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee – 14-11-2012, COM(2012) 673 final.
- Coppola E. and F. Giorgi (2010). An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations. *International Journal of Climatology* 30:11-32 (2010).
- De Salvo M., Mysiak J., (forthcoming). Drought impacts on agriculture: The Po Basin case study. Fondazione Eni Enrico Mattei Working Notes. Milan, Italy.
- EEA, European Environment Agency (2008). Impacts of Europe's changing climate-based assessment. EEA Report No 4/2008.
- EEA, European Environment Agency (2009). Regional climate change and adaptation --- The Alps facing the challenge of changing water resources, Technical Report n°9/2009, EEA, Copenhagen 2009, ISBN1725---2237.
- EEA, European Environment Agency (2012). European Waters --- current status and future challenges - Technical Report n°9/2012, EEA, Copenhagen 2009, ISBN1725---9177.
- EURAC (2007). Impacts of Climate Change on winter tourism in the Italian Alps. ClimChalp INTERREG III B Alpine Space Project Report.
- FAO (1986). Irrigation water management, Training manuals, version 3, Natural Resources Management and Environment Department, ISSN: 1020-4261.
- Fioravanti, G., Desiato, F., Frascchetti, P., Perconti, W., & Piervitali, E. (2013). Time series requirements and trends of temperature and precipitation extremes over Italy. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 15, p. 1173).
- Gruppo183 (2012). Promozione di politiche sostenibili per la gestione delle risorse idriche, di Bruno Miccio, Antonio Rusconi e Michele Zazzi. Disponibile all'indirizzo: <http://www.gruppo183.org/scheda.asp?idprod=1106&idpadrerif=28>.
- Im, E.-S., E. Coppola, F. Giorgi and X. Bi (2010). Local effects of climate change over the Alpine region: A study with a high resolution regional climate model with a surrogate climate change scenario.
- INEA (2011). Atlante Nazionale dell'Irrigazione. Istituto Nazionale di Economia Agraria, Roma.
- ISTAT (2010). Sesto Censimento agricoltura. Disponibile in: <http://www.istat.it/it/censimento-agricoltura/agricoltura-2010>
- ISTAT (2011). Il futuro demografico del paese. Previsioni regionali della popolazione residente al 2065.
- Jacob, D.; Göttel, H.; Lorenz, P. (2007). Hochoaufgelöste regionale Klimaszenarien für Deutschland, Österreich und die Schweiz, DMG-Mitteilungen, 03/07, Berlin.
- Lautenschlager, M.; Keuler, K.; Wunram, C.; Keup---- Thiel, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B. and Boehm, U. (2008). Climate simulation with CLM, climate of the 20th century, data stream 3: European region MPI--M/MaD. World Data Center for Climate.
- March, H., David Saurí (2010). The Suburbanization of Water Scarcity in the Barcelona Metropolitan Region: Sociodemographic and Urban Changes Influencing Domestic Water Consumption. *The Professional Geographer* Vol. 62, Iss. 1, 2010 .

- Montesarchio, M., M. P. Manzi, L. Cattaneo, E. Bucchignani, P. Mercogliano (2012). Performance evaluation of a regional climate simulation with COSMOCLM in the Alpine space. CMCC Research Papers Issue RP0137 July 2012.
- Mysiak, J., Carrera, L., Massarutto, A. (2008). Sicurezza idrica nel contesto dei cambiamenti climatici. Focus su Acque e Ambiente urbano, 113. ISPRA (eds), Roma.
- OCSE (2008). Economic Aspects of Adaptation to Climate Change. Paris.
- OCSE (2013). Environmental performance reviews: Italy 2013. Paris. Available at: [http://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-environmental-performance-reviews-italy-2013\\_9789264186378-en](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-environmental-performance-reviews-italy-2013_9789264186378-en).
- Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds) (2007). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Pauli, H.; Gottfried, M.; Reiter, K.; Klettner, C. and Grabherr, G. (2007). Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994–2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* 13, 147–156.
- PREEMPT (2011). D.1 Comprehensive impact assessment report, Policy-relevant assessment of socio-economic effects of droughts and floods.
- Radić, V. and Hock, R. (2011) Regionally differentiated contribution of mountain glaciers and ice caps to future sea-level rise. *Nature Geoscience* 4, 91–94. doi:10.1038/ngeo1052.
- Rainaldi, F. (2010). Governance multilivello e gestione integrata del bacino padano. *Rivista Italiana di Politiche Pubbliche*, (2), 59-85.
- Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., & Speranza, A. (2010). Understanding climate change-induced variations in daily temperature distributions over Italy. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 115(D22).
- Sugiyama, S.; Bauder, A.; Zahno, C. and Funk, M. (2007). Evolution of Rhonegletscher, Switzerland, over the past 125 years and in the future: application of an improved flowline model. *Annals of Glaciology* 46: 268–274.
- Terna (2010). Dati statistici sull'energia elettrica in Italia. Terna, Roma. Disponibile all'indirizzo: [www.terna.it](http://www.terna.it).
- Tomozeiu R., Pavan V., Cacciamani C., Amici M. (2007). Observed temperature changes in Emilia-Romagna: mean values and extremes. *Theor. Appl. Climatol.* (2007).
- Tomozeiu R., Agrillo G., Villani G., Tomei F, Marletto V., Botarelli L (2011). Scenari di cambiamento climatico di temperatura e precipitazioni in Italia per il periodo 2021-2050, ottenuti attraverso tecniche di regionalizzazione statistica e loro impatto sull'irrigazione. Atti del XIV Convegno Nazionale di Agrometeorologia - *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, pag. 29-30, PATRON EDITORE, edizione maggio 2011.
- Tomozeiu R., Agrillo G., Cacciamani C., Pavan. V (2012). Statistically downscaled climate change projections of surface temperature over Northern Italy for the periods 2021-2050 and 2071-2099. Accepted to *Natural Hazard*.
- Turco, M., Vezzoli, R., Ronco, P. D., Mercogliano, P. (2013). Variation in discharge, precipitation and temperature in Po river and tributaries basins. CMCC Research Paper, (RP0185).
- Valt M., A.Cagnati, A.Crepaz e G.Marigo (2005). Neve sulle Alpi Neve e Valanghe, 56, 24-31
- Vezzoli, R. (2012). Data analysis to detect inhomogeneity, change points, trends in observations: an application to Po river discharge extremes.

Vezzoli, R., Mercogliano, P. (2013). Impacts of land cover and climate changes on peak floods probability distribution function. CMCC Research Paper, (RP0180).

Vezzoli, R., Mercogliano, P., Pecora, S., Zenoni, E. (2013). Impact simulations of climate change on hydrological extremes in the Po basin. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 15, p. 4527).

Zemp, M., Haeberli, W., Hoelzle, M. and Paul, F. (2006) Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters* 33, L13504. doi:10.1029/2006GL026319.

Zemp, M., Paul, F., Hoelzle, M. and Haeberli, W. (2008) Glacier fluctuations in the European Alps, 1850-2000: an overview and a spatiotemporal analysis of available data. In: *Darkening Peaks: Glacier Retreat, Science, and Society* (B. S. Orlove, E. Wiegandt and B. H. Luckman, eds.), 152–167. University of California Press, Los Angeles.

# Stime economiche degli impatti dei cambiamenti climatici e dell'adattamento in Italia

## Sintesi

Esistono pochi studi che tentano un'analisi complessiva degli impatti sul PIL italiano dei cambiamenti climatici. Carraro (2008) si riferisce ancora alle ricerche condotte nell'ambito della Conferenza Nazionale sul Clima del 2007. La ricerca, che si basa sulla modellistica CGE, dimostra che anche in uno scenario di minimo aumento della temperatura, circa 0,93°C rispetto al 2001, la perdita indotta dai cambiamenti climatici potrebbe essere compresa tra lo 0,12% e lo 0,16% del PIL nel 2050. Usando ad esempio il PIL dell'Italia nel 2009 come riferimento, ciò ammonterebbe a circa 2.5 miliardi di Euro di mancata produzione di beni e servizi. La perdita economica potrebbe arrivare fino allo 0,2% del PIL se la variazione di temperatura fosse di +1,2 °C. Gli impatti aumentano in modo esponenziale nella seconda metà del secolo, con una riduzione del PIL nel 2100 sei volte più grande che nel 2050. Questi dati, sostanzialmente confermati dall'unico altro studio disponibile (McCallum et al., 2013), devono essere interpretati con cautela. L'approccio valutativo utilizzato considera solo marginalmente gli eventi estremi e non cattura né gli eventi catastrofici né le dimensioni più sociali degli impatti (quelle ad esempio legate al deterioramento della salute, all'incremento di mortalità, ad eventuali spostamenti forzati delle popolazioni dalle zone colpite dal dissesto idrogeologico ecc.). Si basa poi sul PIL come indicatore economico di impatto. Questo tra le sue molte limitazioni come indicatore di benessere, annovera anche quelle di non rilevare le perdite di "stock", come ad esempio quelle relative ai valori fondiari, e quella di non rappresentare adeguatamente la dimensione ambientale ed ecologica. Lo stesso studio Carraro et al. (2008) ad esempio evidenzia come, se il danno, anziché in termini di PIL, venisse misurato in termini di conseguenze sulle possibilità di consumo delle famiglie, la perdita sarebbe molto più considerevole, nell'ordine di 20-30 miliardi di Euro. I numeri evidenziati vanno quindi considerati come stime altamente per difetto dei danni potenziali. Riguardo le valutazioni di danni diretti per settore, e tentando comunque di riassumere la grande eterogeneità di risultati, sembrerebbe che le perdite economiche più rilevanti da impatti climatici si materializzino nel settore turistico (17 e 52 miliardi di Euro di perdita diretta nel 2050 per scenari climatici di +2°C e +4°C rispetto al 2000 rispettivamente). Anche questo dato necessita però di corretta interpretazione. L'alto ammontare dei costi diretti, e sul PIL complessivo è infatti determinato dall'elevata importanza che questo settore ha nella produzione di valore aggiunto nel nostro Paese. Dipende inoltre da elementi altamente aleatori e di difficile determinazione come il comportamento futuro del turista tipo. Danni diretti elevati vengono evidenziati inoltre nel settore agricolo, (fino a 13 e 30 miliardi di Euro nel 2050 per un aumento di temperatura di 2°C e 4°C rispetto al 2000 rispettivamente)

seguiti, ma a distanza, da quelli relativi ai fenomeni di dissesto idrogeologico (circa 550 milioni di Euro annui nel 2050 associati per la precisione a fenomeni alluvionali derivanti dalla sola forzante climatica per uno scenario di aumento di circa 1°C rispetto al 2000). Anche quest'ultimo dato va interpretato con cautela. Da un lato infatti risulta molto difficile attribuire correttamente le componenti di costo al danno diretto o alle spese di adattamento; dall'altro individuare la componente di costo dovuta alla sola forzante climatica, è molto complesso. Inoltre, come più volte evidenziato, aspetti come interruzione di servizi essenziali, costi di trasferimento delle popolazioni colpite e ovviamente impatti sulla salute hanno componenti non monetarie e sociali di difficile determinazione. Nonostante e indipendentemente dall'incertezza e variabilità delle stime, un elemento comunque comune a numerosi studi riportati, è quello di evidenziare un rapporto positivo tra benefici e costi dell'adattamento. Ciò, in diversi ambiti (protezione costiera, difesa del territorio) e a diverse scale di intervento.

## Introduzione

Questo capitolo presenta una rassegna dell'esistente in materia di valutazione economica di costi e benefici futuri dell'adattamento in Italia. Si basa prevalentemente sui risultati di una serie di progetti di ricerca del Sesto (6PQ) e Settimo Programma Quadro (7PQ) Europeo o tender promossi da diversi Direttorati Generali della Commissione Europea, conclusi dopo il 2007. Offre quindi un aggiornamento del materiale raccolto in occasione della Conferenza Nazionale sul Clima di Roma di quell'anno organizzata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Si deve comunque rilevare che:

- Il grosso del corpo informativo disponibile continua ad essere concentrato sui benefici potenziali dell'adattamento, piuttosto che sui suoi costi;
- La maggior parte degli studi analizzati propone stime in termini generali di costi e benefici dell'adattamento e raramente offre dettagli per singola misura o area geografica;
- I risultati prodotti derivano quasi prevalentemente da simulazioni basate su modelli, di volta in volta econometrici, ingegneristici o economici, calibrati su set informativi diversi, spesso derivanti da processi di aggregazione dei dati e basati su assunti teorici e applicativi differenti. Questo comporta, da un lato perdita di specificità, dall'altro, una particolare difficoltà nel condurre confronti tra studi tanto diversi.
- Infine, nonostante nuova ricerca sia stata prodotta, la quantificazione economica disponibile rimane ancora insufficiente a condurre una precisa analisi costi benefici sull'adattamento, con lacune particolarmente pronunciate, come detto, nella parte "costi".

## Cambiamenti climatici, pesca/risorse ittiche e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica

Il progetto SESAME<sup>358</sup>, del 6PQ per la ricerca europea, ha tra i suoi obiettivi la valutazione degli impatti economici per l'area del Mediterraneo, del mar Nero e Baltico, derivanti da un potenziale deterioramento degli ecosistemi marini in un contesto di cambiamento climatico. Il settore ittico è tra quelli analizzati e SESAME propone una valutazione economica delle variazioni di produttività dello stock ittico per i sistemi economici dell'area, inclusa quindi l'Italia. La ricerca viene svolta in due fasi.

La prima applica un modello biodinamico (Cheung et al., 2008) che valuta il massimo potenziale "pescabile" considerando i tassi di riproduzione e area di distribuzione di 1066 specie ittiche commerciali. Tale modello globale, ma con alta risoluzione spaziale (griglie di 30' latitudine e 30' longitudine), consente di valutare l'evoluzione futura della distribuzione, riproduzione e quindi essenzialmente della disponibilità per area geografica delle specie in base alla variazione dei parametri determinanti le caratteristiche dell'habitat marino. Usando le forzanti climatiche dello scenario A1B dell'IPCC (che orientativamente prevede un aumento di temperatura leggermente superiore ai 3°C nel 2100 rispetto al periodo preindustriale (Rogelj, et al. 2012)) e avendo a riferimento il 2030 (anno base del progetto) risulta che la perdita di produttività aggregata dello stock ittico per l'Italia (in assenza di contromisure) potrebbe essere dell'8,07%. Tale dato viene offerto senza specifiche per specie e dettaglio spaziale. La seconda fase della ricerca (Bosello et al. 2010) propone una valutazione dell'impatto sul PIL delle economie interessate utilizzando un modello di equilibrio economico generale (Computable General Equilibrium, in seguito CGE<sup>359</sup>). Anche il modello economico è mondiale, però l'area Euro-Mediterranea è dettagliata per paese. L'impatto finale sul PIL dell'Italia è contenuto comportando una perdita dello 0,04% nel 2030 che tradotta in valori assoluti, sul periodo 2001-2030, ammonta a 25 milioni di Euro annui. È importante sottolineare che tali valutazioni non si riferiscono ai costi diretti (perdita di introiti per il settore) né considerano problemi legati a potenziale perdita di posti di lavoro o più in generale a frizioni negli aggiustamenti economici, ma quantificano solo l'impatto che la minor disponibilità di risorse ittiche può avere sulla capacità del sistema Italia di produrre beni e servizi in futuro (cioè ciò che il PIL misura). L'impatto sul settore ittico è percentualmente più alto configurando una perdita di produzione crescente che nel 2030 raggiungerebbe il -4% rispetto al caso senza cambiamenti climatici.

---

<sup>358</sup> Southern European Seas: Assessing and Modelling Ecosystem Changes, <http://www.sesame-ip.eu/>.

<sup>359</sup> Questo tipo di analisi evidenzia gli interscambi tra settori produttivi e le retroazioni sul/del contesto macroeconomico. Ciò avviene attraverso l'esplicita rappresentazione dei flussi di domanda e offerta intra e internazionali per ciascun fattore produttivo, bene e servizio. In altri termini i modelli CGE riescono a catturare la reazione degli agenti economici (famiglie, imprese, governo) e dei mercati ai segnali economici (variazioni nei prezzi relativi) innescati dagli impatti dei cambiamenti climatici descrivendo così parte dell'adattamento autonomo.

## Cambiamenti climatici, agricoltura e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica

La letteratura propone approcci metodologici diversi per la valutazione economica dei cambiamenti climatici in agricoltura. Tutti comunque traducono più o meno direttamente la variazione di produzione e/o resa delle colture interessate in termini monetari. Nel caso più semplice, questa valutazione avviene moltiplicando il valore unitario della produzione (cioè il prezzo) per la variazione osservata o attesa della quantità prodotta. Altro approccio valutativo è quello “ricardiano” che quantifica gli impatti sul settore agricolo attraverso le variazioni stimate delle rendite fondiari. Metodologie più complesse cercano di quantificare anche alcuni effetti indotti. Vi sono per esempio modelli economici che descrivono il funzionamento dei mercati agricoli e quindi gli aggiustamenti di domanda e offerta in risposta agli impatti, pur mantenendo esogeno il resto del contesto macroeconomico. Infine, la già citata modellistica CGE cerca di risalire fino agli impatti sul PIL nazionale o sul benessere<sup>360</sup> derivanti dalle mutate performances produttive del settore agricolo. Per l'Italia si cita innanzitutto la valutazione Copa Cogeca<sup>361</sup> (2003) dell'impatto sul settore agricolo e forestale dell'eccezionale ondata di calore nell'estate del 2003. In futuro eventi come quello del 2003 saranno sempre più frequenti e quindi l'analisi di quanto avvenuto nel passato fornisce utili indicazioni quantomeno sugli ordini di grandezza coinvolti. Nel 2003 la riduzione osservata nella produzione nazionale di foraggio, grano, mais, patate è stata rispettivamente del 40%, 8%, 24%, 18% (Figura 1.24). Come spesso accade il dato aggregato nasconde importanti differenze regionali: ad esempio la produzione di mais nella sola valle del Po nello stesso anno ha fatto registrare una caduta del 36% (Ciais et al., 2005). La perdita economica diretta è stata stimata attorno ai 4 - 5 miliardi di Euro.

---

<sup>360</sup> Il benessere nell'approccio CGE viene solitamente misurato in termini di compensazione monetaria da trasferire alle famiglie per mantenere inalterate le loro possibilità di consumo attraverso diversi “stati del mondo”. Ad esempio una eventuale somma positiva necessaria per permettere alle famiglie di consumare nello “stato di arrivo” quanto consumato nello “stato di partenza”, configura e quantifica la loro perdita di “benessere” espressa in variazione dei consumi.

<sup>361</sup> Copa-Cogeca: <http://www.copa-cogeca.be/Menu.aspx>

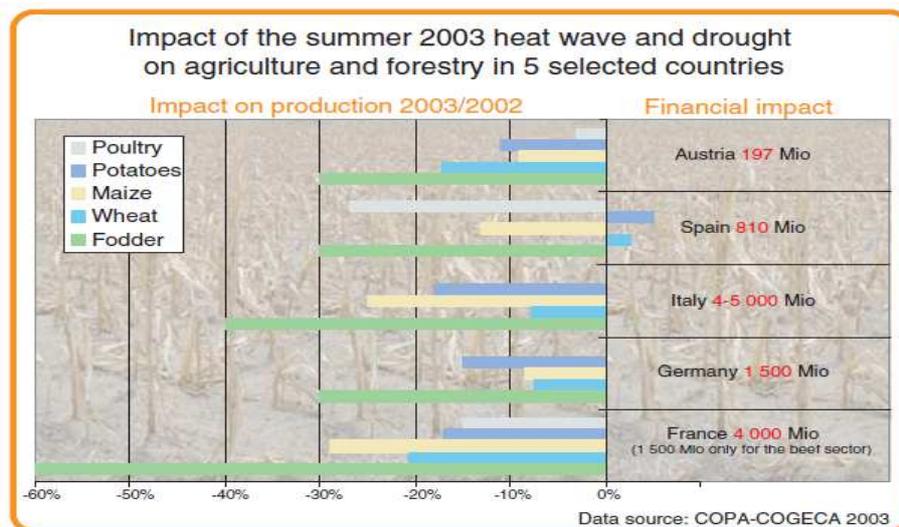
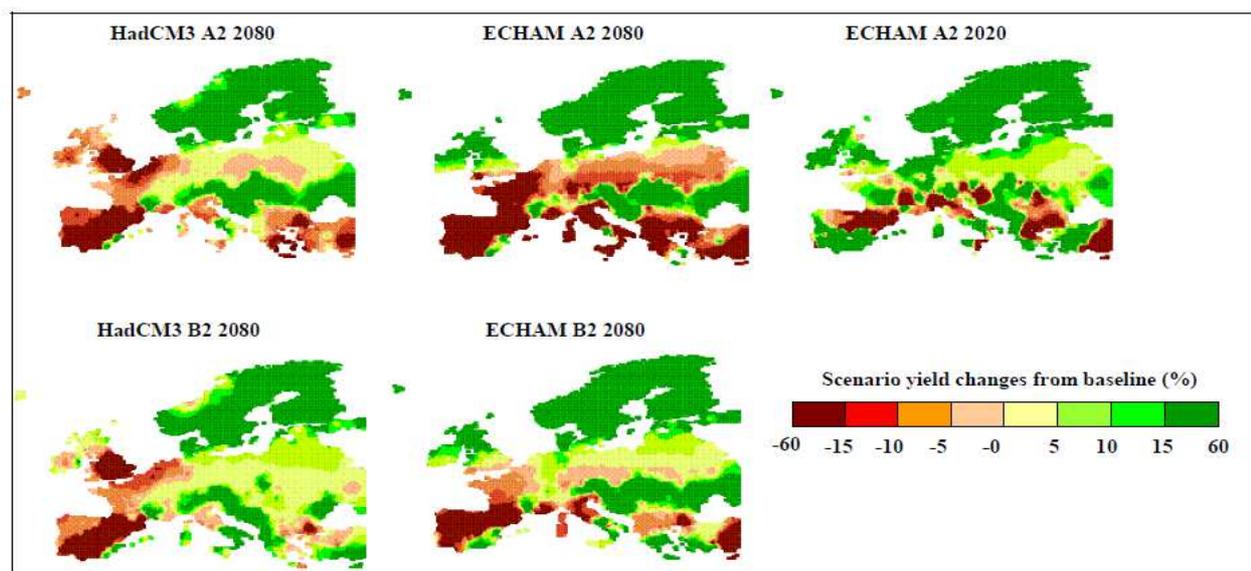


Figura 1.24: impatto sulla produzione agricola causato dalla ondata eccezionale di calore del 2003 per alcune nazioni europee (Fonte: COPA-COGECA, 2003).

Oltre agli eventi estremi, tra i quali ricadono i picchi di temperatura, eventi siccitosi particolarmente prolungati o precipitazioni estreme, anche aumenti di temperatura e concentrazioni di CO<sub>2</sub> nel suolo più gradualmente influenzeranno le rese delle diverse colture. Pur con tutta la variabilità del caso, e volendo riassumere, è ragionevole attendersi un sostanziale prevalere di effetti negativi sulle rese per aumenti di temperatura superiori ai 2,5° – 3°C (IPCC, 2007). Con quali ripercussioni economiche?

Il progetto PESETA<sup>362</sup> (Ciscar et al., 2009), propone la stima di una serie di impatti fisici ed economici dei cambiamenti climatici in Europa, inclusi quelli sul settore agricolo. Diversi incrementi di temperatura dai 2,5°C ai 5,4°C vengono considerati. In quest'ultimo caso, la riduzione media della resa agricola nel Sud Europa viene quantificata al 27% al 2080. La perdita di benessere e di PIL per la regione è rispettivamente del 1% e del 1,26%. Per l'Italia l'impatto è particolarmente significativo, con una contrazione potenziale delle rese che può arrivare sino al 60%. Lo scenario a 2,5°C evidenzia invece impatti netti negativi moderati se non addirittura positivi per il Sud Italia (Figura 2.24). Il progetto PESETA non fornisce però stime economiche con dettaglio nazionale.

<sup>362</sup> PESETA: Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/>



*Figura 2.24: Variazione produzione agricola al 2020 e al 2080 in corrispondenza di differenti scenari e modelli climatici (Fonte: Ciscar et al., 2009).*

Queste vengono invece fornite dal recente tender DG CLIMA EUADAPTSTRAT (McCallum et al., 2013). Gli impatti fisici sulle rese vengono stimati applicando una versione aggiornata del modello ClimateCrop, lo stesso di PESETA. L'Italia conferma la sua alta vulnerabilità con una riduzione media delle rese dal 9,27% nel caso di un innalzamento della temperatura di 2° C rispetto all'epoca pre-industriale fino a quasi il 23% per un incremento di 4° C. Il valore della produzione persa è quantificabile tra i 13 e i 30 miliardi di Euro<sup>363</sup>, a seconda degli scenari, corrispondenti rispettivamente allo 0,76% e all'1,86% del PIL nel 2050.

Un'analisi ricardiana delle implicazioni economiche dei cambiamenti climatici sul settore agricolo dell'Europa a 15 è fornita da Van Passel et al. (2012). Nello scenario A2 dell'IPCC il decremento di valore dei terreni agricoli nel Sud Europa, va dall'8 al 13% per ogni grado di aumento di temperatura. Per l'Italia questo è del 10% per grado e valutabile tra gli 87 e 162 miliardi di Euro al 2100. Gli alti valori monetari evidenziati dallo studio sono in parte dovuti all'alto valore economico dei terreni agricoli in Italia che è tra i più alti d'Europa.

Una prima analisi CGE per l'Italia è proposta in Carraro (2009). Gli incrementi di temperatura considerati sono però modesti (0,93° C e 1,2° C rispetto al 1990), pertanto l'impatto sulle rese e produzione agricola è in generale positivo. Diventa negativo solo introducendo i fenomeni di desertificazione modellizzati come perdita di terreni agricoli. Un'analisi CGE più recente è proposta dal già citato tender DG CLIMA EUADAPTSTRAT. Le perdite di resa del 9,27% e del 23% per aumenti di 2°C e 4°C rispettivamente, una volta inserite come input in un modello di

<sup>363</sup> Dato non pubblicato, reso disponibile dagli autori del rapporto.

equilibrio economico generale, si traducono in contrazioni della produzione comprese tra -2,66% e -7,28%. E' però interessante notare che in questo caso l'impatto finale sul PIL è leggermente positivo (per 2° C) o nullo (4° C). La performance sul PIL in controtendenza rispetto alle perdite evidenziate dalle metodologie di quantificazione dei costi diretti, deriva dalla prospettiva economica globale adottata dal modello economico e soprattutto dalla considerazione dei meccanismi di commercio internazionale. L'impatto sulle rese in Italia, pur negativo, è infatti inferiore a quello di altre regioni del Mediterraneo (in particolare Spagna, Grecia, Nord Africa) per cui in termini relativi l'Italia si troverebbe leggermente avvantaggiata rispetto ad alcuni suoi competitori diretti.

E' opportuno comunque sottolineare come quest'ultima analisi prescinda dai potenziali fenomeni di desertificazione di cui si discuteva precedentemente, non includa più in generale valutazioni di costo associate alle variazioni nella copertura del suolo indotte dai cambiamenti climatici e soprattutto ipotizzi che qualsiasi tipo di aggiustamento intervenuto nei mercati in seguito a variazioni di prezzo avvenga istantaneamente e a costo nullo.

Ricapitolando si può sostenere che: l'Italia, come tutti i paesi dell'area mediterranea e a differenza dei pesi del Nord Europa, è particolarmente esposta ad impatti negativi sulle rese derivanti dal cambiamento climatico. Gli impatti sono tuttavia altamente diversificati per coltura ed area geografica. Quelli negativi sembrano prevalere per aumenti di temperatura superiori ai 2°C. Le valutazioni dei costi associati presentano una grande variabilità non solo a seconda degli scenari climatici analizzati, ma anche delle metodologie adottate. Le stime dei costi diretti associati alla sola riduzione delle rese quantificano la perdita potenziale nello 0,7% del PIL per un aumento della temperatura di 2°C e nell'1,9% del PIL per i 4°C (13 e 30 miliardi di Euro rispettivamente). Valori molto più elevati vengono invece riportati dalle analisi ricardiane che quantificano la riduzione attesa del valore della rendite fondiaria. Al 2100 queste potrebbero depauperarsi per un valore complessivo tra gli 87 e i 162 miliardi di Euro. Le analisi CGE, che quantificano gli impatti sul PIL, tendono invece a riportare effetti sostanzialmente nulli. Questo soprattutto in virtù di effetti sul mercato internazionale. L'impatto sulle rese in Italia, pur negativo, è infatti inferiore a quello di altre regioni del Mediterraneo (in particolare Spagna, Grecia, Nord Africa) per cui in termini relativi l'Italia si troverebbe leggermente avvantaggiata rispetto ad alcuni suoi competitori diretti.

Il dato più evidente che comunque emerge è l'esiguo numero di studi economici disponibili per l'Italia e l'assenza di un'analisi sistematica integrata per la quantificazione degli impatti in agricoltura che incorpori la diversità degli impatti fisici (eventi estremi, alluvioni, siccità, aumenti di temperatura) sulle rese, sugli usi e copertura del suolo, e diverse metodologie di valutazione economica. I pochi dati attualmente disponibili sono quindi da prendersi con assoluta cautela e necessitano di essere integrati/validati con ulteriore e più approfondita ricerca.

## Cambiamenti climatici, zone costiere e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica

L'analisi costi-benefici degli interventi di protezione costiera contro inondazioni ed erosione per l'Italia è proposta sia da alcuni studi condotti con modelli ingegneristici su scala mondiale e/o europea sviluppati nell'ambito di progetti del 6PQ per la ricerca europea, ma che offrono una elevata risoluzione spaziale e quindi anche la possibilità di risalire al dato nazionale complessivo, che da alcune ricerche condotte a livello locale. Tra i primi ci sono i risultati del già citato progetto PESETA i cui dati per l'Italia sono stati resi disponibili da una recente pubblicazione (Bosello et al., 2012). Lo studio PESETA quantifica i costi diretti conseguenti erosione e inondazione delle coste nel caso di inazione così come quelli derivanti da un "ottimo livello di protezione". Lo strumento di indagine è il modello DIVA (McFadden et al., 2007; Vafeidis et al., 2008) applicato agli scenari A2 e B2 dell'IPCC. DIVA è un modello ingegneristico che integra aspetti geografici (fornisce una buona rappresentazione spaziale delle zone costiere arrivando al dettaglio di pochi chilometri) e socio-economici (fornendo informazioni su popolazione e "valore" della zone costiere), con un modulo di adattamento che stima i costi degli interventi di protezione riferiti alla costruzione di dighe e al ripascimento spiagge.

Le simulazioni di DIVA stimano, a seconda dello scenario climatico analizzato, i costi complessivi dell'adattamento per l'Europa in un range tra i 41 e gli 800 milioni di Euro nel 2020, e tra i 246 ed i 2350 milioni di Euro nel 2080. Il danno evitato nel 2080 varia invece tra i 7,7 ed i 45,4 miliardi di Euro, evidenziando quindi un alto rapporto benefici-costi per gli interventi di protezione costiera.

Per l'Italia, DIVA stima in caso di innalzamento del livello del mare compatibile con lo scenario A2 dell'IPCC, una perdita di aree costiere pari allo 0,6% della superficie nazionale totale. La protezione ottimale, quella in cui cioè i costi di protezione sono inferiori al valore delle aree che si perderebbero in sua assenza, richiederebbe la messa in sicurezza di quasi il 97% delle aree a rischio, e comporterebbe una spesa complessiva pari allo 0,006% del PIL.

Una versione aggiornata del modello DIVA è stata utilizzata anche nell'ambito del progetto europeo CIRCE.<sup>364</sup> Lo scenario climatico è l'A1B dell'IPCC, la perdita di zone costiere per l'Italia al 2050 in caso di inazione<sup>365</sup> è stimata nello 0,07% della superficie nazionale totale. I costi economici indiretti, quantificati come impatti sul PIL derivanti dalla perdita di infrastrutture costiere e improduttività dei suoli agricoli viene valutata in un - 0,18%.

Tra gli esempi di confronto costi benefici dell'adattamento su scala locale si citano il caso della pianura di Fondi nel Lazio (Gambarelli & Gorla, 2004) e le difese a mare tramite sistema di dighe mobili in corso di attuazione a Venezia (progetto MOSE). Nel primo caso si tratta di uno studio che riguarda ipotetici scenari di intervento necessari a fronteggiare l'innalzamento del livello del

---

<sup>364</sup> CIRCE: Climate Change Impact Research: The Mediterranean Environment <http://www.circeproject.eu>

<sup>365</sup> Il progetto CIRCE non considera invece i costi degli eventuali interventi di protezione costiera.

mare conseguente i cambiamenti climatici, mentre nel secondo caso ci si riferisce ad un progetto in corso già finanziato che sarebbe stato posto in essere indipendentemente dagli stressor climatici, ma per fronteggiare il fenomeno delle “acque alte” che periodicamente affliggono la città lagunare.

Lo studio per la pianura di Fondi riguarda un'area di 6.000 ha, di cui (nel 2002) 1.150 già sotto il livello del mare, un segmento di costa di circa 12 Km e una popolazione di circa 30.000 abitanti con un reddito pro capite annuo di circa 13.000 Euro. Inizialmente viene proposta una approfondita valutazione delle attività a rischio attraverso un'attenta analisi del contesto socio-economico interessato. Risulta che nel caso di inazione, in 100 anni le perdite cumulate oscillerebbero tra un minimo di 131 e un massimo di 270 milioni di Euro. Due diverse opzioni di intervento vengono poi considerate: la prima prevede il potenziamento dei sistemi esistenti che favoriscono il recupero dei terreni allagati (ad es. miglioramento dell'efficienza scolante delle fognature, ridisegno del sistema di irrigazione e canalizzazione), la seconda prevede invece una difesa più attiva attraverso la ricostituzione e il ripascimento di dune esistenti, innalzamento di alcune aree e relativo abbattimento e ricollocazione di quelle abitazioni che non possono essere utilmente protette. Nel primo caso i costi oscillerebbero tra i 50 e i 100 milioni di Euro, quindi ben al di sotto dei danni evitati. Nel secondo caso i costi totali quantificabili che però non includono i costi di elevazione in quanto non disponibili, variano tra i 45 e i 65 milioni di Euro. In entrambi i casi i costi della protezione sono inferiori ai benefici. Tuttavia lo studio evidenzia anche come costi relativamente certi e da sostenersi nell'immediato, debbano confrontarsi con un flusso di benefici dilazionato nel tempo e quindi per sua natura incerto. Nell'analisi rimangono pertanto alcuni elementi ineliminabili di soggettività. Ci si riferisce in particolare alla lunghezza del periodo nel quale vengono calcolati i benefici e soprattutto alla scelta del tasso di attualizzazione degli stessi. Più lungo il periodo considerato e più basso il tasso di attualizzazione, tanto più l'aspetto benefici prevale su quello costi.

Risultati analoghi, ma su scala molto maggiore, vengono riportati dallo studio di impatto ambientale<sup>366</sup> relativo al sistema di dighe mobili per la protezione della città di Venezia. Questo, (tralasciando gli interventi accessori sul contesto urbano) comporterebbe un costo di 1,9 miliardi di Euro per l'attuazione e un costo di circa 9,3 milioni di Euro all'anno per la manutenzione. I benefici di tale intervento su 60 anni (10 di realizzazione del progetto e 50 di esercizio) vengono invece stimati in un range tra gli 1,5 e i 3,4 miliardi di Euro a seconda del tasso di attualizzazione (5% o 3% rispettivamente) e delle ipotesi sui costi utilizzate. Anche nel caso di un'opera di grandi dimensioni come il MOSE, costi sostenuti nel presente e quindi accertati/accertabili si confrontano con un flusso di benefici dilazionato nel tempo futuro. Oltre alla intrinseca incertezza riguardante i benefici, la scelta del tasso di attualizzazione risulta cruciale nel determinarne il rapporto con i costi. Nello specifico, con un tasso del 5% i benefici appaiono inferiori ai costi, mentre l'opposto si verifica con tasso del 3%

---

<sup>366</sup> SIA: [http://www.salve.it/it/sezioni/itermose/allegati/rapporto\\_it/06.htm](http://www.salve.it/it/sezioni/itermose/allegati/rapporto_it/06.htm).

E' comunque interessante rilevare come gli studi, sia a livello macro che micro, tendano a ribadire che gli interventi a difesa delle coste presentano costi inferiori ai benefici. Questi ultimi sono poi tanto più elevati quanto più risulti possibile sfruttare anche a fini turistici l'intervento di protezione stesso. Questo è il tipico caso del ripascimento delle spiagge che molto spesso consente di preservare o estendere aree soggette a concessione demaniale a forte vocazione turistica. Un'analisi in tal senso è proposta dal progetto INTERREG BEACHMED (BEACHMED, 2004)<sup>367</sup>. Un intervento di ripascimento "tipo" su 1 Km di spiaggia, considerando messa in opera e manutenzione per un periodo di 25 anni (tasso di sconto al 2%) presenta un costo oscillante tra un minimo di 5.3 milioni di Euro per ripascimento protetto da pennelli trasversali, e un massimo di 10.3 milioni di Euro per ripascimento protetto da barriere longitudinali ad alto costo. I benefici di tale intervento sono però quelli di consentire il proseguimento sul Km di spiaggia (ipotizzandone una profondità di 30 m) di un'attività turistica che, limitatamente alle attività balneari, nel 2003 nel Lazio avrebbe generato un fatturato medio annuo di 0,85 milioni di Euro (ovvero 28,5 Euro al mq). Questo attualizzato sui 25 anni produrrebbe un montante di 16,8 milioni di Euro.

Dagli elementi sinora delineati risulta comunque evidente quanto sia difficile generalizzare un'analisi costi benefici in quanto non solo i fenomeni erosivi o di inondazione costiera hanno caratteristiche del tutto peculiari, ma anche le tipologie di intervento e soprattutto i benefici attesi dagli interventi stessi. Questi dipendono dalle caratteristiche socio-economiche, ambientali delle aree a rischio che sono altamente specifiche.

E' infine opportuno sottolineare le evidenti incongruenze tra gli studi sviluppati su scala mondiale come DIVA e quelli su scala locale. I primi, nonostante l'alta risoluzione spaziale, devono necessariamente aggregare o generalizzare le informazioni di costo relative agli interventi di protezione costiera e ne producono pertanto valutazioni che perdono contenuti informativi fondamentali. Ad esempio basta considerare le stime proposte dallo studio DIVA per i costi di adattamento in Europa nel 2080 per scoprire che sono poco meno del doppio di quelli attribuiti al solo MOSE.

---

<sup>367</sup> BEACHMED: <http://www.beachmed.it/Default.aspx?tabid=115>.

## Cambiamenti climatici, dissesto idrogeologico e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica

In contesto di valutazione economica del dissesto idrogeologico indotto dai cambiamenti climatici e delle relative misure di adattamento, intervengono numerosi elementi di incertezza e limitanti che la rendono quanto mai problematica.

In primo luogo, il dissesto idrogeologico si sostanzia in fenomeni estremamente diversificati, caratterizzati da fattori causanti ed effetti altamente variabili per tipologia di evento, caratteristiche temporali e geografiche. Questo elemento rende già di per se stesso complicata qualsiasi tipo di aggregazione/generalizzazione necessaria per una stima economica complessiva.

Le correlazioni e i legami funzionali tra cambiamenti climatici ed effetti sulle modalità di distribuzione spazio temporale dei fenomeni di dissesto non sono attualmente chiare dal punto di vista metodologico e bibliografico mancando uno stato dell'arte specifico e dettagliato per le diverse casistiche. Si parla infatti molto spesso di scenari più che di modelli previsionali.

In secondo luogo, ogni qual volta si entra nel campo di valutazione economica dei danni, risulta problematico attribuire in modo corretto alla forzante climatica i costi del dissesto idrogeologico futuro. In altre parole è difficile determinare quanta parte dell'andamento dei costi associati a scenari/fenomeni di dissesto idrogeologico futuro dipenda dalla variabilità climatica stessa (aumento frequenza e intensità dei fattori scatenanti) e quanto dipenda invece dal variare delle condizioni di contesto socio economico (ad es. maggior densità di popolazione, di infrastrutture, di ricchezza immobilizzata nelle zone di rischio, uso del suolo in presenza di buone o cattive pratiche – disboscamento incontrollato, abusivismo ecc.).

Il problema dell'attribuzione, e questo è un terzo elemento, si trasferisce anche in contesto di valutazione dei costi di adattamento. La maggior parte degli interventi a prevenzione dei fenomeni di dissesto idrogeologico, posta in essere o pianificata, prescinde infatti dai cambiamenti climatici. Interviene cioè per limitare i danni derivanti da una vulnerabilità comunque già presente e accertata. I cambiamenti climatici, qualora inclusi tra gli elementi di pianificazione, contribuiscono a determinarne l'intensità piuttosto che l'esistenza di tali interventi. In pratica però la maggior parte delle fonti disponibili non permette di definire quanto il costo di un intervento già pianificato dipenda dai cambiamenti climatici e quanto invece da altri fattori pre-esistenti.

Quando ci si rivolge poi ai dati storici per avere qualche indicazione di massima riguardo i possibili costi futuri, si incontrano ulteriori problemi. Le informazioni disponibili per l'Italia non distinguono tra costo del danno in assenza di intervento, costo di ripristino, e costo di messa in sicurezza o prevenzione. In altre parole le tre componenti: costo di inazione, costo dell'adattamento reattivo e adattamento precauzionale non sono distinguibili. Sempre il dato storico, si riferisce molto spesso a somme stanziare che però sono solo in parte collegate ai danni effettivamente sofferti.

Ciò premesso, la distribuzione spaziale reale del dissesto idrogeologico costituisce già oggi (ma non da oggi) un elemento di indubbia criticità per il territorio nazionale. Riassumendo i dati dei Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) l'estensione delle aree a criticità idrogeologica del territorio italiano è pari al 9,8% del territorio nazionale, del quale il 6,8% coinvolge direttamente zone con beni esposti (centri urbani, infrastrutture, aree produttive, ecc.) strettamente connessi con lo sviluppo economico del Paese. In base all'Annuario dei dati ambientali (ISPRA, 2008), emerge inoltre che, se circa il 10% del territorio italiano è classificato a elevato rischio per alluvioni e frane, più del 80% dei comuni italiani sono interessati almeno da qualche area a forte criticità idrogeologica. Il dato è solo leggermente inferiore secondo il rapporto *"Ecosistema rischio 2008 - Monitoraggio sulle attività delle amministrazioni comunali per la mitigazione del rischio idrogeologico"*, a cura del Dipartimento della Protezione Civile e di Legambiente (2010). Questo sottolinea come il rischio frane e alluvioni interessi comunque, ben 5.581 comuni italiani (il 70% del totale), di cui 1.700 a rischio frana, 1.285 a rischio di alluvione e 2.596 a rischio sia di frana che di alluvione. Le regioni con la più alta percentuale di comuni classificati a rischio (il 100% del totale) sono la Calabria, l'Umbria e la Valle d'Aosta, subito seguite dalle Marche (99%) e dalla Toscana (98%).

Quanto costa il dissesto idrogeologico?

Secondo i dati rilevati da ISPRA, negli ultimi 50 anni, i soli principali eventi alluvionali in Italia hanno avuto un costo diretto discernibile in termini di PIL e alto in valore assoluto. Se dopo gli episodi catastrofici del '51, '66 e '72 tale impatto si è mantenuto al di sotto dello 0,5% del PIL, dalla fine degli anni '80 questo valore non ha mostrato alcun trend decrescente a testimonianza di una permanente vulnerabilità del nostro Paese a questo tipo di evento (Figura 3.24). La spesa totale nel periodo considerato per sopperire ai danni relativi supera i 16 miliardi di Euro, o i 320 milioni di Euro su base annualizzata<sup>368</sup> (ISPRA 2007, 2008) .

EM-DAT, il database internazionale sugli eventi catastrofici, che considera un ventaglio più ampio di eventi<sup>369</sup> propone per lo stesso periodo (1951-2012) la stima, per difetto, di circa 18 miliardi di Euro (23,7 miliardi di \$). Di questi, quasi 17 sono imputabili alle sole alluvioni, mentre i rimanenti ai fenomeni franosi.

---

<sup>368</sup> Nostra attualizzazione.

<sup>369</sup> I criteri definitori di evento catastrofico per EM-DAT sono: 10 o più vittime, 100 o più persone "colpite"; una dichiarazione ufficiale di stato di emergenza, una richiesta ufficiale di aiuti internazionali.

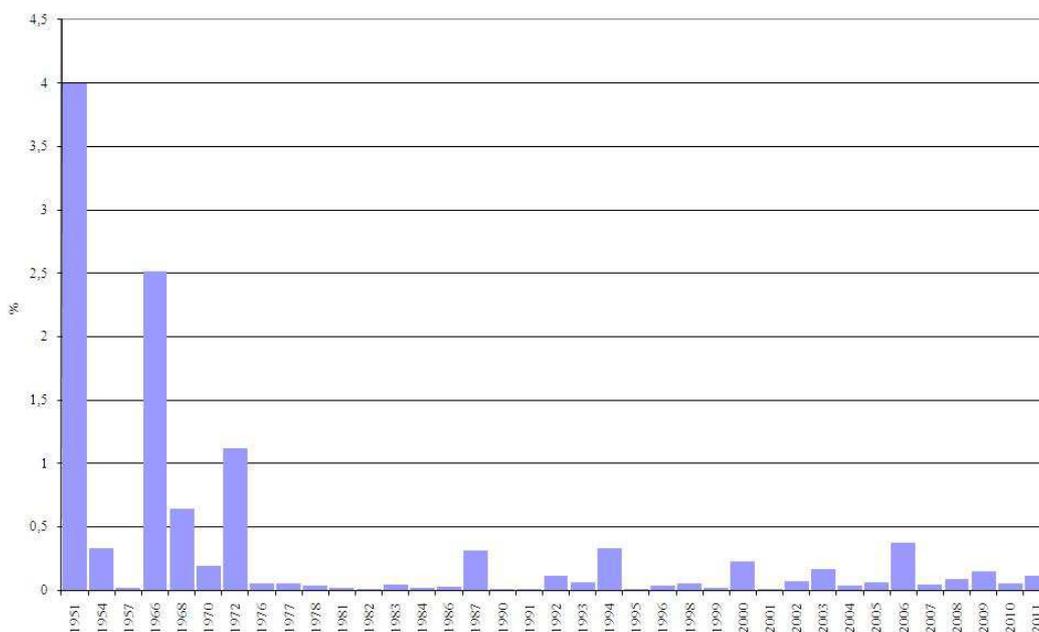


Figura 3.24: Costo dei principali eventi alluvionali in Italia (1951-2011) in % del PIL (Fonte: Berti et al., 2012).

Inizio	Fine	Principale area colpita	Tipo evento	Vittime	Popolazione colpita	Danno stimato (Milioni US\$)
04/11/2011	06/11/2011	Genoa ; Matera	Alluvione "lampo"	6	Nd	nd
26/10/2011	26/10/2011	Cinque Terre, Liguria, Torino	Alluvione "lampo"	10	Nd	545
08/11/2010	11/11/2010	Salerno, Veneto, Italia meridionale	Alluvione	nd	300	nd
01/10/2009	06/10/2009	Messina, Giampileri, Taormina	Alluvione	35	5140	20
11/12/2008	15/12/2008	Roma, Venezia, Calabria	Alluvione	3	Nd	278
12/07/2008	12/07/2008	Area di Milano e confine svizzero	Alluvione	2	300	nd
29/05/2008	30/05/2008	Piemonte, Val D'Aosta	Alluvione	4	Nd	nd
13/11/2004	14/11/2004	Toscana, Umbria, Molise	Alluvione	2	200	nd
29/08/2003	31/08/2003	Provincia di Udine, Friuli Venezia-Giulia	Alluvione	2	350	655
25/01/2003	27/01/2003	Abuzzo, Puglia, Molise, Bari	Alluvione	1	1000	150
22/11/2002	03/12/2002	Liguria, Emilia Romagna,	Alluvione	2	10000	350
04/08/2002	14/08/2002	Brescia, Venezia, Lombardia	Alluvione	nd	20	296

06/06/2002	09/06/2002	Friuli Venezia-Giulia	Alluvione "lampo"	nd	Nd	nd
14/09/2001	15/09/2001	Napoli	Alluvione "lampo"	2	Nd	100
00/01/2001	00/01/2001	Venezia	Alluvione	nd	Nd	nd
20/11/2000	20/11/2000	Toscana, Lombardia, Friuli Venezia-Giulia	Alluvione	5	2000	50
14/10/2000	22/10/2000	Piemonte, Val D'Aosta, Liguria	Alluvione "lampo"	25	43000	8000
20/09/2000	20/09/2000	Venezia, Lodrone (Trentino)	Alluvione	nd	1000	nd
10/09/2000	10/09/2000	Soverato (vicino Catanzaro)	Alluvione	16	22	nd
09/10/1996	09/10/1996	Cuneo città	Alluvione	nd	200	nd
19/06/1996	21/06/1996	Toscana, Lucca, Massa, Carrara	Alluvione "lampo"	17	300	32
01/11/1994	10/11/1994	Piemonte, Liguria, Cuneo, Torino	Alluvione	68	17300	9300
31/10/1992	31/10/1992	Toscana	Alluvione	nd	1000	687.3
28/09/1992	28/09/1992	Genova	Alluvione	2	Nd	10
00/09/1987	00/09/1987	Firenze, Roma	Alluvione	nd	Nd	70
02/02/1986	02/02/1986	Venezia	Alluvione	2	Nd	20
19/07/1985	19/07/1985	Cavalese-Stava (*)	Alluvione "lampo"	329	30	15
00/10/1977	00/10/1977	North (Po plain)	Alluvione	16	1000	150
00/05/1977	00/05/1977	Sud-ovest di Torino	Alluvione	7	Nd	44
07/10/1970	07/10/1970	Provincia di Genova	Alluvione	37	1301650	268.3
02/11/1968	02/11/1968	Piemonte, Asti, Biella	Alluvione	72	3000	nd
03/11/1966	03/11/1966	Firenze, Venezia	Alluvione	70	1300000	2000
02/09/1965	02/09/1965	Da Roma a Sicilia	Alluvione	55	Nd	nd
21/10/1953	21/10/1953	Catanzaro	Alluvione	100	4000	nd
16/10/1951	16/10/1951	Reggio Calabria	Alluvione	63	3500	nd
14/11/1951	14/11/1951	Valle del Po, Polesine	Alluvione	100	170000	300
22/11/2011	22/11/2011	Zona di Messina	Frana	3	1	nd
30/04/2006	30/04/2006	Ischia	Frana	4	159	nd
01/05/1998	07/05/1998	Campania	Frana	160	3682	28.7
08/08/1996	08/08/1996	Cortina D'Ampezzo	Frana	nd	100	nd
17/07/1987	17/07/1987	Tartano	Frana	13	3000	nd
28/07/1987	28/07/1987	Valtellina, Sant'Antonio,	Frana	44	3189	625
22/05/1983	22/05/1983	province Lombardia provincia	Frana	nd	Nd	nd
14/12/1982	14/12/1982	Ancona	Frana	nd	4000	700
00/04/1975	00/04/1975	Alpi	Frana	12	Nd	nd
09/10/1963	09/10/1963	Diga del Vajont, Longarone .	Frana	1917	Nd	nd

17/09/1960	17/09/1960	Loveno	Frana	12	Nd	nd
25/10/1954	25/10/1954	Salerno	Frana	297	5466	nd
TOTALE				3651	2884909	23710

(\*) Evento associato a crollo di bacini di decantazione di una miniera e quindi non necessariamente riconducibile a dissesto idrogeologico in senso stretto

Nd: Non Disponibile

**Tabella 1.24:** I principali episodi di dissesto idrogeologico in Italia (1951-2011), popolazione colpita e danno stimato (Fonte: Estratto da EM-DAT, accesso 26.11.2012).<sup>370</sup>

Ulteriori informazioni provengono dal data base ISPRA ReNDiS (Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo) che rende possibile un monitoraggio delle spese per le misure di riduzione del rischio geologico ed idraulico finanziate dal Ministero dell'Ambiente, nel quadro del D.L. 180/98<sup>371</sup>. Nel periodo 1998-2012 risultano finanziate in tutta Italia 4.710 opere di mitigazione del rischio idrogeologico<sup>372</sup>, per più di 4 miliardi di Euro (vedi Tabella 2.24)<sup>373</sup>.

Dal 2009 al 2011 infine, i fondi stanziati a mezzo ordinanza per le emergenze idrogeologiche (da considerarsi quindi aggiuntivi a quelli riportati in Tabella 2.24) ammontano a più di 1 miliardo di Euro (vedi Tabella 3.24), di cui 585,7 milioni di Euro solo nel 2010 (Legambiente-PCN, 2010). Il 60% dei fondi è stato utilizzato per le calamità riguardanti la Sicilia (circa 290 milioni per gli eventi di Messina del 2009 e del 2011) e il Veneto (più di 300 milioni di Euro); un altro 20% è stato messo a disposizione per gli eventi legati alla Liguria (stanziati 140 milioni) ed alla Toscana (110 milioni). In totale il 80% delle risorse stanziare negli ultimi tre anni è servito per intervenire sulle regioni colpite dagli eventi più gravi: Liguria, Toscana, Veneto e Sicilia. Il danno presentato dai Comuni colpiti, così come riportato dai censimenti ufficiali dei danni realizzati dai Commissari delegati per l'emergenza, in queste Regioni ammonta a circa 2,2 miliardi di Euro - quasi il triplo delle risorse messe a loro disposizione in seguito alle emergenze - ma questa stima è verosimilmente inferiore al reale danno occorso e difficilmente quantificabile.

REGIONI	n. di interventi	Fondi (Milioni di Euro)
---------	------------------	-------------------------

<sup>370</sup> <http://www.emdat.be>.

<sup>371</sup> Il decreto si basa su i) l'identificazione delle aree classificate a rischio elevato e molto elevato (ossia regioni vulnerabili soggette a pericolosità da frana), ii) la definizione di misure di riduzione dei rischi, in particolare di opere di ingegneria, ma anche misure di mitigazione "non strutturali" (cioè il monitoraggio strumentale, delocalizzazione, le tecniche a basso impatto ambientale).

<sup>372</sup> Interventi strutturali come la risagomatura degli alvei, le briglie in cemento armato piuttosto che muri per la "messa in sicurezza" del territorio, interventi di riqualificazione (creazione di lembi di nuova piana inondabile mediante ribassamento della ex piana, divenuta terrazzo fluviale; ecosistemi filtro; impianti vegetali, ecc.), l'abbandono "controllato" della manutenzione delle opere di difesa spondale, per favorirne lo smantellamento naturale e riattivare quelle dinamiche fluviali che, sole, possono ricostruire, auto-mantenere e ringiovanire gli habitat e determinare le condizioni essenziali per raggiungere uno stato ecologico elevato, la creazione di casse di espansione, l'adeguamento dei sistemi di drenaggio nelle aree urbane.

<sup>373</sup> Dal 2011 a questi finanziamenti vanno aggiunte le risorse disposte dagli accordi di programma quadro MATTM-Regioni deliberati dal CIPE dal gennaio 2012, ad oggi già programmati e in parte assegnati e che ammontano a circa 2 miliardi di Euro.

Abruzzo	144	117.9
Basilicata	214	102.6
Calabria	449	391.3
Campania	287	384.1
Emilia-Romagna	300	277.9
Friuli Venezia Giulia	72	87,2
Lazio	275	303.8
Liguria	115	113.2
Lombardia	478	422.0
Marche	248	148.0
Molise	74	53.0
Piemonte	458	243.6
Puglia	212	314.9
Sardegna	98	148.9
Sicilia	407	608.2
Toscana	528	410.0
Trentino - Alto Adige	61	38.5
Umbria	90	100.8
Valle d'Aosta	29	31.1
Veneto	171	175.3
<b>TOTALE</b>	<b>4710</b>	<b>4473</b>

*Tabella 2.24: Importi finanziati dal MATTM per ogni regione italiana dal 1998 al 2012 nel quadro del D.L. 180/98 (Fonte: ISPRA ReNDiS).<sup>374</sup>*

---

<sup>374</sup> [www.rendis.isprambiente.it](http://www.rendis.isprambiente.it).

(3815 del 10/10/2009) Eccezionali avversità atmosferiche ottobre 2009 provincia di Messina (Giampileri).	60
3847 del 05/02/2010 Eventi meteorologici province di: Pordenone - Udine (maggio/giugno 2009); Treviso - Vicenza (giugno 2009); Friuli-Venezia Giulia (dicembre 2009).	10
3848 del 12/02/2010 Interventi urgenti di protezione civile eventi meteorologici Regioni Emilia-Romagna, Liguria e Toscana di dicembre 2009 - gennaio 2010.	20
3849 del 19/02/2010 Situazione di grave criticità comune di Casamicciola Terme (Napoli) novembre 2009	38.2
3850 del 02/03/2010 Eccezionali eventi meteorologici regioni Emilia-Romagna, Liguria e Toscana dicembre 2009 - gennaio 2010.	20
3862 del 31/03/2010 Dissesti idrogeologici Regione Calabria febbraio 2010 (Maierato)	15
3865 del 15/04/2010 Dissesti idrogeologici provincia di Messina febbraio 2010 (San Fratello) e ottobre 2009 (Giampileri).	70.2
3868 del 21/04/2010 Situazione di emergenza frana di Montaguto (AV)	2.5
3880 del 03/06/2010 Dissesto idrogeologico comune di Belvedere Marittimo (CS) gennaio 2009	0.7
3882 del 18/06/2010 Eventi alluvionali regione autonoma Friuli-Venezia Giulia dicembre 2009	1
3899 del 24/09/2010 Eventi atmosferici Veneto	0.8
3903 del 22/10/2010 Contributi per l'alluvione in Liguria	10
3906 del 13/11/2010 Disposizioni per il maltempo in Veneto	300
3908 del 24/11/2010 Interventi urgenti per il maltempo in Provincia di Salerno dell'8, 9 e 10 novembre 2010	5
3909 del 4/12/2010 Interventi per il maltempo in Liguria	1.5
3911 del 10/12/2010 Interventi per il maltempo in Emilia Romagna e l'alluvione in provincia di Parma	1.5
3912 del 22/12/2010 Interventi per il maltempo in Friuli Venezia Giulia	2.0
3914 del 22/12/2010 Interventi per il maltempo in Provincia di Salerno (Atrani e Scala)	1.5
3915 del 30/12/2010 Interventi per il maltempo in Provincia di Lucca e Massa Carrara	2.5
3918 del 18/01/2011	

Interventi urgenti di protezione civile per il maltempo in Calabria	
	7
3920 del 28/01/2011	
Interventi per fronteggiare i danni occorsi a La Spezia nel novembre e dicembre 2010	
	2
3922 del 09/02/2011	
Ulteriori disposizioni per il maltempo in provincia di Salerno dell'8, 9 e 10 novembre 2010	
	5
3925 del 32/02/2011	
Esigenze per eventi calamitosi 31 ott. - 1 nov. 2010 che hanno colpito il territorio delle province di Lucca e Massa Carrara	
	4.9
3961 del 02/09/2011	
Disposizioni dirette a fronteggiare i danni per gli eventi calamitosi nei mesi di ottobre 2009 e febbraio 2010 a Messina	
	90.8
3972 del 04/11/2011	
Disposizioni urgenti per gli eccezionali eventi alluvionali che hanno colpito la Liguria a ottobre, novembre e dicembre 2010	
	45
3973 del 05/11/2011	
Primi interventi urgenti per le eccezionali avversità atmosferiche di ottobre 2011 nella provincia di La Spezia	
	49.5
3974 del 05/11/2011	
Primi interventi urgenti per le eccezionali avversità atmosferiche di ottobre 2011 nella provincia di Massa Carrara	
	80
3980 dell'11/11/2011	
Disposizioni urgenti di protezione civile:	
10 Messina (Giampilieri) - 10 Messina (Giampilieri)	
10 Piemonte - 10 La Spezia - 2.7 Cogoletto (Ge)	
	42.7
3984 del 25/11/2011	
Primi interventi per i danni causati dagli eccezionali eventi meteorologici in Basilicata tra il 18 febbraio e l'1 marzo 2011	
	14.5
3988 del 22/12/2011	
Primi interventi per fronteggiare i danni per le eccezionali avversità atmosferiche in Puglia a marzo 2011	
	1.6
3993 del 21/01/2012	
Iniziative volte a fronteggiare i danni conseguenti alle avversità atmosferiche nei mesi di ottobre e novembre 2011 in Liguria	
	7.4
4002 del 16/02/2012	
Disposizioni urgenti per fronteggiare le alluvioni del 7 novembre 2011 sull'Isola d'Elba	
	5
4005 del 23/02/2012	
Disposizioni urgenti di protezione civile per il maltempo in Piemonte a marzo e a novembre 2011	
	10.1
4015 del 23/03/2012	
Ulteriori disposizioni per fronteggiare i danni dell'alluvione all' Isola d'Elba del 7 novembre 2011	
	3
5 del 10/06/2012	
Interventi per i danni conseguenti agli eccezionali eventi alluvionali della provincia di Teramo l'1,2 e 3 marzo 2011	
	25
6 del 10/06/2012	
Interventi per i danni conseguenti alle avversità atmosferiche nei primi giorni del mese di marzo 2011 nella regione Puglia	
	3
7 del 10/06/2012	
Interventi per i danni conseguenti agli eccezionali eventi alluvionali che hanno colpito la regione Marche nei giorni dal 1° al 6 marzo 2011	
	25

8 del 14/06/2012	
Interventi urgenti per i danni per le eccezionali avversità atmosferiche del 22 e 23 novembre 2011 nelle province di Catanzaro, Reggio Calabria e Crotona	
	6
11 del 25/06/2012	
Interventi per i danni conseguenti alle avversità atmosferiche che hanno interessato la provincia di Messina a febbraio e marzo 2011 e il 22 novembre 2011	
	48
TOTALE FONDI STANZIATI (dal 10/10/2009 al 25/06/2012)	
	1.038

**Tabella 3.24:** Fondi stanziati per le principali emergenze idrogeologiche in Italia negli ultimi 3 anni n° Ordinanza di Protezione Civile Contenuto Fondi stanziati (Milioni di Euro) (Fonte: dati delle Ordinanze di Protezione Civile).

Quanto queste spese possono cambiare in futuro? E quanto di queste potranno essere imputate ai cambiamenti climatici in senso stretto?

Dare questo tipo di informazione, come si diceva è estremamente complesso. Allo stato attuale l'unica fonte informativa a nostra conoscenza è il tender del Directorate General Environment (DG ENV) ClimWatAdapt<sup>375</sup>. Questo propone una stima dei costi diretti e indiretti per l'Europa, ma anche con dettaglio nazionale, degli eventi alluvionali fluviali nei prossimi 50 anni. La stima dei costi diretti viene effettuata applicando il modello idrologico LISFLOOD (Feyen & Dankers, 2009). Questo quantifica anzitutto ad alta risoluzione spaziale aggregabile a diversi livelli la variazione in frequenza e intensità degli eventi alluvionali con un periodo di ritorno di 100 anni nei prossimi 50 anni. Ciò avviene perturbando forzanti del modello con i risultati prodotti da undici diversi modelli climatici regionali nello scenario A1B dell'IPCC. Successivamente i dati delle superfici inondate vengono combinati con proiezioni a livello di NUTS2 di popolazione, e densità di valori economici immobilizzati per stimare una funzione di danno NUTS2-specifica. Per l'Italia si stima un potenziale danno diretto atteso da alluvioni nel 2050, in caso il livello di protezione sia mantenuto ai livelli attuali, di 1,6 miliardi di Euro (2085 milioni di \$). Ciò configurerebbe circa un triplicarsi in 50 anni dei dati stimati dal modello per i danni attuali (circa 534 milioni di Euro). Tra i costi diretti non appaiono comunque i potenziali impatti sulla popolazione in termini di costi per la salute, costi di evacuazione/trasferimento o perdita di ore lavorate. Lo studio inoltre riesce ad isolare i costi dovuti alla sola componente climatica. Degli 1,6 miliardi di Euro, circa 1/3 (550 milioni di Euro) derivano dalle mutate condizioni climatiche, il resto è da imputarsi alle dinamiche di crescita economica che arricchisce la dotazione infrastrutturale e abitativa delle aree esposte. Questo dato ribadisce, come anticipato, che, ammesso sia possibile attribuire correttamente ai cambiamenti climatici la variazione dei costi del dissesto idrogeologico, la maggior parte di questi derivi da vulnerabilità comunque preesistenti (vedi casella di approfondimento).

<sup>375</sup> CLIMWATADAPT: Climate Adaptation modelling water scenarios and sectoral impacts, [http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/climate\\_adaptation/climwatadapt\\_report&vm=detailed&sb=Title](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/climate_adaptation/climwatadapt_report&vm=detailed&sb=Title).

Il tender propone infine una valutazione dell'impatto indiretto sul PIL, che misura invece gli effetti indotti sulla capacità produttiva dell'Italia dagli eventi alluvionali. Questi considerano una temporanea minor produttività del capitale fisico, dei terreni agricoli e della forza lavoro. L'impatto, seppur più contenuto, rimane comunque rilevante in termini assoluti, ammontando, nel 2050, ad un totale di 457 milioni di Euro, 155 dei quali imputabili ai cambiamenti climatici.

Data la scarsa evidenza quantitativa, risulta allo stato azzardata qualsiasi ipotesi di analisi costi-benefici. Tuttavia, utilizzando i dati del modello LISFLOOD, se l'andamento dei danni fosse lineare dal 2012 al 2050, partendo da un valore conservativo al ribasso di 500 milioni di Euro per raggiungere gli 1,6 miliardi nel 2050, il loro valore cumulato, non scontato, nel periodo sarebbe di circa 40 miliardi di Euro. Questa cifra è molto vicina al fabbisogno necessario per la realizzazione degli interventi per la sistemazione complessiva delle situazioni di dissesto sull'intero territorio nazionale (dati desunti da PAI, piani straordinari e piani decennali), che ammonta a complessi 44 miliardi di Euro (27 per il Centro-Nord, 13 per il Mezzogiorno e 4 per il settore del patrimonio costiero). In altre parole, la prevenzione dei soli episodi alluvionali porterebbe dei benefici di un ordine di grandezza comparabile con i costi<sup>376</sup>.

---

<sup>376</sup> Vista l'aleatorietà delle stime al momento disponibili si prescinde volutamente da qualsiasi complicazione relativa a tassi di attualizzazione delle spese future e alle diverse dinamiche temporali degli interventi di prevenzione e dei danni attesi. Si ipotizza inoltre che i 44 miliardi di Euro, una volta spesi, portino a zero il danno atteso da dissesto idrogeologico. Vengono altresì considerati come mera voce di spesa e quindi come un'uscita, trascurando tutti i potenziali benefici occupazionali e sull'indotto tipici dei grandi programmi di investimento.

### **Dissesto idrogeologico ad Ancona: Il progetto LIFE ACT**

Il recente progetto LIFE ACT – Adapting to Climate Change in Time (n. Life08), (Capriolo et al., 2011a,b,c) propone una stima dei costi di messa in sicurezza del territorio comunale di Ancona in uno scenario di cambiamento climatico, da qui al 2100, contro il dissesto idrogeologico rappresentato da fenomeni franosi superficiali e profondi di tipo lento.

La superficie antropizzata attualmente in frana corrisponde a circa il 2.5% del territorio comunale (2.5 milioni di mq). Tale dato è stato ricavato intersecando le frane, desunte dal progetto IFFI, con il territorio urbanizzato (continuo e discontinuo) mappato secondo il database *Corine Land Cover*. Il costo medio di ripristino e messa in sicurezza è stimato in un minimo di 50 e un massimo di 70 Euro per mq per un totale di 125-175 milioni di Euro al 2011. Queste stime sono state desunte da un ampio ventaglio di interventi necessari, dalla pulizia della vegetazione, al drenaggio e raccolta acque, alla protezione antierosiva, alle opere di rinaturalizzazione.

Lo scenario futuro ipotizza un aumento della superficie antropizzata in frana da qui al 2100 di 0,5 Km<sup>2</sup> aggiuntivi di territorio. Tale incremento è dovuto alla forzante climatica in quanto le frane sono quelle imputabili ad probabile aumento di precipitazione del 10% al 2100. La spesa aggiuntiva oscilla quindi tra un minimo di 25 e un massimo di 35 milioni di Euro al 2100. Anche questo studio evidenzia quindi come la parte di spesa imputabile alla forzante climatica costituisca solo 1/5 dei costi totali di messa in sicurezza.

## **Cambiamenti climatici, turismo e adattamento in Italia: elementi per una valutazione economica**

Gli impatti economici dei cambiamenti climatici sul turismo sono stati oggetto di una serie di studi sviluppati in diversi progetti europei del 6PQ e 7PQ per la ricerca europea, alcuni dei quali presentano i risultati con dettaglio per l'Italia.

Il già citato progetto SESAME<sup>377</sup> presenta una valutazione degli impatti sul turismo derivante dalla potenziale perdita di attrattiva conseguente il deterioramento degli ecosistemi marini. La rilevanza del fattore “buono stato di ecosistemi/biodiversità marini” nell’influenzare le scelte turistiche viene stimato attraverso un modello econometrico a partire da un database relativo a 207 paesi (Onofri e Nunes, 2013). Tale modello evidenzia la significatività della variabile “biodiversità” nell’attrarre il segmento dei turisti internazionali. Legando poi le elasticità della domanda turistica stimata alla potenziale perdita di biodiversità nel futuro in uno scenario di inazione, lo studio conclude che nel

---

<sup>377</sup> SESAME: Southern European Seas: Assessing and Modelling Ecosystem changes  
[http://www.clamer.eu/index.php?option=com\\_clamerprojects&ProjectId=73](http://www.clamer.eu/index.php?option=com_clamerprojects&ProjectId=73).

caso dell'Italia al 2030 la contrazione di domanda turistica derivante perdita di biodiversità potrebbe essere pari all'1,65%.

Anche il progetto CIRCE<sup>378</sup> propone uno studio sugli impatti macroeconomici dei cambiamenti climatici sull'attività turistica nel Mediterraneo (Bosello & Shechter, 2013). Lo scenario di riferimento è sempre l'A1B dell'IPCC, l'analisi è svolta fino al 2050. A differenza di SESAME, la quantificazione degli impatti sul turismo non deriva da stime econometriche, ma dall'applicazione di un modello dei flussi turistici mondiali, HTM (Hamburg Tourism Model, Bigano et al., 2007 a, b). Questo inoltre non si limita agli aspetti legati alla biodiversità, ma riassume l'influenza di tutti gli stressor climatici usando un unico predittore: i differenziali regionali di temperatura. In Italia, l'incremento di temperatura atteso dovrebbe ridurre "l'attrattiva climatica" con conseguente contrazione dei flussi in entrata pari nel 2050 a quasi il 15%. Questa è parzialmente controbilanciata da maggiore domanda di turismo domestico con un impatto netto negativo sul settore dell'8,9%. Le implicazioni negative per il PIL del paese, misurate con la solita tecnica CGE, si quantificano in uno -0.25% nel 2050.

Gli impatti dei cambiamenti climatici sul turismo in Italia sono infine parte dell'analisi effettuata dal tender DG CLIMA EUADAPTSTRAT (McCallum et al., 2013). Ancora una volta gli impatti diretti sul turismo (variazione degli arrivi e della spesa turistica derivanti da cambiamenti nell'attrattiva climatica) vengono quantificati dal modello HTM; gli scenari climatici di riferimento sono un aumento di 2°C e di 4°C rispetto al 2000, mentre il contesto economico riferito al 2050 (proiezioni dei tassi di crescita del PIL e popolazione per le economie europee) è calibrato sui dati proposti dall'Ageing report 2012 (EC, 2012). L'impatto sui flussi turistici in entrata nel caso di 2°C coincide con quello di CIRCE, -15%. Nel caso di 4°C raggiunge il -21.6%. Rispetto a CIRCE, HTM propone però un diverso calcolo delle reazioni della domanda turistica domestica per cui, alla fine, l'impatto netto sulla domanda totale risulta essere -6.6% e -8.9% nel 2050. Quantificato in perdite dirette per il settore, questo viene tradotto in 17 e 52 miliardi di Euro nei due scenari climatici rispettivamente. Le conseguenti perdite in termini di PIL vengono poi quantificate attraverso analisi CGE in un -0.35% e -1.05% sempre nel 2050 a seconda dello scenario climatico<sup>379</sup>.

---

<sup>378</sup> CIRCE: Climate Change Impact Research: The Mediterranean Environment, <http://www.circeproject.eu/>.

<sup>379</sup> Confrontando l'analisi EUADAPTSTRAT con quella CIRCE si può notare come impatti diretti sulla domanda turistica addirittura più bassi, possano tradursi in impatti sul PIL più elevati. Questo dipende dalle diverse ipotesi adottate per il contesto macro-economico. E' ovvio ad esempio che un maggior o minor contributo del settore turistico alla produzione di valore aggiunto nazionale si traduce in una maggior o minor vulnerabilità dell'intero sistema economico agli impatti sul turismo. Altrettanto importanti sono le ipotesi sulla dotazione iniziale di fattori produttivi per settore e dei flussi internazionali di domanda di beni e servizi tra settori che determinano come ciascuno di essi reagisca a determinate perturbazioni dell'equilibrio iniziale.

## Conclusioni

Il dato principale che emerge dall'analisi delle stime economiche disponibili riguardanti l'adattamento in Italia è la sostanziale carenza di un *corpus* informativo organico che consenta di sviluppare una precisa valutazione dei benefici e soprattutto dei costi associati. Gli studi in materia sono condotti con diverse metodologie, si riferiscono spesso a scenari socio-economici di riferimento differenti e hanno scale di indagine diverse.

Una delle principali lacune da colmare è proprio quella di riconciliare e rendere confrontabili i risultati condotti a livello aggregato di paese, con gli studi di carattere più regionale o locale.

Gli unici due studi che tentano un'analisi complessiva degli impatti sul PIL italiano dei cambiamenti climatici sono Carraro (2009) e McCallum et al. (2013). Il primo si riferisce ancora alle ricerche condotte nell'ambito della Conferenza Nazionale sul Clima del 2007. La ricerca, che si basa sulla modellistica CGE dimostra che anche in uno scenario di minimo aumento della temperatura, circa 0,93°C rispetto al 2001, la perdita indotta dai cambiamenti climatici potrebbe essere compresa tra lo 0,12% e lo 0,16% del PIL nel 2050 (usando ad esempio il PIL dell'Italia nel 2009 come riferimento ciò ammonterebbe a circa 2.5 miliardi di Euro di mancata produzione di beni e servizi). La perdita economica potrebbe arrivare fino allo 0,2% del PIL se la variazione di temperatura fosse di +1,2 °C. Gli impatti aumentano in modo esponenziale nella seconda metà del secolo, con una riduzione del PIL nel 2100 sei volte più grande che nel 2050 nonostante si ipotizzi un aumento lineare della temperatura. Questi dati (sostanzialmente confermati in McCallum et al., 2013) devono essere interpretati con cautela. L'approccio valutativo utilizzato considera solo marginalmente gli eventi estremi e non cattura né gli eventi catastrofici né le dimensioni più sociali degli impatti (quelle ad esempio legati al deterioramento della salute, all'incremento di mortalità, ad eventuali spostamenti forzati delle popolazioni dalle zone a rischio dissesto idrogeologico ecc.). Si basa poi sul PIL come indicatore economico di impatto. Questo tra le sue molte limitazioni come indicatore di benessere, annovera anche quella di non rilevare le perdite di "stock" come ad esempio quelle relative ai valori fondiari, e quella di non rappresentare adeguatamente la dimensione ambientale ed ecologica. Lo stesso studio (Carraro 2009) ad esempio evidenzia come se il danno anziché in termini di PIL venisse misurato in termini di conseguenze sulle possibilità di consumo delle famiglie, la perdita sarebbe molto più considerevole, nell'ordine di 20-30 miliardi di Euro. I numeri evidenziati vanno quindi considerati come stime altamente per difetto dei danni potenziali.

Ritornando alle valutazioni per settore, e tentando comunque di riassumere la grande eterogeneità di risultati, sembrerebbe che le perdite economiche più rilevanti derivanti dagli impatti climatici si materializzino nel settore turistico (17 e 52 miliardi di Euro di perdita diretta nel 2050 per scenari climatici rispettivamente di +2°C e +4°C rispetto al 2000). Anche questo dato necessita però di corretta interpretazione. L'alto ammontare dei costi diretti, e sul PIL complessivo è infatti determinato dall'elevata importanza che questo settore ha nella produzione di valore aggiunto nel nostro paese. Dipende inoltre da elementi altamente aleatori e di difficile determinazione come il

comportamento futuro del turista tipo. Danni diretti elevati vengono evidenziati inoltre nel settore agricolo, (fino a 13 e 30 miliardi di Euro nel solo 2050 per un aumento di temperatura rispettivamente di 2°C e 4°C rispetto al 2000) seguiti, ma a distanza, da quelli relativi ai fenomeni di dissesto idrogeologico (circa 550 milioni di Euro annui nel 2050 associati per la precisione a fenomeni alluvionali derivanti dalla sola forzante climatica per uno scenario di aumento di circa 1°C rispetto al 2000). Anche quest'ultimo dato va interpretato con cautela. Da un lato infatti risulta molto difficile attribuire correttamente le componenti di costo al danno diretto o alle spese di adattamento; dall'altro individuare la componente di costo dovuta alla sola forzante climatica, è molto complesso. Inoltre, come più volte evidenziato, aspetti come interruzione di servizi essenziali, costi di trasferimento delle popolazioni colpite e ovviamente impatti sulla salute hanno componenti non monetarie e sociali di difficile determinazione. Nonostante e indipendentemente dall'incertezza e variabilità delle stime, un elemento comunque comune a numerosi studi riportati, è quello di evidenziare un rapporto positivo tra benefici e costi dell'adattamento. Ciò, in diversi ambiti (protezione costiera, difesa del territorio) e a diverse scale di intervento.

## Bibliografia

BEACHMED (2004). Terzo quaderno tecnico: fase C, Ediguida s.r.l., Novembre 2004.

Berti, D., Blumetti, A.M., Brustia, E., Calcaterra, S., Chiarolla, D., Comerci, V., Dessì, B., Gambino, P., Guerrieri, L., Iadanza, C., Lucarini, M., Mazzotta, S., Nisio, F., Triglia, A., Vittori, E., Vizzini, G. (2012). Pericolosità di origine naturale, in: *Annuario Dati Ambientali Edizione 2011*.

Bigano, A., Hamilton, J.M & Tol, R.S.J. (2007a). The Impact of Climate Change on Domestic and International Tourism: A Simulation Study, *Integrated Assessment Journal*, 7, 25-49.

Bigano, A., Hamilton, J.M. & R.S.J.Tol (2007b). Nuove mete per il clima di domani (New destinations for tomorrow's climate), *La Rivista Del Turismo, Touring Club Italiano, Anno IX, N°3 Milano, Milan, Italy*.

Bosello, F., Eboli, F. e Parrado, R. (2010). Application of the GTAP model to South Eastern Seas: Final Results, Deliverable 7.4.2. of the FP6 SESAME Project (Contract No 036949).

Bosello, F. & Shechter, M. (2013). Integrated socio economic assessment. In: Navarra, A., Tubiana, L. (eds.) *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean Vol 2*, Springer, Dordrecht.

Bosello, F., Nicholls, R.J., Richards, J., Roson R., & Tol, R.S.J. (2012). Economic impacts of climate change in Europe: sea-level rise, *Climatic Change*, 112, 63–81. Doi: 10.1007/s10584-011-0340-1

Capriolo, A., Giordano, F., Mascolo, R.A., & Spizzichino, D. (2011a). Climate change and disaster risk reduction through adaptation plans and policies: the ACT (Adapting to Climate change in Time) project approach. *Geophysical Research Abstracts Vol. 13, EGU2011-11928, 2011 EGU General Assembly 2011* © Author(s) 2011.

Capriolo, A., Giordano, F., Mascolo, R.A., & Spizzichino, D. (2011b). Climate change and adaptation policies in the euro Mediterranean area: proposed strategies in the life act (Adapting to Climate change in Time) PROJECT. In: *Le modificazioni climatiche e i rischi naturali*. Polemio M. (Ed.), ISBN 9788890508806, CNR IRPI, Bari 2011. pp. 173-176.

Capriolo, A., Giordano, F., Mascolo, R.A., & Spizzichino, D. (2011c). The Impacts of Climate Change in Patras, Bullas and Ancona, Life Project ACT - Adapting to Climate Change in Time n. LIFE08 , Rapporto tecnico Anno 2011 N. 6.

Carraro C. (a cura di) (2009). *Cambiamenti climatici e adattamento in Italia*. Il Mulino, Bologna.

Cheung WWL, Lam VWY, D. Pauly (2008). Dynamic bioclimate envelope model to predict climate-induced changes in distribution of marine fishes and invertebrates. In: *Modelling Present and Climate-Shifted Distributions of Marine Fishes and Invertebrates*. Fisheries Centre Research Reports 16(3) (eds Cheung WWL, Lam VWY, Pauly D), pp. 5–50. University of British Columbia, Vancouver.

Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogee, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, C., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A. D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, C., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J. M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J. F., Sanz, M. J., Schulze, E. D., Vesala, T. & Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 529-533, doi:10.1038/nature03972.

Ciscar, J.C., Iglesias, A., Feyen, L., Goodess, C.M., Szabó, L., Christensen, O.B., Nicholls, R., Amelung, B., Watkiss, P., Bosello, F., Dankers, R., Garrote, L., Hunt, A., Horrocks, L., Moneo, M., Moreno, A., Pye, S., Quiroga, S., van Regemorter, D., Richards, J., Roson, R., Soria, A. (2009). Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project. Joint Research Centre – Institute for Prospective Technological Studies, Luxembourg.

COPACOGECA (2003). Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agriculture and forestry. General Committee for Agricultural Cooperation in the European Union, Brussels.

EC (2012). The 2012 Ageing Report. Economic and budgetary projections for the 27 EU member states (2010-2060), Joint Report prepared by the European Commission (DG ECFIN) and the Economic Policy Committee (AWG). European/Economy 2.2012.

Feyen, L. & Dankers, R. (2009). Impact of global warming on streamflow drought in Europe. *Journal of Geophysical Research*, 114 (D17116), doi:10.1029/2008JD011438.

Gambarelli, G. & Goria, A. (2004). Economic evaluation of climate change impacts and adaptation in Italy, FEEM Note di Lavoro 103.04.

ISPRA (2012). Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo – ReNDiS. Ispra: Annuario dati Ambientali 2011, Ispra 2012. Disponibile su [Isprambiente.it: www.rendis.isprambiente.it](http://www.rendis.isprambiente.it).

ISPRA (2007). Annuario dei dati ambientali 2007. Disponibile su [Isprambiente.it: http://annuario.isprambiente.it/content/indice?v=5](http://annuario.isprambiente.it/content/indice?v=5).

ISPRA (2008). Annuario dei dati ambientali 2008. Disponibile su [Isprambiente.it: http://annuario.isprambiente.it/content/indice?v=6](http://annuario.isprambiente.it/content/indice?v=6).

Legambiente, Protezione Civile Nazionale (2010). Ecosistema rischio 2010: monitoraggio sulle attività delle amministrazioni comunali per la mitigazione del rischio idrogeologico, indagine realizzata nell'ambito di "OPERAZIONE FIUMI 2010" campagna nazionale di monitoraggio, prevenzione e informazione per l'adattamento ai mutamenti climatici e la mitigazione del rischio idrogeologico di Legambiente e del Dipartimento della Protezione Civile.

McCallum, S., Dworak, T., Prutsch, A., Kent, N., Mysiak, J., Bosello, F., Klostermann, J., Dlugolecki, A., Williams, E., König, M., Leitner, M., Miller, K., Harley, M., Smithers, R., Berglund, M., Glas, N., Romanovska, L., van de Sandt, K., Bachschmidt, R., Völler, S., Horrocks, L. (2013). Support to the development of the EU Strategy for Adaptation to Climate Change: Background report to the Impact Assessment, Part I – Problem definition, policy context and assessment of policy options. Environment Agency Austria, Vienna.

McFadden, L., Nicholls, R.J., Vafeidis, A.T., Tol, R.S.J. (2007). A methodology for modelling coastal space for global assessments, *Journal of Coastal Research* 23(4), 911–920.

Onofri, L. & Nunes, P.A.L.D. (2013). Beach 'lovers' and 'greens': A worldwide empirical analysis of coastal tourism, *Ecological Economics* DOI:10.1016/j.ecolecon.2013.01.003

Rogelj, J., Meinshausen, M. & Knutti, R. (2012). Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates, *Nature Climate Change* 2, 248–253. doi:10.1038/nclimate1385

Vafeidis, A.T., Nicholls, R.J., McFadden, L., Tol, R.S.J., Spencer, T., Grashoff, P.S., Boot, G., Klein, R.J.T. (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research* 24(4), 917–92.

Van Passel, S., Massetti, E., Mendelsohn R. (2013). A Ricardian analysis of the impact of climate change on the European agriculture, FEEM Note di Lavoro 83.2012.