



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

ALLEGATO III IMPATTI E VULNERABILITÀ SETTORIALI

Giugno 2018

INDICE

1. Impatti e vulnerabilità Settoriali.....	11
ACQUA	11
Risorse idriche.....	11
Ambienti marini: biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici	34
Ecosistemi e biodiversità in acque interne e di transizione	48
Zone costiere.....	66
TERRA.....	76
Dissesto geologico, idrologico e idraulico.....	76
Desertificazione, degrado del territorio e siccità	90
Ecosistemi terrestri.....	118
Foreste.....	127
UOMO (ATTIVITÀ ANTROPICHE)	156
Agricoltura e produzione alimentare.....	156
Pesca marittima	188
Acquacoltura.....	199
Turismo.....	213
Insediamenti urbani.....	228
Infrastruttura critica – Trasporti.....	251
Infrastruttura critica – Industrie e infrastrutture pericolose.....	277
Infrastruttura critica – Patrimonio culturale	289
Energia.....	301
Salute.....	316
Riferimenti Bibliografici.....	339

Indice delle Figure

Figura 1-1: (A) Acqua emessa dalle reti di distribuzione idropotabile nel 2012; (B) Percentuale delle dispersioni del volume immesso ed emesso dalle reti di distribuzione; (C) Utilizzo di acque irrigue nell'annata agricola 2009-2010.	14
Figura 1-2: Confronto tra i distretti idrografici e i cluster delle anomalie climatiche secondo lo scenario RCP4.5 (sinistra) e RCP8.5 (destra).	20
Figura 1-3: Confronto tra i distretti idrografici e i cluster delle anomalie climatiche secondo lo scenario RCP4.5.	20
Figura 1-4: Confronto tra i distretti idrografici e i cluster delle anomalie climatiche secondo lo scenario RCP8.5.	21
Figura 1-5: Portate medie annue per distretto idrografico, scenario climatico (RCP 2.6, 4.5, 8.5) e periodo di riferimento (2020, 2050, 2080).	22
Figura 1-6: Portate medie mensili per distretto idrografico, scenario climatico (RCP 2.6, 4.5, 8.5) e periodo di riferimento (2020, 2050, 2080).	24
Figura 1-7: Schema semplificato delle interazioni tra cambiamenti climatici e cambiamenti negli ecosistemi marini.....	35
Figura 1-8: Legislazione internazionale, europea e inglese relativa alla tutela dell'ambiente marino.....	45
Figura 1-9: Mappa generica della protezione ambientale.....	46
Figura 1-10: Lagune dell'alto Adriatico.	56
Figura 1-11: Lagune del basso Adriatico, dello Ionio e del Tirreno.	58
Figura 1-12: Principali lagune della Sardegna.	60
Figura 1-13: Lagune della Sicilia.....	61
Figura 1-14: Trend nel numero percentuale di eventi estremi di precipitazione (emisfero nord).	78
Figura 1-15: Mappa delle aree sensibili alla desertificazione individuate in base all'ESA Index (ESAI).	92
Figura 1-16: Superficie delle aree forestali, agricole e pastorali nelle macroregioni climatiche.	93
Figura 1-17: Mappa della media e della deviazione standard (2000-2015) dell'indice di produttività valutato in base alla distribuzione cumulata dei valori medi dell'indice nelle aree forestali, agricole, e pastorali (fonte: Sciortino et al., 2016).....	95
Figura 1-18: Indice medio (2000-2015) normalizzato della produttività media delle zone agricole, forestali e pastorali..	95
Figura 1-19: Mappa dei trend dell'indice di produttività annuo (2000-2015) con livello di significatività 95%.....	96
Figura 1-20: Trend negativi delle zone agricole e forestali per macroregione climatica, in percentuale rispetto alle rispettive superficie totali interessate da trend.	98
Figura 1-21: Contenuto di CO nell'orizzonte superficiale dei suoli Italiani.	100
Figura 1-22: Mappe dell'Indice di Aridità per il periodo 1981-2010 ottenuto applicando le formule di Thornthwaite e Hargreaves sui dati e-OBS e disaggregazione dell'indice di aridità nelle sei zone climatiche dei dati ottenuti con la formula di Hargreaves.....	103
Figura 1-23: Anomalia dell'indice di Aridità per gli anni (2021-2050) rispetto alla situazione attuale (1981-2010) applicando le equazioni di Hargreaves e Thornthwaite sui dati di temperatura e precipitazione dello scenario RCP4.5..	104
Figura 1-24: Anomalie percentuali dell'Indice di Aridità nelle zone climatiche secondo la formula	

di Hargreaves per lo scenario RCP4.5.	105
Figura 1-25: Indice di siccità (SPI), anomalie severa ed estrema della durata di 3 mesi in riferimento allo scenario RCP4.5.	107
Figura 1-26: Frequenza delle anomalie del numero di eventi di siccità estrema per 3 mesi (SPI3) in riferimento allo scenario RCP4.5 nelle macroregioni climatiche.....	108
Figura 1-27: Anomalie dell'indice di siccità (SPI) per 12, mesi in riferimento allo scenario RCP4.5.....	109
Figura 1-28: Frequenza delle anomalie del numero di eventi di siccità estrema per 12 mesi (SPI12) in riferimento allo scenario RCP4.5 nelle macroregioni climatiche.....	110
Figura 1-29: Distribuzione della superficie forestale in Italia (Bosco in verde scuro e Altre terre boscate in verde chiaro).....	128
Figura 1-30: A sinistra, numero di incendi per km ² ; al centro, percentuale di area bruciata sul territorio regionale; a destra, percentuale di area boscata bruciata su territori boscati e ambienti semi-naturali	131
Figura 1-31 Distribuzione potenziale delle principali formazioni forestali al 2050 rispetto alla distribuzione attuale (JRC, 2001), secondo i due scenari RCP 4.5 e 8.5 (IPCC, 2013) e sulla base delle proiezioni delle anomalie climatiche dei principali indicatori individuati nel paragrafo 1.1.1 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, degli indici di aridità di Thornwhite e Hargreaves (sviluppati nel capitolo Desertificazione) e dei parametrici topografici e loro elaborazioni (altitudine, latitudine, pendenza).....	134
Figura 1-32. Distribuzione a livello nazionale delle superfici caratterizzate da condizioni potenzialmente ideali ospitare più specie forestali (da nessuna a nove specie) al 2050 rispetto alla distribuzione attuale, secondo i due scenari RCP 4.5 e 8.5 (IPCC, 2013) e sulla base delle proiezioni delle anomalie climatiche dei principali indicatori individuati nel paragrafo 1.1.1 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, degli indici di aridità di Thornwhite e Hargreaves (sviluppati nel capitolo Desertificazione) e dei parametrici topografici.	141
Figura 1-33: Distribuzione delle superfici in grado di ospitare più specie contemporaneamente per macroregioni climatiche.	142
Figura 1-34: Differenza fra il valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 2021-2050 rispetto allo stesso valore per il periodo di riferimento 1981-2010, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione, per lo scenario RCP4.5.	144
Figura 1-35: Differenza fra il valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 2021-2050 rispetto allo stesso valore per il periodo di riferimento 1981-2010, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione, per lo scenario RCP8.5.....	145
Figura 1-36: Percentuale di SAU per Regione rispetto alla superficie del territorio.	158
Figura 1-37: Superficie a cereali per comune (% su superficie a seminativi) a sinistra e superfici a coltivazioni legnose agrarie per comune (% su SAU) a destra.	159
Figura 1-38: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro (sinistra), frumento tenero (centro) e mais (destra) in Italia per il 2021-2050 con lo scenario RCP 4.5 e il modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione.	162
Figura 1-39: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro (sinistra), frumento tenero (centro) e mais (destra) in Italia per il 2021-2050 con lo scenario RCP 8.5 e il modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione.	163
Figura 1-40: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8	

km di risoluzione.....	163
Figura 1-41: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento tenero per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione.....	164
Figura 1-42: Proiezioni di variazione (%) di resa per mais per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione	164
Figura 1-43: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione.....	165
Figura 1-44: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento tenero per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione.....	165
Figura 1-45: Proiezioni di variazione (%) di resa per il mais per le 6 zone climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione.....	166
Figura 1-46: Proiezioni di variazione della richiesta irrigua del pomodoro in diverse aree studio italiane secondo il modello COSMO-CLM, scenario RCP 8.5, 14 km.	168
Figura 1-47: Mappa di vocazionalità territoriale per i pascoli per il periodo storico (1905-2000) (A) e per due periodi futuri centrati al 2050 (B, D) e al 2080 (C, E) con gli scenari A2 e B2, modello climatico HadCM3.....	170
Figura 1-48: Proiezioni di variazioni della richiesta irrigua per l'olivo in diverse aree studio italiane, secondo il modello COSMO-CLM, scenario RCP 8.5, 14 km.	171
Figura 1-49: Proiezioni di variazioni medie dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP 4.5 (sinistra) e RCP 8.5 (destra), con il modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione.	174
Figura 1-50: Proiezioni di variazioni stagionali dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione. DJF = mesi invernali; MAM = mesi primaverili; JJA = mesi estivi; SON = mesi autunnali	176
Figura 1-51: Proiezioni di variazioni stagionali dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione. DJF = mesi invernali; MAM = mesi primaverili; JJA = mesi estivi; SON = mesi autunnali	177
Figura 1-52: Proiezioni di variazioni dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP4.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione	178
Figura 1-53: Proiezioni di variazioni dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP8.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione	178
Figura 1-54: Proiezioni di variazioni per la stagione estiva (JJA) dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP4.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione.	179
Figura 1-55: Proiezioni di variazioni per la stagione estiva (JJA) dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP8.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione	179
Figura 1-56: Distribuzione degli impianti di piscicoltura e volume delle produzioni per Regione. Elaborazione ISPRA su dati MiPAAF/Unimar.....	Errore. Il segnalibro non è de 202
Figura 1-57: Distribuzione degli impianti di molluschicoltura e volume delle produzioni per	

Regione. Elaborazione ISPRA su dati MiPAAF/Unimar.	203
Figura 1-58: Analisi della vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi produttivi in acquacoltura.	207
Figura 1-59: Dinamica dei flussi e della redditività di alcuni prodotti turistici al 2020 in Italia (pannello sinistro) e in Europa (pannello destro). Sull'asse delle ordinate (Y) sono riportati i tassi di variazione dei flussi turistici, mentre sull'asse delle ascisse (X) i tassi di variazione della redditività.	216
Figura 1-60: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici internazionali (pannello sinistro) e totali (pannello destro) nelle province costiere italiane in presenza di cambiamenti climatici....	219
Figura 1-61: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici totali nelle macroregioni considerate in Figura 1-60.	220
Figura 1-62: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici internazionali nelle macroregioni considerate in Figura 1-60.	221
Figura 1-63: Variazione nelle presenze turistiche in [%] (2035-2065 vs. baseline) in regioni europee a vocazione turistica balneare nel caso di solo adattamento della domanda tramite cambio di periodo e destinazione (sx), e nel caso di presenza di adattamento dell'offerta (dx).....	223
Figura 1-64: Variazione nelle presenze turistiche in [%] (2035-2065 vs. baseline) in regioni europee a vocazione turistica montana. Presenze estive (sx) e presenze annuali (dx).....	225
Figura 1-65: Distribuzione della popolazione in aree con densità di urbanizzazione media e alta e macroregioni climatiche.....	231
Figura 1-66: Macroregioni, anomalie climatiche e popolazione residente nelle province italiane. Zonazione climatica sul periodo di riferimento (sopra); zonazione delle anomalie climatiche nello scenario RCP4.5, (sx. sotto); zonazione delle anomalie climatiche nello scenario RCP8.5, (dx. sotto).	233
Figura 1-67: Stima del consumo del suolo nel 2015 nelle regioni Italiane e macroregioni. Percentuale dell'area impermeabilizzata (sx.); variazioni percentuali impermeabilizzazione dal 2012 al 2015 (dx.).	240
Figura 1-68: Aree metropolitane e macroregioni climatiche.	240
Figura 1-69: Percentuali di impermeabilizzazione del suolo nei centri urbani, 2006.....	241
Figura 1-70: Esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici anni 2013-2014.	244
Figura 1-71: Dispersione idrica nel 2012 (differenza percentuale tra volume di acqua immessa in rete ed erogata) e macroregioni climatiche.....	246
Figura 1-73: I passi dell'Urban Adaptation Support Tool.....	248
Figura 1-74: Principali contenuti della piattaforma Climate-adapt.....	249
Figura 1-75: I diversi livelli di intervento per il Piano di adattamento del Comune di Bologna.	251
Figura 1-76: Vita utile degli asset.	254
Figura 1-77: Aspetti dei trasporti potenzialmente sensibili ai cambiamenti climatici.....	258
Figura 1-78: Ruolo dei trasporti nelle strategie (NAS) e piani (NAP) nazionali	259
Figura 1-79: La rete TEN-T.....	271
Figura 1-80: Numero di disastri naturali verificatisi in Europa nel periodo 1980-2011.....	278
Figura 1-81: Anomalie medie annue di HDD per il trentennio 2011-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010 (RCP4.5/RCP8.5).	304
Figura 1-82: Anomalie medie annue di CDD per il trentennio 2011-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010 (RCP4.5/RCP8.5)..	306
Figura 1-83: HDD e macroregioni climatiche di riferimento, scenario RCP4.5. Variazione periodo	

2021-2050 rispetto al 1981-2010..	307
Figura 1-84: CDD e macroregioni climatiche di riferimento, scenario RCP4.5. Variazione periodo 2021-2050 rispetto al 1981-2010..	308
Figura 1-85: Localizzazione degli impianti termoelettrici e anomalia prevista per la precipitazione cumulata nei mesi estivi (giugno, luglio, agosto).	310
Figura 1-86: Distribuzione a livello provinciale della produzione idroelettrica a fine 2014 e anomalia prevista per la precipitazione cumulata nei mesi invernali (dicembre, gennaio, febbraio).....	311
Figura 1-87: Correlazioni funzionali tra i principali determinanti ambientali e meteo climatici, rischi e danni per salute, benessere e sicurezza della popolazione.	318
Figura 1-88: Effetto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria collocato nel contesto più ampio dell'interazioni chimica-clima.	322
Figura 1-89: Esposizione media della popolazione al PM10.	323
Figura 1-90: Giorni di superamento del valore di ozono per l'obiettivo a lungo termine per la salute della popolazione.	323
Figura 1-91: Statistiche degli eventi di frana e inondazione con vittime 2009-2016.	325
Figura 1-92: a) Pericolosità idraulica e da frana del territorio italiano; b) numero di comuni interessati.....	326
Figura 1-93: Popolazione a rischio frane in aree a pericolosità PAI.	326
Figura 1-94: Unità locali di imprese in aree a pericolosità da frana.	327
Figura 1-95: Aree di circolazione del Virus West Nile nelle regioni italiane.	329
Figura 1-96: Casi clinici di forma neuroinvasiva della malattia virale West Nile.....	329
Figura 1-97: Trend delle irregolarità per micotossine registrate nella vigilanza e controllo alimenti e bevande, per prodotti lattiero-caseari e cereali.....	332
Figura 1-98: Trend delle irregolarità registrate nella vigilanza e controllo alimenti e bevande, per Salmonella e Listeria.	333
Figura 1-99: Numero di casi / anno registrati in Italia e in Europa per campilobatteriosi (2008-2014).	333
Figura 1-100: Numero di casi / anno registrati in Italia e in Europa per salmonellosi (2008-2014).	334
Figura 1-101: Estrapolazione dal sito web ECDC dei casi riportati di E.Coli veritossigeno (2014).	335
Figura 1-102: Presenza/assenza di Ostreopsis sulle coste del Mediterraneo.....	336
Figura 1-103: Distribuzione delle fioriture tossiche in ambienti idrici interni in Italia (1986-2014).	337
Figura 1-104: Variazioni percentuali in nutrienti per coltivazione (con intervallo di confidenza 95%) confrontati in condizioni di CO ₂ elevata e ambientale.	338

Indice delle Tabelle

Tabella 1-1: Indicatori climatici connessi al tema delle risorse idriche. Elaborazione degli autori in base all'elenco degli indicatori dell'Agenzia Ambientale Europea.	15
Tabella 1-2: Combinazione dei modelli climatici globali e regionali per diversi scenari RCP (representative concentration pathways).....	21
Tabella 1-3: Macroregioni climatiche marine.	43
Tabella 1-4: Effetti potenziali dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini italiani.	42
Tabella 1-5: Variazioni climatiche attese e principali probabili effetti sugli ecosistemi lotici.....	51
Tabella 1-6: Variazioni climatiche attese e principali probabili effetti sugli ecosistemi lentici.....	53
Tabella 1-7: Variazioni climatiche attese e principali probabili effetti sugli ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee.	54
Tabella 1-8: Lagune italiane con superficie > 0.5 km ²	55
Tabella 1-9: Valori medi mensili del numero di giorni piovosi e delle precipitazioni piovose nel bacino nord della laguna di Venezia.	57
Tabella 1-10: Riassunto delle informazioni sovrastanti per gli ecosistemi di transizione: foci fluviali e lagune.....	62
Tabella 1-11: "Millennium Ecosystem Assessment", suddivisione dei servizi ecosistemici.	68
Tabella 1-12: I principali servizi ecosistemici svolti dalle zone costiere.	71
Tabella 1-13: I principali servizi culturali svolti dalle zone costiere.....	73
Tabella 1-14: Macroregione 1 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.	80
Tabella 1-15: Macroregione 2 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.	81
Tabella 1-16: Macroregione 3 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.	82
Tabella 1-17: Macroregione 4 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.	82
Tabella 1-18: Macroregione 5 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.	83
Tabella 1-19: Macroregione 6, Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.	83
Tabella 1-20: Superficie massima e minima (km ²) delle aree interessate da trend positivi, negativi dell'indice di produttività nelle zone agricole, forestali e pastorali..	97
Tabella 1-21: Classi di percentuale di superficie delle aree minime (test CMK) interessate da trend positivi, negativi e non significativi dell'indice di produttività nelle macroregioni climatiche.	97
Tabella 1-22: Classificazione delle aree climatiche secondo l'Indice di Aridità in Italia in base ai dati e-OBS (1981-2010).	102
Tabella 1-23: Classificazione dei valori dell'indice SPI.	106
Tabella 1-24: Valori medi e deviazione standard dell'erosione idrica del suolo nelle macroregioni climatiche.....	110
Tabella 1-25: Possibile evoluzione dei processi di degrado nelle macroregioni climatiche in base allo scenario RCP4.5 per le anomalie di aridità e siccità.....	113

Tabella 1-26: Definizione della superficie forestale.	128
Tabella 1-27: Variazione percentuale della distribuzione delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione delle principali formazioni forestali per zone climatiche omogenee al 2050 rispetto alla distribuzione attuale negli scenari RCP 4.5 e 8.5.	129
Tabella 1-28: Valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 1981-2010 e variazione percentuale al 2021-2050, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione, per macroregioni climatiche omogenee negli scenari RCP 4.5 e 8.5.	146
Tabella 1-29: Principali impatti attesi per le 6 macroregioni climatiche per il periodo 2021-2050 con gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.	147
Tabella 1-30: Principali misure attenenti al settore forestale del Piano di Sviluppo Rurale 2014-2020.	151
Tabella 1-31: Contesto normativo per il settore forestale a livello regionale.	153
Tabella 1-32: Obiettivi prioritari nazionali e rispettive Azioni Chiave del Programma Quadro per il Settore Forestale.	154
Tabella 1-33: Principali impatti attesi per le 6 macroregioni climatiche per il periodo 2021-2050 con gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.	180
Tabella 1-34: Dati sintetici su struttura e andamento produttivo ed economico della pesca nel 2004 e 2013.	190
Tabella 1-35: Riepilogo dei prevedibili effetti dei cambiamenti climatici sulle acque mediterranee e sulle loro risorse biologiche.	193
Tabella 1-36: Misure mitigatrici e adattative per la pesca nei confronti di impatti da cambiamenti climatici.	198
Tabella 1-37: Imprese e produzione di acquacoltura in Italia (dati 2014).	201
Tabella 1-38: Sensibilità dei sistemi di molluschicoltura ai fattori biofisici di impatto.	204
Tabella 1-39: Sensibilità dei sistemi di piscicoltura continentale e marina ai fattori biofisici di impatto.	206
Tabella 1-40: Variazioni climatiche attese e probabili effetti sui principali settori produttivi dell'acquacoltura.	209
Tabella 1-41: Principali normative e strategie inerenti lo sviluppo dell'acquacoltura e la protezione degli ambienti di riferimento.	210
Tabella 1-42: Misure previste nel Programma Operativo del FEAMP (Regolamento (UE) n. 508/2014) per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.	212
Tabella 1-43: Quadro riassuntivo dei principali impatti per il settore turistico italiano.	227
Tabella 1-44: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici totali e internazionali nelle province interne italiane in presenza di cambiamenti climatici.	228
Tabella 1-45: Zona 1 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010. ..	234
Tabella 1-46: Zona 2 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010. ..	234
Tabella 1-47: Zona 3 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010. ..	235
Tabella 1-48: Zona 4 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010. ..	235
Tabella 1-49: Zona 5 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010. ..	236
Tabella 1-50: Zona 6 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010. ..	237
Tabella 1-51: Principali stressor climatici e impatti dei cambiamenti climatici sulle città e sui servizi erogati.	238

Tabella 1-52: Tasso di variazione degli indici di temperatura estrema delle serie medie italiane 1961-2012.	242
Tabella 1-53: Valori soglia dei principali inquinanti e principali rischi associati.....	243
Tabella 1-54: Vita utile degli elementi stradali.....	255
Tabella 1-55: Documenti di settore a livello nazionale.....	275
Tabella 1-56: Eventi NaTech accaduti in Italia nel periodo 1991-2014.	284
Tabella 1-57: Fattori di impatto più rilevanti per alcune tipologie di industrie e infrastrutture pericolosi.....	285
Tabella 1-58: Applicazioni e implementazione della Scheda Ambientale (SA) (1999-2009).	299
Tabella 1-59: Quadro riassuntivo dei principali impatti per il settore energetico italiano.....	316

1. IMPATTI E VULNERABILITÀ SETTORIALI

ACQUA

RISORSE IDRICHE

SINTESI

Gran parte degli impatti dei cambiamenti climatici sono riconducibili a modifiche del ciclo idrologico e al conseguente aumento dei rischi che ne derivano. Le risorse idriche sono fondamentali per lo sviluppo sostenibile. La sicurezza idrica è un requisito fondamentale per una crescita equa e sostenibile, per la competitività delle imprese e la tutela dell'ambiente naturale. Questa sezione aggiorna i contenuti presentati nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC), fornendo ove possibile maggiori dettagli rispetto ai possibili impatti del cambiamento climatico in termini di disponibilità delle risorse idriche. Vengono inoltre esaminati i rischi derivanti dal mutamento del ciclo idrico.

La quantità delle risorse idriche rinnovabili in Italia corrisponde a circa 116 miliardi di m³. Non sono disponibili i dati recenti sui volumi di acqua effettivamente utilizzabili, stimati dalla SNAC attorno ai 52 miliardi di m³. I principali settori utilizzatori della risorsa sono l'agricoltura (circa 20 miliardi di m³), l'idropotabile (9,5 miliardi di m³) e l'industria manifatturiera (5,5 miliardi di m³). L'impiego nella produzione di energia non comporta maggiori consumi idrici rispetto alla disponibilità attuale. Si noti tuttavia come il raffreddamento degli impianti termoelettrici utilizzi circa 18,4 miliardi di m³, di cui soltanto l'11,5% da acque interne. Da questo quadro emerge un impiego di oltre il 30% delle risorse rinnovabili disponibili nel nostro paese, ben superiore alla soglia del 20% indicata dall'obiettivo di *un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse* (EC 2011a, b). Di conseguenza l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE) ha classificato l'Italia come un paese soggetto a stress idrico medio-alto. Inoltre, la distribuzione della disponibilità e del fabbisogno della risorsa idrica è caratterizzata da una forte disomogeneità a livello subnazionale.

L'assetto idrico comprende oltre 9.000 corpi naturali – definiti come significativi ai sensi del Decreto Legislativo 152/2006 – e artificiali, composti dai canali di scolo e irrigazione, di lunghezza pari a oltre 180.000 km. I grandi invasi possono regolare un volume di risorsa corrispondente ad oltre 12 miliardi di m³. Il cambiamento climatico potrebbe agire in modo più o meno diretto sulla qualità delle risorse idriche alterandone sia i parametri fisici (es. temperatura, pH, torbidità, stratificazione termica) che chimici (es. concentrazione di nutrienti, sostanza organica, ossigeno disciolto, metalli pesanti) con conseguenze a cascata su caratteristiche biologiche ed ecologiche (es. concentrazione di fitoplancton, composizione e struttura delle comunità).

La valutazione di questi impatti risulta però particolarmente complessa dovendo prendere in considerazione non solo i processi legati agli effetti del cambiamento climatico sul ciclo idrologico, ma anche le numerose interazioni con la componente antropogenica (Carvalho and Kirika 2003; Greig et al. 2011). In particolare, risulta problematico determinare se gli impatti e le alterazioni osservate possano essere direttamente attribuibili al cambiamento climatico o ad altre perturbazioni di tipo antropico che insistono sui corpi d'acqua sia dal punto di vista qualitativo (es. eccessivo rapporto di nutrienti dovuto alle pratiche agricole o a scarichi civili) che quantitativo (es. il prelievo sulle riserve di acqua sotterranee e superficiali a scopi irrigui).

Ciononostante, la determinazione dell'impatto del cambiamento climatico sullo stato qualitativo ed ecologico dei corpi idrici costituisce un aspetto fondamentale nella definizione dei requisiti di qualità ambientale delle acque definiti dalla normativa nazionale ed europea (Direttiva 2000/60/UE o Direttiva Quadro sulle Acque – DQA, Commissione Europea, 2000; D.lgs. 152/2006). In futuro, gli obiettivi di qualità

definiti dagli stati membri potrebbero risultare inadeguati considerando la possibile variazione delle condizioni di riferimento dei corpi idrici indotta dalla forzante climatica (Kernan 2015).

Risultano così preferibili le azioni di adattamento dirette a colmare il gap conoscitivo in termini di disponibilità e qualità dell'acqua su scala nazionale e sub-nazionale, sotto il regime climatico attuale e futuro (breve e medio-lungo periodo), e le riforme dell'assetto governativo tra cui il regime concessionario e dei canoni demaniali relativi all'uso di acqua. Nel prossimo ciclo di pianificazione di tutela e uso delle risorse idriche dei distretti idrografici, i possibili mutamenti del ciclo idrologico dovrebbero basarsi su un *ensemble* di modelli climatici regionali e di simulazioni idrologiche, tenendo conto delle maggiori pressioni antropiche derivanti dai prelievi per gli usi irrigui e potabili, così come delle immissioni puntuali e diffuse degli inquinanti. Gli attuali strumenti di gestione delle crisi idriche dovranno gradualmente trasformarsi in strumenti per una gestione consolidata del rischio in tutti i settori idro-esigenti.

INTRODUZIONE

Considerazioni iniziali

La presente sezione esamina le variazioni quantitative e qualitative delle risorse idriche (RI) provocate dai cambiamenti climatici, ed i rischi associati a tali variazioni per i molteplici utenti e usi dell'acqua. L'analisi considera inoltre l'infrastruttura idrica composta dai corpi idrici naturali e artificiali ai sensi del Decreto Legislativo 152/2006. Nel limitarsi all'analisi della risorsa "acqua", questa sezione completa le sezioni su desertificazione e siccità, rischio idrogeologico, biodiversità ed ecosistemi.

Con riferimento al Rapporto Scientifico della SNAC (Castellari et al. 2014a), il presente contributo si pone come un aggiornamento sulla base degli studi pubblicati negli anni successivi alla redazione della Strategia e un approfondimento degli aspetti chiave ai fini del PNACC. La pubblicazione del Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (IPCC 2014a), e di altri studi importanti, rende doveroso l'aggiornamento dello stato sulle conoscenze relative ai rischi climatici. Inoltre, la realizzazione dei piani di *gestione dei bacini idrografici* e dei piani di *gestione del rischio di alluvioni*, uniti ai recenti sviluppi normativi e gestionali su temi contigui alla gestione delle RI, dimostrano la necessità di specificare e approfondire le azioni volte a favorire l'adattamento ai cambiamenti climatici e alla sicurezza idrica.

La scelta di dedicare un capitolo della SNAC al tema delle RI è un riconoscimento dell'importanza che queste giocano sia in termini di sviluppo sostenibile che nella propagazione degli impatti del riscaldamento globale. Per le stesse ragioni l'IPCC ha dedicato alle risorse d'acqua dolce un intero capitolo (Jiménez Cisneros et al. 2014). Sia nel lavoro dell'IPCC che della SNAC il rischio idrico è considerato in riferimento alle quantità di deflusso e accumulo della risorsa oltre che allo stato ecologico dei corpi idrici. Particolare attenzione è dedicata al tema della *sicurezza idrica* rispetto all'approvvigionamento e alla distribuzione sostenibile, equa e accessibile della risorsa.

Sul versante del rischio, il cambiamento climatico interagisce con il ciclo idrico a scala regionale e globale attraverso molteplici forzanti date dall'aumento della temperatura. Tra esse figurano l'umidità atmosferica, l'evapotraspirazione, la quantità, distribuzione e forma delle precipitazioni e lo scioglimento dei ghiacciai. Tale rischio si manifesta in termini di quantità, distribuzione e forma delle precipitazioni, deflusso e accumulo dell'acqua e umidità del suolo. Sul versante della sicurezza idrica il cambiamento climatico agisce come aggravante delle intrinseche vulnerabilità dei settori idro-esigenti, quali l'idropotabile, l'agricolo e l'energetico. Il processo di adattamento ai cambiamenti climatici di tali settori dipende dalla loro capacità di ridurre il fabbisogno della risorsa, da un suo impiego più efficace ed efficiente, e dall'esplorare fonti idriche alternative, sostenibili e rinnovabili.

Le RI valutate in questo capitolo sono differenziate sulla base delle forme di disponibilità. Si distingue quindi tra acque *blu* contenute nei corpi idrici superficiali e sotterranei (unicamente alle acque dolci); acque *verdi*, responsabili nel determinare l'umidità del suolo; e acque *bianche e grigie*, ossia acque reflue usufruibili a

seguito del loro trattamento e depurazione. Sono inoltre inclusi i ghiacciai come “serbatoi” di accumulo della risorsa, resa in seguito disponibile attraverso il loro scioglimento. Il capitolo non si focalizza invece sulle precipitazioni così come determinate da vapore acqueo e nubi.

Sintesi dell'assetto idrico italiano

Sono stati recentemente pubblicati nuovi dati¹ che aggiornano le statistiche sulla disponibilità e sull'utilizzo dell'acqua in Italia. Secondo le stime dell'Istituto nazionale di statistica (ISTAT 2015), l'afflusso meteorico medio annuo in Italia ammonta a 241 miliardi di m³ nel trentennio 1971-2000. Nello stesso periodo la precipitazione media registrata corrisponde mediamente a circa 800 mm/anno e risulta lievemente aumentata (+1,8%) nell'ultimo decennio (2001-2010). Secondo le stime dell'ISTAT, l'evapotraspirazione reale è di 156 miliardi di m³ pari al 65% delle precipitazioni. Complessivamente confluiscono a mare 116 miliardi di m³ di risorsa idrica, compresi gli apporti provenienti dai territori confinanti all'Italia che sono pari a 30 miliardi di m³. In termini di riserva idrica, la ricarica degli acquiferi ammonta a 55 miliardi di m³. Secondo un recente censimento (Smiraglia and Diolaiuti 2015) l'estensione totale dei ghiacciai è pari a una superficie di 116 miliardi di m³ (368 km²) e rappresenta 18% di tutti i ghiacciai presenti nell'intero arco alpino. Rispetto alle rilevazioni condotte nel periodo 1959-1962, tale superficie risulta ridotta del 30% (159 km²). Un addizionale volume di risorsa disponibile è rappresentato dalle acque reflue recuperate dopo la depurazione. Nel 2014 i carichi di sostanze organiche biodegradabili confluiti in impianti di depurazione delle acque reflue urbane con trattamento secondario e avanzato ammontano a circa 70 milioni di abitanti equivalenti².

I Piani di Gestione dei Bacini Idrografici³ redatti dalle autorità competenti, non disponibili ai tempi di stesura della SNAC, riportano il numero dei corpi idrici e il corrispondente stato ecologico. Complessivamente sono stati individuati 8.600 corpi idrici superficiali, di cui 7.644 fluviali di una lunghezza media pari a 1.236 km; 300 corpi lacustri la cui estensione media è di 7 km²; 181 corpi di acqua di transizione e 489 corpi di acque costiere. Il numero di corpi idrici sotterranei ammonta a 733 con una superficie media di 275 km² (EC 2012a). I corpi idrici superficiali sono classificati in 600 diversi tipi. L'assenza di dati non permette di stimare la percentuale di corpi idrici che ha raggiunto gli obiettivi qualitativi della 2000/60/CE (Direttiva quadro sulle acque - DQA). Le aree naturali protette censite ai fini della DQA superano le 11.000 unità. Le infrastrutture idriche sono costituite dai canali di irrigazione e di scolo. Complessivamente, la rete irrigua si estende fino a 23,2 mila km di cui 13,6 mila km a cielo aperto (Zucaro et al. 2011). Il volume invasabile (autorizzato) dei serbatoi di competenza del Registro delle Grandi Dighe ammonta a 12,1 miliardi di m³. Queste stime comprendono gli sbarramenti che regolano il deflusso dei grandi laghi naturali (ISPRA 2015a). A tali volumi si aggiungono quelli dei piccoli invasi con sbarramenti inferiori o uguali a 15 metri oppure volumi di invaso inferiori o uguali a 1 milione di m³.

Per la prima volta L'ISTAT ha effettuato una stima dell'uso di acqua che include anche gli usi industriale ed energetico (ISTAT 2016a), oltre all'uso civile (ISTAT 2014a) e agricolo (ISTAT 2013) (ISTAT 2014b). Secondo tali stime, risulta che il prelievo di acqua ad uso potabile è in aumento (6,6% rispetto all'inizio della serie storica di 13 anni) e ammonta a 9,5 miliardi di m³. Di questi, circa l'85% proviene da acque sotterranee mentre il 15% da acque superficiali⁴. Solamente 8,4 miliardi di m³ (ovvero 385 litri per abitante al giorno) sono immessi nelle reti comunali di distribuzione dell'acqua potabile (Figura 1-1A). Le dispersioni di rete⁵ (Figura 1-1B) ammontano al 37,4% (in aumento di oltre il 5% rispetto alla precedente indagine svolta nel

¹ Dati resi disponibili dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), e dall'Agenzia Ambientale Europea (EEA).

² Abitante equivalente: corrisponde al carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno (D.Lgs. 152/06 art. 74-Definizioni).

³ Vedi www.direttivaacque.minambiente.it/

⁴ Il dato è riferito all'anno 2012. L'indagine periodica sull'uso di acqua potabile verrà aggiornata alla fine del 2016.

⁵ Le dispersioni sono calcolate come differenza percentuale tra i volumi immessi ed erogati. Le dispersioni non derivano esclusivamente dalle perdite dovute alle rotture nelle condotte. Inoltre sono inclusi anche i consumi non autorizzati e gli errori di misura.

2008) e sono dovute non solo alle perdite derivanti dalle rotture nelle condotte, ma anche dai consumi non autorizzati e dagli errori di misura⁶. Il volume erogato agli utenti corrisponde a 241 litri pro capite (in diminuzione del 5% rispetto al 2008). Escludendo i volumi d'acqua non fatturata, il consumo medio giornaliero si abbassa ulteriormente a 228 litri per abitante.

I settori più idro-esigenti sono quelli della chimica e dei prodotti chimici (681 milioni di m³), affiancati dal settore della gomma e delle materie plastiche (645 milioni di m³). Per il raffreddamento degli impianti termoelettrici sono utilizzati complessivamente 18,4 miliardi di m³ di cui soltanto l'11,5% proviene da acque interne. Da queste sono prelevati ulteriori 75,4 milioni di m³ utilizzati nel processo di produzione degli impianti termoelettrici, per scopi diversi dal raffreddamento. Il fabbisogno di acqua utilizzata nei processi di produzione manifatturiera ammonta a 5,5 miliardi di m³ con l'impiego di 8,8 litri di acqua per ogni euro di produzione. Secondo il 6° Censimento Generale dell'Agricoltura, l'estensione dell'area agricola irrigata ammonta a 24.800 di km², pari a circa il 20% della superficie agricola utilizzata (SAU), (ISTAT 2014b). Nell'annata agricola 2009-2010 i volumi di acqua dedicati all'irrigazione sono stati pari a 11,6 miliardi di m³ (Figura 1-1C). Tra il 2012 e il 2013 la superficie irrigata è aumentata del 23,5% sino a raggiungere i 30.000 km² (ISTAT 2016a).

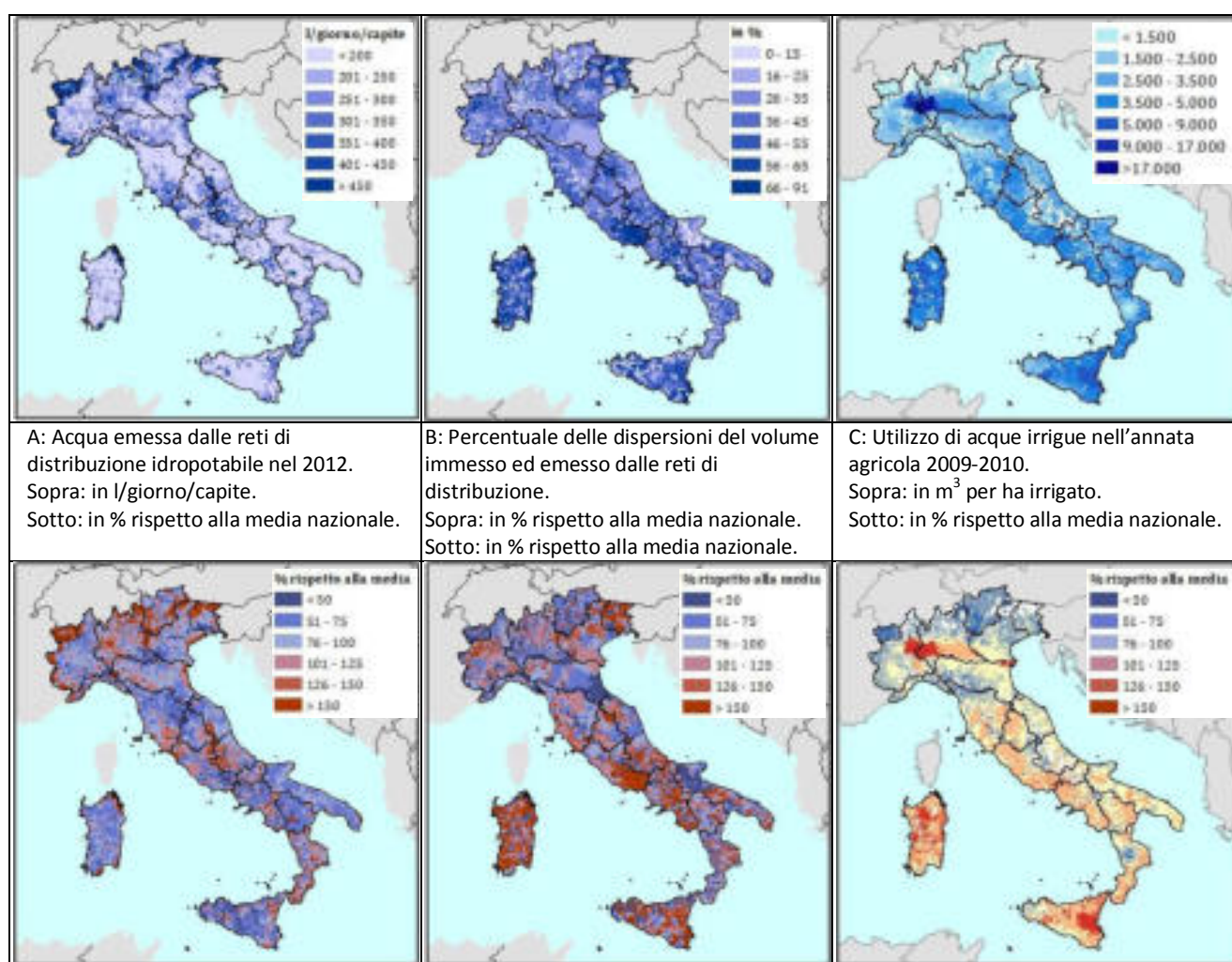


Figura 1-1: (A) Acqua emessa dalle reti di distribuzione idropotabile nel 2012; (B) Percentuale delle dispersioni del volume immesso ed emesso dalle reti di distribuzione; (C) Utilizzo di acque irrigue nell'annata agricola 2009-2010.⁷

⁶ L'ISTAT evidenzia che la maggiore diffusione dei contatori, particolarmente all'utenza finale, ha rilevato criticità precedentemente non individuate.

⁷ Fonte dei dati: A, B – ISTAT, Censimento delle acque per uso civile secondo l'ultimo aggiornamento 2012 (ISTAT 2014a); C – ISTAT, Censimento generale dell'agricoltura 2010 (ISTAT 2013) (ISTAT 2014b). Elaborazione dei dati da parte degli autori.

AGGIORNAMENTO SULLO STATO DELLE CONOSCENZE SCIENTIFICHE SU IMPATTI E VULNERABILITÀ

Aspetti quantitativi

Il Quinto Rapporto del Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (AR5; IPCC, 2014) ha corredato un quadro sullo stato della conoscenza globale e regionale sui fenomeni collegati all'aumento della temperatura e i possibili impatti sulla disponibilità delle RI. In primo luogo, AR5 conferma che il riscaldamento del clima è inequivocabile e che i cambiamenti climatici non hanno precedenti su una scala multi-decadale, centenaria o addirittura millenaria. Rispetto ai rapporti precedenti (IPCC 2007a, 2012), AR5 ha riportato un maggiore livello di certezza e grado di confidenza per le stime che riguardano alcuni fenomeni rilevanti. In futuro si osserverà una riduzione della quantità della risorsa idrica rinnovabile, sia superficiale che sotterranea, in quasi tutte le zone semi-aride. Al contrario, nelle alte latitudini si prospetta un aumento di disponibilità della risorsa. Un aspetto ancora incerto è l'impatto che avrà la trasformazione della vegetazione – sostenuta a sua volta dalle maggiori concentrazioni dei gas serra e dalla temperatura – sulle RI (Jiménez Cisneros et al. 2014).

Le proiezioni delle precipitazioni sono soggette a maggiori incertezze, dovute alle divergenze tra i modelli climatici regionali (*Regional Climate Models*, RCM). Secondo lo scenario RCP8.5 (media confidenza) è probabile che il cambiamento climatico renderà più frequenti sia gli eventi di siccità meteorologica che agricola (dovuta a un decremento dell'umidità di suolo) nelle zone (semi-)aride. Probabilmente (media convergenza degli studi) il verificarsi di queste proiezioni aumenterà la frequenza di eventi siccitosi idrologici. A loro volta, le variazioni di portata impatteranno in maggior misura gli ecosistemi fluviali e la qualità della risorsa idrica.

L'Agenzia Ambientale Europea (*European Environment Agency*, EEA) ha sviluppato e aggiornato periodicamente un elenco di 46 indicatori climatici (EEA 2014a). Nove di questi sono riassunti nella tabella di seguito (Tabella 1-1) e connessi al tema di questo capitolo. La maggior parte di essi si basa sulle proiezioni regionali secondo gli scenari RCP (*Regional Concentration Pathways*), mentre alcuni indicatori fanno ancora riferimento agli scenari SRES (*Special Report on Emission Scenarios*). Le valutazioni dell'EEA considerano prevalentemente il medio-lungo periodo e riportano come esempi gli scenari più estremi (RCP8.5). La maggior parte delle proiezioni è consultabile attraverso il portale ClimateAdapt⁸. Inoltre, EEA ha elaborato una recente sintesi sugli eventi estremi meteo-climatici in Europa (van der Linden et al. 2015) ed è attualmente in corso la redazione della quarta edizione del rapporto su Cambiamenti climatici, impatti e vulnerabilità (CCIV). A questi rapporti si uniscono altre analisi relative all'uso efficiente delle RI (EEA 2012a, b, 2013a, 2015a, b, 2016a).

Tabella 1-1: Indicatori climatici connessi al tema delle risorse idriche. Elaborazione degli autori in base all'elenco degli indicatori dell'Agenzia Ambientale Europea⁹.

Indicatore climatico	Data	Tendenze nazionali
Precipitazioni medie ¹⁰	08/07/2014	- Riduzione dell'apporto meteorico nell'ordine di grandezza tra 0-17,5 mm per anno, con ampie disomogeneità. - Attesa diminuzione (fino a -30%) delle precipitazioni annue soprattutto nel Sud e le Isole; riduzione oltre di il 40% nella stagione estiva in tutt'Italia (RCP8.5; 2070-2010).
Precipitazioni Estreme ¹¹	11/08/2014	- Tendenza verso una diminuzione dei giorni consecutivi con pioggia e l'aumento dei periodi secchi. - Aumento dell'intensità di pioggia in inverno e diminuzione in estate,

⁸ climate-adapt.eea.europa.eu/knowledge/tools/map-viewer

⁹ EEA (2014a).

¹⁰ CLIM002, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/european-precipitation-1/assessment-1

¹¹ CLIM004, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/precipitation-extremes-in-europe-2/assessment

		ad eccezione della costa adriatica; aumento marcato dei giorni consecutivi senza pioggia in tutt'Italia tranne nel Nord (RCP8.5; 2070-2010).
Copertura nevosa ¹²	26/08/2014	• In diminuzione nelle altitudini in cui le temperature hanno superato il punto di congelamento.
Portata dei fiumi ¹³	02/04/2014	• Diminuzione fino al 40% tranne in inverno nel Nord e Centro, e durante la primavera nella zona Alpina; diminuzione delle portate medie annue in tutto il territorio italiano tranne nelle Alpi.
Basse portate ¹⁴	04/09/2015	• Valutazione basata ancora sugli scenari SRES; diminuzione delle portate basse fino al 20% per il tempo di ritorno pari a 20 anni.
Temperatura dell'acqua ¹⁵	04/09/2015	• Aumento da 1 a 3 °C in Europa nel corso del secolo scorso; nei grandi laghi lombardi aumento di circa 0.1–0.3 °C per decade.
Umidità del suolo ¹⁶	15/03/2015	• Diminuita nel periodo 1951-2012 soprattutto nel Centro-Nord (dal -5 all'oltre -8 l/m ³ /10 anni). • Sostanziale riduzione già nel medio-lungo termine (2021-2050).
Fabbisogno irriguo ¹⁷	29/07/2014	• Progressivo aumento del fabbisogno irriguo. • Modesto aumento per RCP2.6 e RCP4.5. Per RCP8.5 possibile aumento di oltre il 20% entro la fine del secolo.
Danni economici da eventi estremi ¹⁸	28/06/2016	• I danni causati dalla siccità e dalla carenza idrica sono sottostimati nelle banche dati disponibili.

Tra i recenti studi che riguardano l'intero continente Europeo ve ne sono diversi da evidenziare (Jacob et al. 2014) (Prudhomme et al. 2013) (Ciscar et al. 2014) (Forzieri et al. 2014) (Roudier et al. 2015). Le analisi del progetto PESETA II (Ciscar et al. 2014) sono basate su proiezioni di medio-piccola scala (~25 km), per 3 diversi scenari climatici, e un singolo modello idrologico di larga scala (LISFLOOD). Nonostante le consistenti differenze tra i vari modelli climatici sulla scala europea, il quadro tratto per Italia risulta piuttosto omogeneo. I risultati mostrano una forte diminuzione delle precipitazioni estive sull'intero territorio nazionale ad eccezione delle Alpi, mentre le precipitazioni invernali sembrano in aumento nell'Italia settentrionale e in diminuzione per il Mezzogiorno e le isole. Lo stesso quadro si presenta in alcuni scenari anche lungo la costa dell'Adriatico fino alla foce del Po.

L'ensemble utilizzato da Forzieri et al. (2014) è composto da 12 proiezioni derivate da 4 GCM (*Global Circulation Model*) e 7 RCM per un singolo scenario (SRES A1B), utilizzate come input per il modello idrologico LISFLOOD. L'analisi considera anche le derivazioni antropiche di acqua provenienti dal modello WaterGAP3 in cui si ipotizza un aumento dell'acqua prelevata nell'ordine tra il 5% e 25% nel Nord e Centro e una diminuzione nel resto d'Italia. Secondo l'analisi, l'impatto del forzante climatico sulle portate basse diventa pronunciato dagli anni 2050 (2041–2070) e diminuisce successivamente fino ad oltre il 40% per le portate corrispondenti al tempo di ritorno (TR) di 20 anni. Questo risultato deriva da una riduzione della precipitazione e dell'aumento dell'evapotraspirazione in seguito alle temperature più alte. Un'ulteriore diminuzione delle portate (10-15%) è causata dall'aumento delle derivazioni antropiche.

L'analisi di Roudier et al. (2016) si basa su 11 proiezioni regionali climatiche relative agli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5, e tre modelli idrologici di larga scala. A differenza degli studi precedenti, gli autori hanno confrontato le varie proiezioni per il trentennio in cui il forzante CGM giungeva all'aumento di 2°C di temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali. Il risultato dell'analisi è una diminuzione fino ad oltre 15% di portate basse corrispondenti al TR di 10 anni. Si è riscontrata però un'ampia discordanza tra i

¹² CLIM008, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/snow-cover-2/assessment-1

¹³ CLIM016, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-flow-2/assessment

¹⁴ CLIM018, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-flow-drought-1/assessment

¹⁵ CLIM019, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-temperature-1/assessment

¹⁶ CLIM029, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-retention-3/assessment

¹⁷ CLIM033, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-requirement-1/assessment-1

¹⁸ CLIM039, www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters/direct-losses-from-weather-disasters

modelli anche per quanto riguarda il segno di cambiamento determinato sul primo e terzo quartile della distribuzione di possibili mutamenti che considerano l'intero territorio italiano.

Ulteriori studi hanno approfondito gli impatti dei cambiamenti climatici sulle RI a livello nazionale e sub-nazionale, tra i quali sono da evidenziare Pumo et al. (2016), Ravazzani et al. (2014), Romano and Preziosi (2013) e Vezzoli et al. (2015).

In generale, la maggior parte delle analisi si concentra sui distretti e i bacini idrografici più grandi ed importanti. Coppola et al. (2014) hanno utilizzato 2 modelli climatici (REMO e REGCM), per lo scenario SRES A1B, come input di 8 simulazioni idrologiche nella parte alta del bacino del Po, confrontano lo scenario di medio-lungo termine (2020-2050) con la baseline storica (1960-1990). I risultati dimostrano un anticipo del picco di portata primaverile da maggio ad aprile, a causa dell'accelerato scioglimento della neve. Il deflusso risulta in diminuzione per l'intero anno ad eccezione del periodo invernale. La variazione del deflusso invernale è concentrata nella parte settentrionale del bacino, in aumento del 40% nelle zone di alta quota, mentre le parti pianeggianti registrano un aumento del 20%. In primavera il deflusso diminuisce del 20% lungo l'intero corso del fiume e arriva al 40% negli estremi settentrionali e meridionali del bacino. Una simile diminuzione della portata (-20%) caratterizza il deflusso estivo. Nello studio di Vezzoli et al. (2015) sono state considerate le proiezioni del modello regionale COSMO-CLM, forzato dal modello globale CMCC-CM, per due scenari climatici (RCP4.5 e RCP8.5) per il territorio del distretto Padano. Servendosi dei modelli in uso per la pianificazione del distretto, in particolare i modelli TOPKAPI e RIBASIM, gli autori hanno stimato le variazioni della portata dell'asta principale del Po per i periodi 2041-2070 e 2071-2100, in confronto con la baseline di 1982-2011. I risultati dimostrano che per entrambi gli scenari il deflusso medio annuo diminuisce. Nel medio-lungo periodo il deflusso si abbassa tra maggio e novembre, e rimane costante durante il resto dell'anno. Nel lungo periodo (2071-2100), il calo di deflusso diventa più pronunciato e si assesta al 60% per il resto dell'anno. All'interno del distretto padano, Ravazzani et al. (2014) hanno considerato le alterazioni del deflusso del fiume Toce, utilizzando come input due modelli idrologici e le simulazioni climatiche dei modelli REMO e REGCM3. Lo studio dimostra che il deflusso medio mensile potrebbe aumentare del 36-68% nel mese di gennaio, dell'81-119% a febbraio e del 48-126% a ottobre. I deflussi nei mesi estivi invece diminuiscono notevolmente (del 36% ad agosto). Confortola et al. (2013) hanno condotto una simile analisi per il fiume Serio in Lombardia. Il loro studio si basa sul downscaling delle proiezioni di due GCM. Le precipitazioni diminuiscono nell'intervallo compreso dal 7-21%. Tutti gli scenari evidenziano una riduzione del manto nevoso. La portata media annua non subisce variazioni oppure aumenta leggermente, mentre la variabilità intra-annua aumenta notevolmente: fino al -75% nei periodi secchi, e raggiunge il +150% (o addirittura 350%) in autunno e in inverno. Lo studio di GropPELLI et al. (2011) ha focalizzato l'analisi sul fiume Oglio.

Gunawardhana and Kazama (2012) hanno analizzato il deflusso del Tagliamento in Friuli-Venezia Giulia. Gli autori hanno considerato 10 modelli GCM, in combinazione con il modello idrologico *rainfall-runoff* non lineare ed esplorato gli effetti sul deflusso derivanti da più frequenti precipitazioni in forma di pioggia anziché neve e la durata del manto nevoso. I risultati dell'analisi portano sia ad un aumento delle portate minime (+25%) che ad un maggior numero degli eventi di magra (16 e 15 giorni in più rispettivamente in primavera ed estate). Pumo et al. (2016) hanno studiato la risposta idrologica ai cambiamenti climatici in Sicilia, sul caso di 5 fiumi intermittenti. La stima delle precipitazioni medie annue diminuisce dall'11 al 13% per RCP4.5 e del 22-24% per RCP8.5. I risultati evidenziano che i cambiamenti climatici potrebbero rafforzare il carattere torrenziale dei fiumi analizzati, con delle variazioni stagionali accentuate.

Infine, diversi studi hanno analizzato le tendenze osservate nelle precipitazioni sulla scala sub-nazionale o di bacino (Brunetti et al. 2000a; Bartolini et al. 2013). Romano e Preziosi (2013) hanno evidenziato un trend di precipitazioni in diminuzione nel bacino del Tevere (-8% principalmente dovuto alla diminuzione delle precipitazioni invernali), sebbene diverse parti del bacino attestano una variazione diversa.

Aspetti qualitativi

Il Quinto Rapporto dell'IPCC (Jiménez Cisneros et al. 2014) rivela che gli impatti finora osservati sui parametri di qualità idrica provengono da studi isolati condotti su riserve, laghi e fiumi, prevalentemente di paesi sviluppati e disponibili solamente per un numero ridotto di variabili (es. variazioni di temperatura, contenuti di ossigeno, concentrazioni di nutrienti). Ciononostante tali studi permettono di identificare come le alterazioni più diffuse siano legate ad una maggiore incidenza di fenomeni di eutrofizzazione, nella forma di *bloom* algali dovuti ad un aumento delle temperature e del carico di nutrienti. Un aumento del tasso di *run-off*, per lo più collegato ad una maggiore frequenza di precipitazioni intense, comporterebbe un maggiore dilavamento di sostanze presenti nel terreno (Loos et al. 2009; Benítez-Gilabert et al. 2010; Howden et al. 2010; Gascuel-Oudou et al. 2010; Macleod et al. 2012) andando ad aumentare i carichi di nutrienti, sali, coliformi fecali, patogeni e metalli pesanti (Pednekar et al. 2005; Paerl et al. 2006; Tibby and Tiller 2007; Boxall et al. 2008) veicolati nei corsi d'acqua con conseguenti impatti sulla salute umana e sull'uso della risorsa a scopo potabile (Weatherhead and Howden 2009). Oltre al contributo derivante dalle variazioni delle precipitazioni, sono osservabili alterazioni dei cicli bio-geo-fisici degli elementi principali dovuti all'aumento di temperature, soprattutto in regioni aride e semi-aride sotto forma di aumento nelle concentrazioni di sostanza organica disciolta e nutrienti come nitrati e fosfati (Ozaki et al. 2003; Chang 2004; Benítez-Gilabert et al. 2010).

È importante notare come, allo stato attuale delle conoscenze, le proiezioni sugli impatti dei cambiamenti climatici sulla qualità idrica siano rappresentate da un numero esiguo di studi difficilmente comparabili in quanto presentano un grande livello di eterogeneità, essendo fortemente dipendenti dalle condizioni locali, dai presupposti climatici e ambientali e dallo stato di riferimento del corso d'acqua (Whitehead et al. 2009b, a; Bonte and Zwolsman 2010; Sahoo et al. 2010; Kundzewicz and Krysanova 2010). La maggior parte degli studi riportati nel Rapporto IPCC (Jiménez Cisneros et al. 2014) suggerisce però che l'entità e la tipologia dei futuri impatti negativi sarà simile a quelli già osservati in presenza di innalzamento delle temperature e del livello del mare, variazioni nella quantità delle precipitazioni e nelle pressioni antropogeniche (Whitehead et al. 2009a).

In particolare è stato osservato che la riduzione delle portate e delle velocità degli afflussi di acqua dolce, in concomitanza con fenomeni prolungati di siccità, sfavorisce la diluizione e aumenta i tempi di residenza delle acque, promuovendo la proliferazione algale e la riduzione dei livelli di ossigeno disciolto (Grover 2015). Allo stesso modo, fenomeni di *flash-floods*, dovuti a precipitazioni intense e concentrate in brevi periodi, aumentano in maniera incontrollata il *run-off* e quindi l'apporto di nutrienti e contaminanti provenienti da fonti diffuse quali il dilavamento del suolo urbano e pratiche agricole e zootecniche, causando picchi di carico di tali sostanze nel corpo idrico ricevente.

Fenomeni di siccità e la conseguente riduzione delle portate, unite a condizioni di sovra sfruttamento della risorsa idrica, rendono i corsi d'acqua e le riserve idriche sotterranee costiere (soprattutto nelle zone di bassopiano) maggiormente esposte all'azione dell'innalzamento del livello del mare con conseguente intrusione di acqua salata e aumento di salinità nella riserva di acqua dolce (Morgan et al. 2015).

Questo tipo di impatti negativi è stato osservato in riserve idriche naturali e artificiali (Ducharme 2008; Marshall and Randhir 2008; Qin et al. 2009; Bonte and Zwolsman 2010; Sahoo et al. 2010), fiumi (Andersen et al. 2006; Whitehead et al. 2009b, a; Bowes et al. 2012) e acque sotterranee (Butscher and Huggenberger 2009; Rozemeijer et al. 2009) con entità degli impatti variabili a seconda della natura del corpo idrico in questione.

Da una valutazione recente della letteratura scientifica a **livello europeo**, emerge come le variazioni di temperatura e precipitazione siano quelle che giocano un ruolo chiave nell'alterazione dei parametri della risorsa idrica influenzando sui contenuti di ossigeno disciolto con conseguenti fenomeni di anossia (Grover 2015; Huttunen et al. 2015; Liu and Chan 2016), sul ciclo dei nutrienti (Yushun Chen et al., 2016) e,

conseguentemente sulle concentrazioni di fitoplancton (Bussi et al. 2016; Xia et al. 2016) e diffusione di organismi patogeni (Grover 2015; Huttunen et al. 2015). Alterazioni della temperatura e del regime delle precipitazioni possono essere positivamente correlate anche ad alterazioni del pH, instaurando condizioni di iperacidità o eccessiva salinità (Elorenzo 2015; Grover 2015).

Altri studi osservano come l'aumento della temperatura dell'aria influisca sulla mobilità e solubilizzazione dei metalli (Boxall 2014; Zaharescu et al. 2016) e dei composti organici del suolo come policlorobifenili (PCB), (Lu et al. 2015), sottolineando come il *pathway* di questi composti venga alterato, aumentandone la tossicità per gli organismi che interagiscono con i sistemi idrici interessati. In un recente caso studio, Bussi (Bussi et al. 2016) ha analizzato gli effetti delle variazioni di temperatura e precipitazione basati su proiezioni per il 2030 (UK Climate Projections 09, UKCP09) e considerando la concentrazione di fitoplancton, su portata, concentrazione di fosforo e distribuzione di vari gruppi di fitoplancton del fiume Tamigi (Regno Unito), valutando tre diversi scenari di uso e gestione del suolo e l'utilizzo di un modello fisico. I risultati suggeriscono che l'innalzamento delle temperature dell'acqua sia strettamente correlato all'aumento della concentrazione di fitoplancton, soprattutto di cianobatteri che risultano il gruppo più sensibile al cambiamento climatico. Tuttavia lo studio lascia emergere come anche l'uso del suolo (es. l'espansione dell'agricoltura intensiva) giochi un ruolo fondamentale nell'aumento di concentrazione di nutrienti nelle acque soprattutto per gli scenari che registrano un aumento di precipitazione e quindi del dilavamento dei nutrienti provenienti da fonti diffuse.

Simili conclusioni arrivano anche da uno studio mirato a valutare l'effetto del cambiamento climatico sul carico di nutrienti (fosforo e azoto) di diversi bacini scolanti nel mar Baltico attraverso l'applicazione di un modello di trasporto di nutrienti (VEMALA) (Huttunen et al. 2015). Considerando lo scenario A1B lo studio afferma che le variazioni di temperatura e precipitazione indotte dal cambiamento climatico andranno ad aumentare il *runoff* annuale con un conseguente aumento dei carichi di fosforo e azoto veicolati dai bacini studiati. Anche in questo caso l'entità delle variazioni è strettamente dipendente dagli scenari di uso del suolo e dalle pratiche agricole considerate.

Mentre negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi studi sugli impatti dei cambiamenti climatici sulla qualità delle RI a livello internazionale, a tutt'oggi emerge una carenza di letteratura sull'argomento a livello nazionale. Risultati disponibili a **livello italiano** riguardano per lo più ecosistemi lacustri in cui si osservano conseguenze indirette dell'aumento di temperatura sulla stratificazione termica e sull'allungamento delle stagioni produttive con implicazioni sulle fioriture algali che tenderebbero a verificarsi in anticipo in primavera e a terminare più tardi in autunno (Thackeray et al. 2010). Tali studi mettono in relazione l'insorgere dei cambiamenti climatici con l'aumento di specie potenzialmente tossiche nei laghi, con particolare riferimento ai cianobatteri (Paerl and Huisman 2009; Posch et al. 2012).

Uno studio condotto da Mosello e Lami (2012) rileva un marcato impatto dell'aumento della temperatura sulle dinamiche zooplanctoniche nel Lago Maggiore e registra come l'incremento di temperature negli ultimi 45 anni (+1.4 °C) avrebbe favorito le fioriture di cianobatteri e l'introduzione di specie non indigene e potenzialmente tossiche.

Un ulteriore studio, condotto invece sul lago Trasimeno (Umbria) (Ludovisi and Gaino 2010), ha rilevato come le variazioni di temperatura e precipitazione avvenute negli ultimi 50 anni abbiano profondamente alterato le caratteristiche fisico-chimiche del corpo d'acqua. In particolare l'aumento di temperatura (+0.65 °C per decade) e la riduzione delle precipitazioni ha influito sul bilancio idrico del lago causando prolungati periodi di siccità (-20 % di volume nelle ultime due decadi). Come conseguenza si sono osservate un aumento della concentrazione di sali disciolti (3.5×10^{-6} kg per anno), un aumento dell'alcalinità totale e una riduzione della trasparenza. Considerando gli scenari futuri, un aumento degli eventi siccitosi potrebbe ulteriormente compromettere la qualità idrica lacustre specialmente per quel che riguarda il contenuto di sali e la trasparenza così come una maggior disponibilità di nutrienti a causa della riduzione della diluizione delle acque di scarico. Eventi di eutrofizzazione non sono quindi esclusi come conseguenze del riscaldamento delle acque (Visconti et al. 2008).

È evidente che tali impatti possono influenzare profondamente anche la struttura e la funzionalità degli ecosistemi acquatici e pertanto risultano rilevanti anche per le acque interne e di transizione.

Valutazione degli impatti secondo le anomalie climatiche

I distretti idrografici, così come ridefiniti recentemente dalla legge 221/2015, non sono soggetti ad una variazione del clima uniforme, ad eccezione del distretto della Sardegna (vedasi paragrafo 1.1.1). Secondo l'analisi condotta per lo scenario RCP4.5 (Figura 1-3), il distretto Padano è soggetto a un maggior numero di cluster di anomalie, con una distribuzione quasi omogenea tra i cluster A, D ed E. Nel distretto delle Alpi orientali si riscontra un profilo simile, con la prevalenza dei cluster E e D. I distretti Appennino settentrionale e Appennino centrale sono caratterizzati dalla prevalenza dei cluster D e B, mentre l'Appennino meridionale e la Sicilia sono riconducibili ai cluster C e B, e in maniera minore al cluster D. Ad eccezione delle alte quote, la Sardegna è caratterizzata da un profilo climatico coincidente con il cluster D. Secondo l'analisi eseguita per lo scenario RCP8.5 (Figura 1-4) i distretti Padano e delle Alpi orientali assumono un profilo di anomalie semplificato, suddivisibile in cluster E in pianura e A in montagna. Anche altri distretti assumono profili leggermente più omogenei e con piccole variazioni tra i cluster prevalenti.

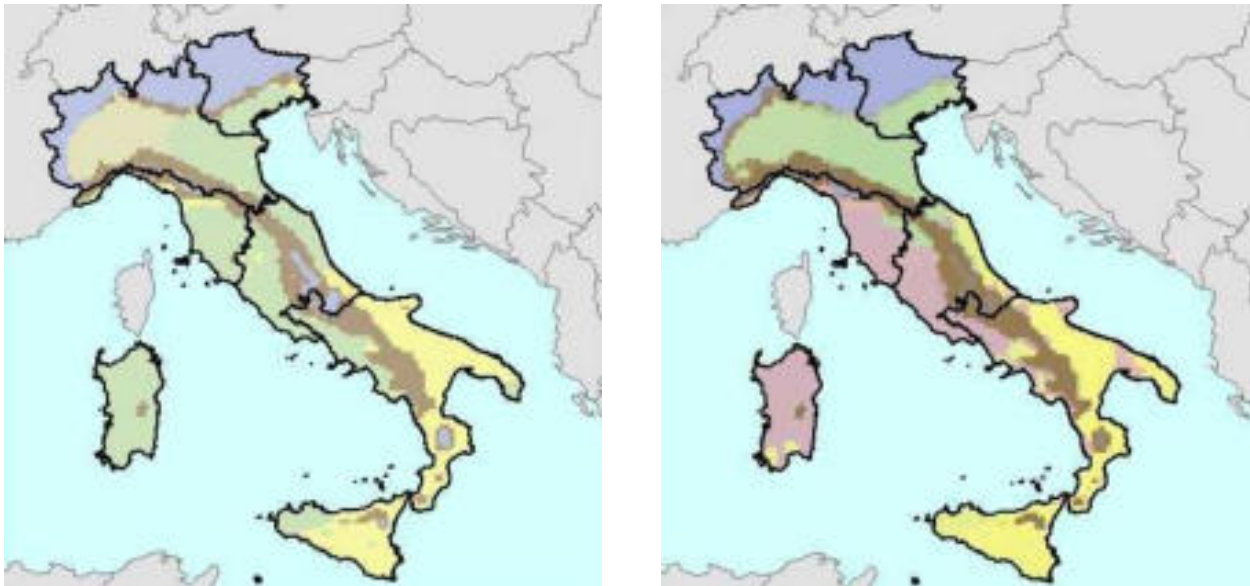


Figura 1-2: Confronto tra i distretti idrografici e i cluster delle anomalie climatiche secondo lo scenario RCP4.5 (sinistra) e RCP8.5 (destra)¹⁹.

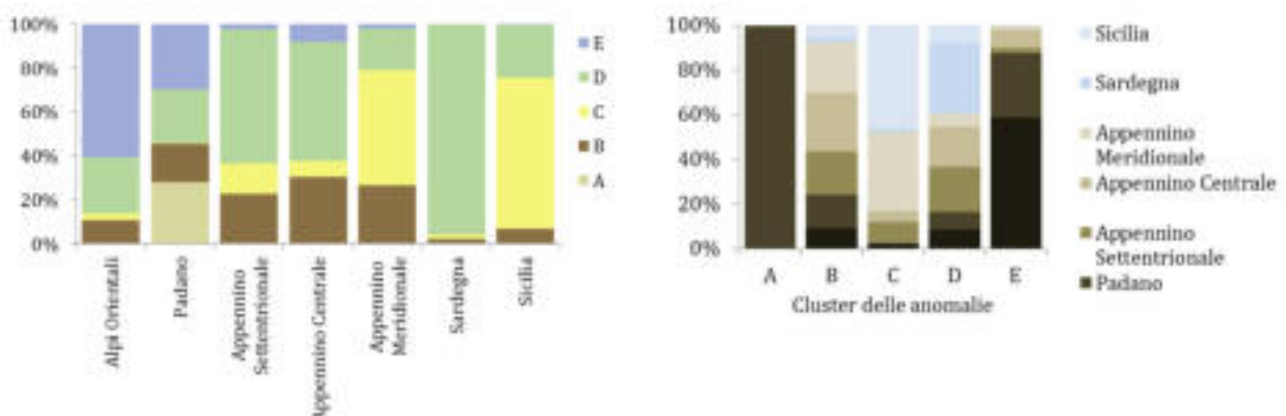


Figura 1-3: Confronto tra i distretti idrografici e i cluster delle anomalie climatiche secondo lo scenario RCP4.5.

¹⁹ La legenda come nella Figura 1-3 e Figura 1-4.

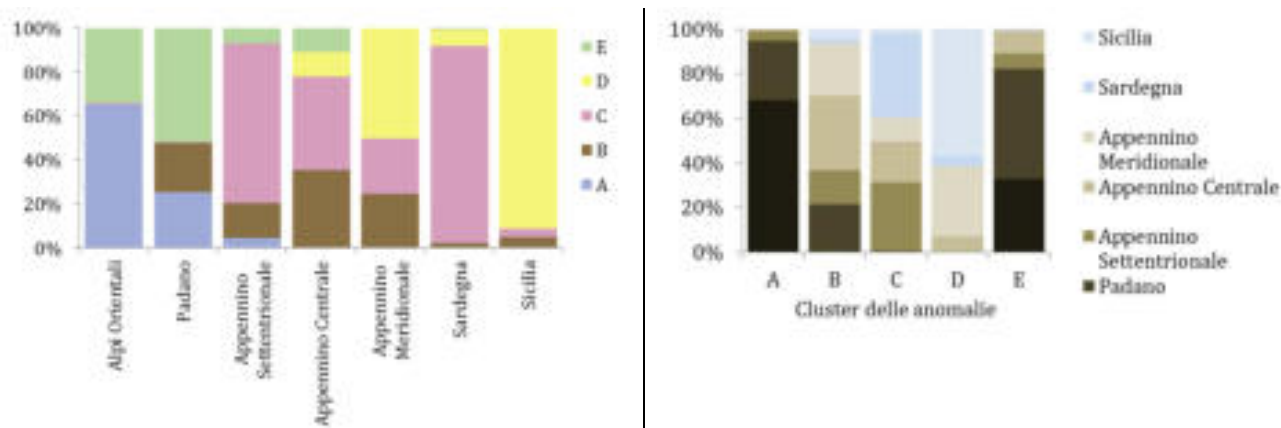


Figura 1-4: Confronto tra i distretti idrografici e i cluster delle anomalie climatiche secondo lo scenario RCP8.5.

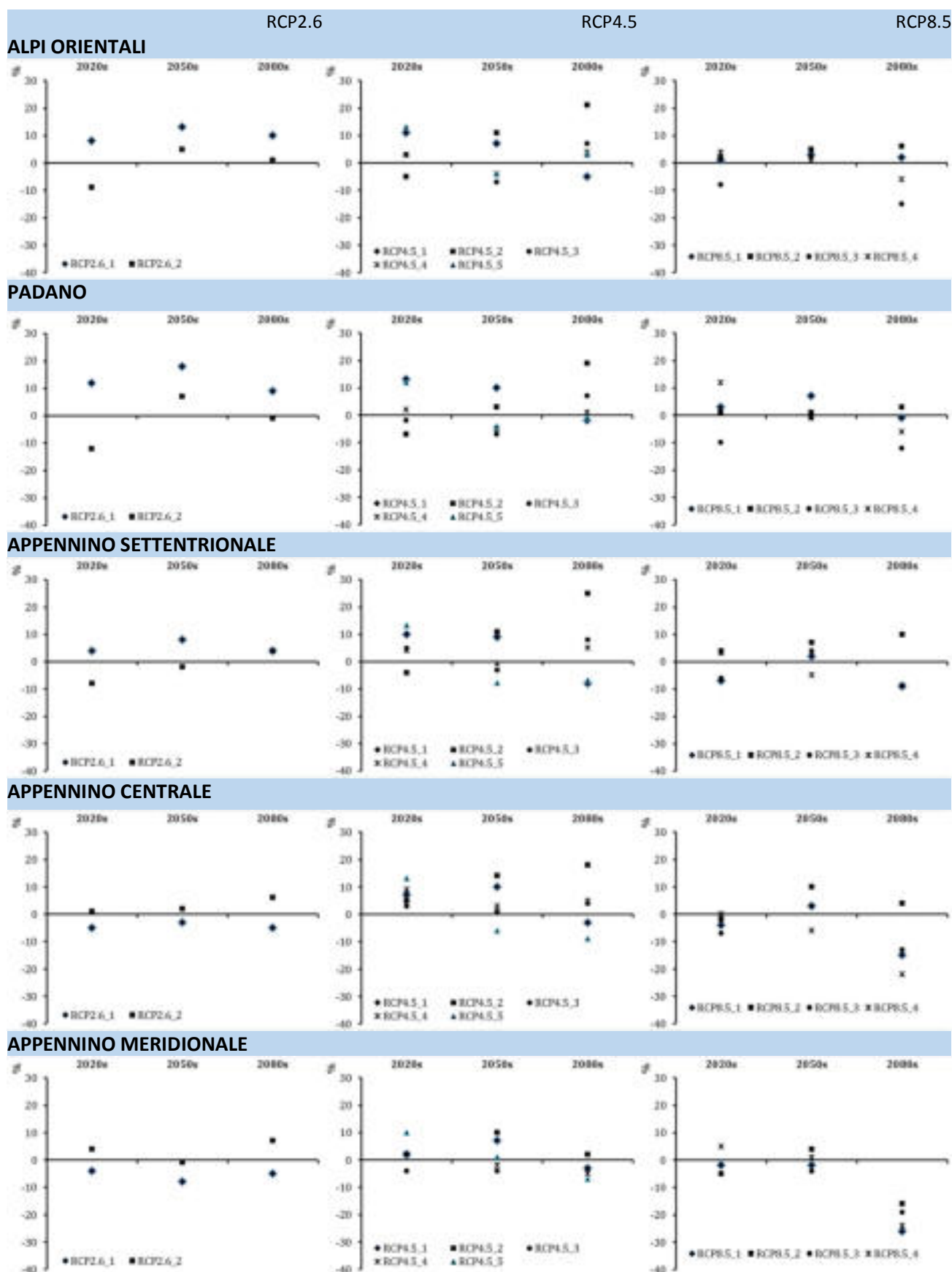
Per l'analisi della disponibilità idrica per ciascun distretto idrografico sono state utilizzate simulazioni di deflusso per gli scenari RCP 2.6, RCP4.5, e RCP8.5. Le simulazioni sono state eseguite utilizzando il modello HYPE (E-HYPEv3.1.2) (Hundecha et al. 2016) impiegando come input i dati di un ensemble di modelli *bias-corrected* prodotti dal progetto EU FP7 IMPACT2C (Tabella 1-2). La risoluzione spaziale delle simulazioni regionali è circa 12 x 12 km (0,11 gradi). Le analisi sono condotte per tre periodi (2020: 2011-2040; 2050: 2040-2070; e 2080: 2070-2100) rispetto al periodo di riferimento 1971-2000.

Tabella 1-2: Combinazione dei modelli climatici globali e regionali per diversi scenari RCP (representative concentration pathways).

Modello globale GCM	Modello regionale RCM	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
EC-EARTH	RCA4	×	×	×
MPI-ESM-LR	REMO2009	×	×	×
EC-EARTH	RACMO22E		×	×
HadGEM2-ES	RCA4		×	×
CM5A	WRF33		×	

La Figura 1-5 e la Figura 1-6 mostrano una disomogeneità di risultati tra i vari modelli per vari RCPs, a livello di singolo distretto idrografico. Si osserva una maggiore incertezza nella media annua della disponibilità idrica in tutti i distretti, con variazioni tra -20 e + 20% a seconda dello scenario e periodo di riferimento (Figura 1-5)²⁰. La variazione della disponibilità mensile (Figura 1-6) rende invece riconoscibile l'aumento della disponibilità nei mesi invernali e primaverili durante i quali la domanda idrica è bassa, e una marcata diminuzione nei mesi in cui la domanda è alta e crescente.

²⁰ Le portate sotto vari scenari climatici analizzate sono state prodotte nell'ambito del progetto EU FP7 project IMPACT2C (Grant Agreement no. 282746). Ulteriori analisi ed elaborazioni sono state prodotte direttamente oppure indirettamente con contributo del progetto ENHANCE - Enhancing Risk Management Partnerships for Catastrophic Natural Disasters in Europe (EU 7th Framework Programme, 2012-2016, Grant Agreement no. 308438).



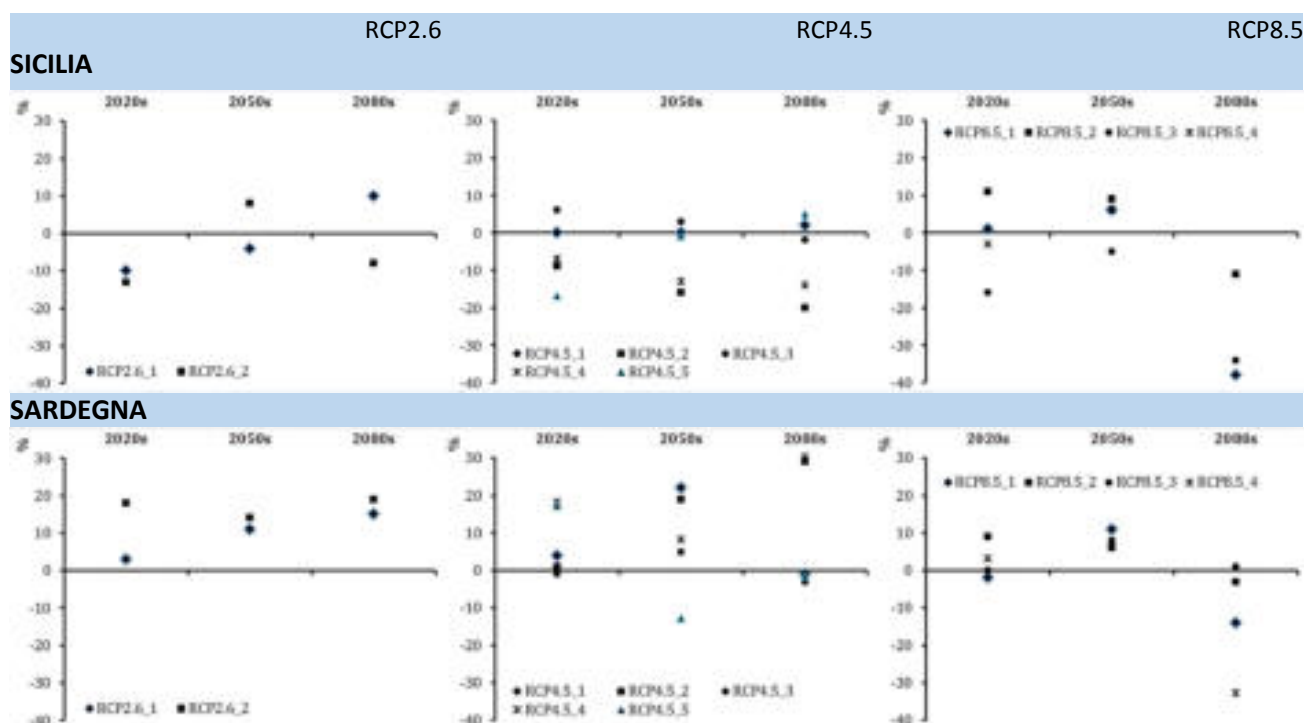
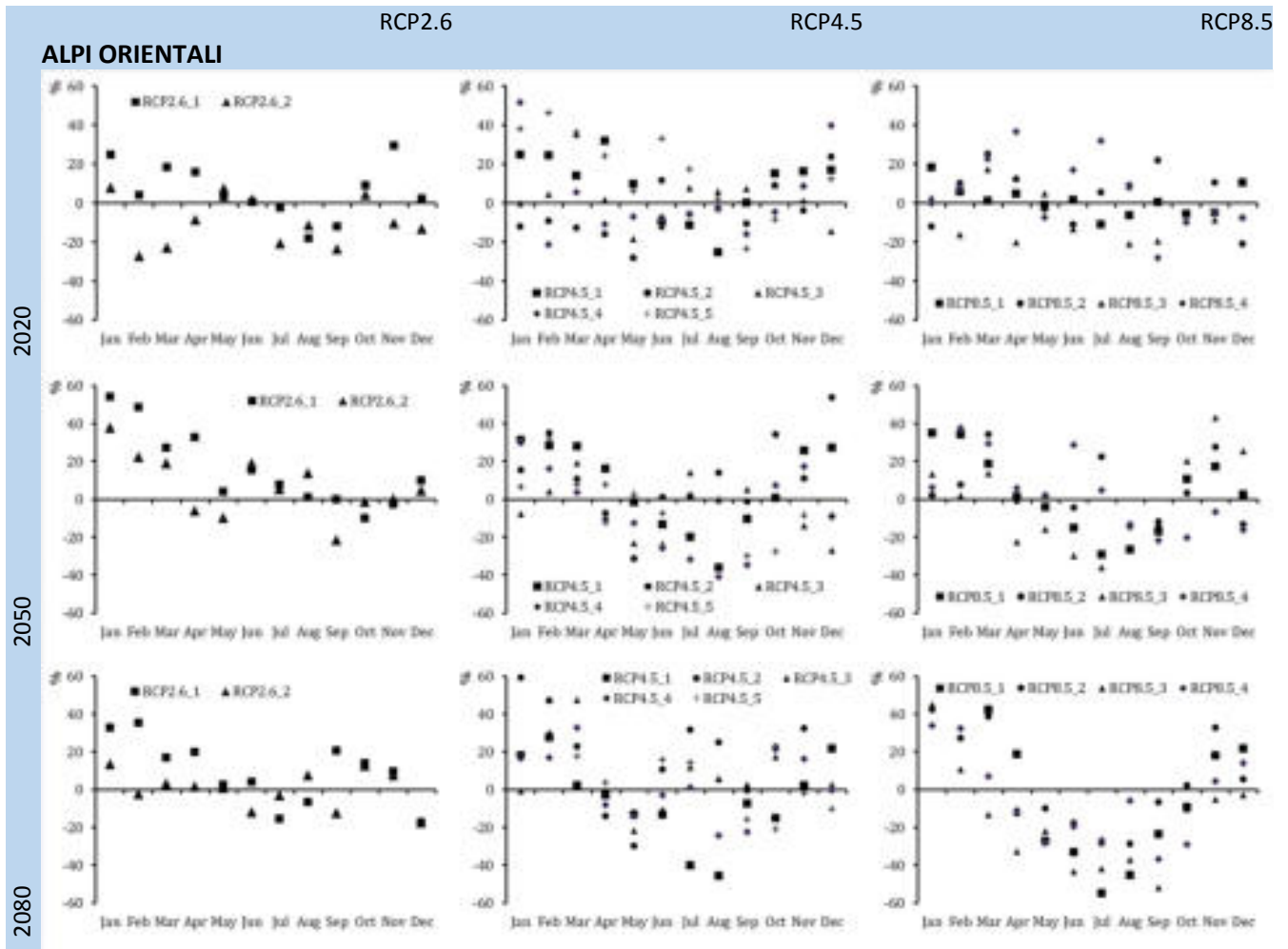
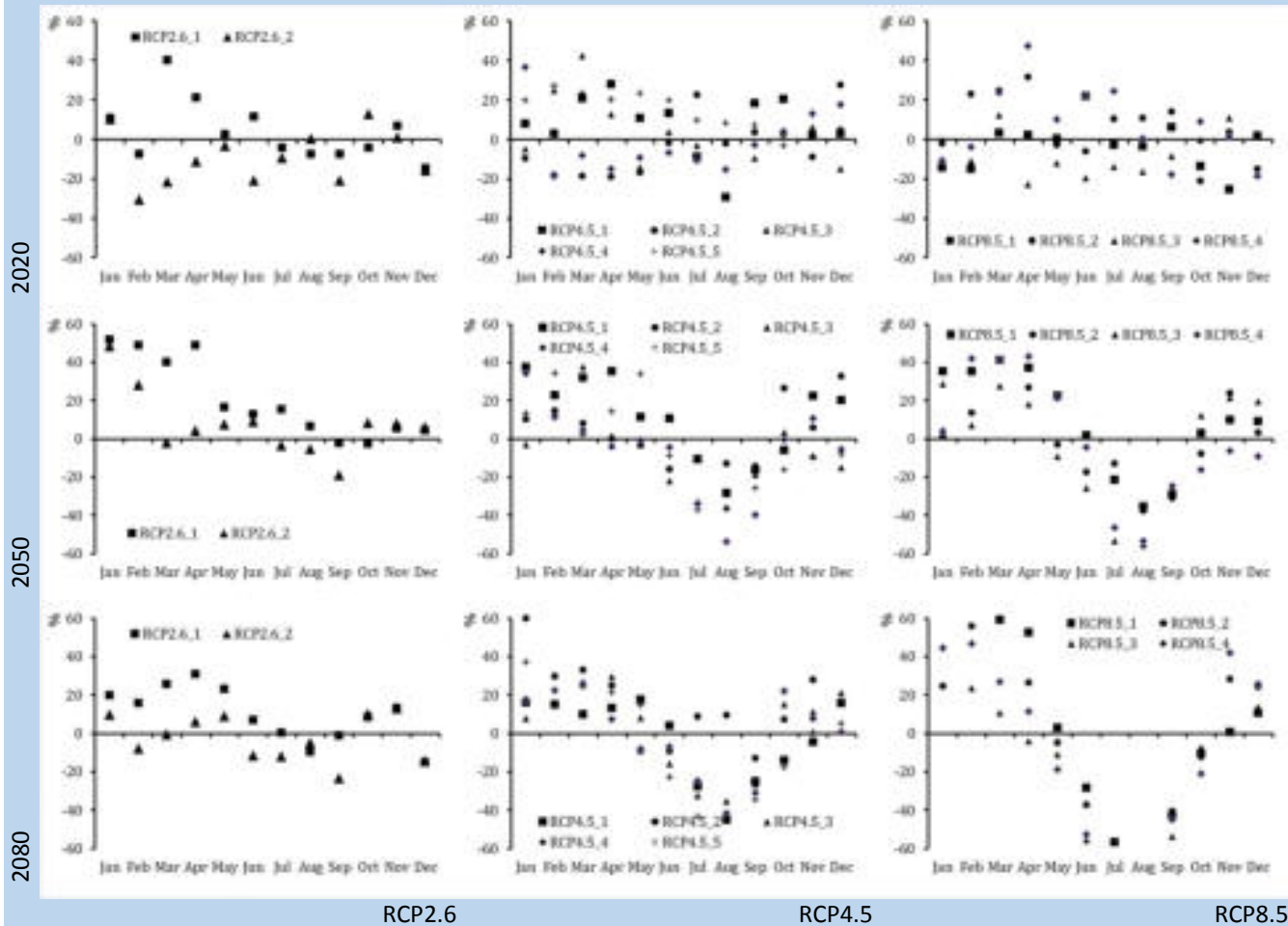


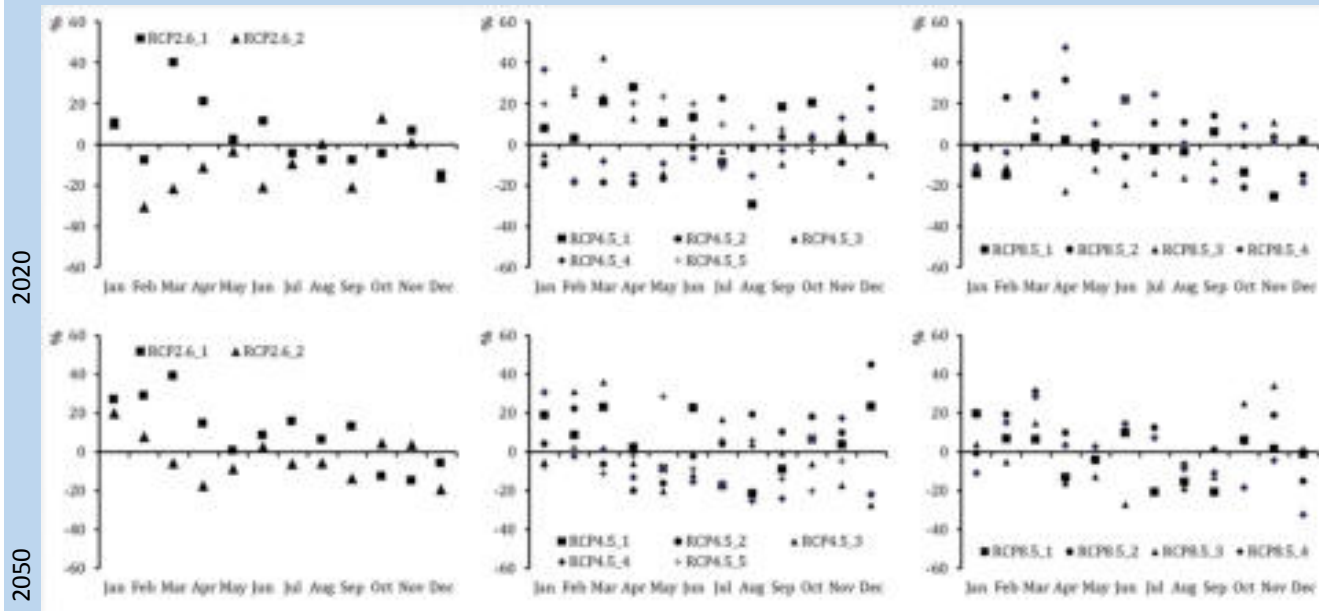
Figura 1-5: Portate medie annue per distretto idrografico, scenario climatico (RCP 2.6, 4.5, 8.5) e periodo di riferimento (2020, 2050, 2080).

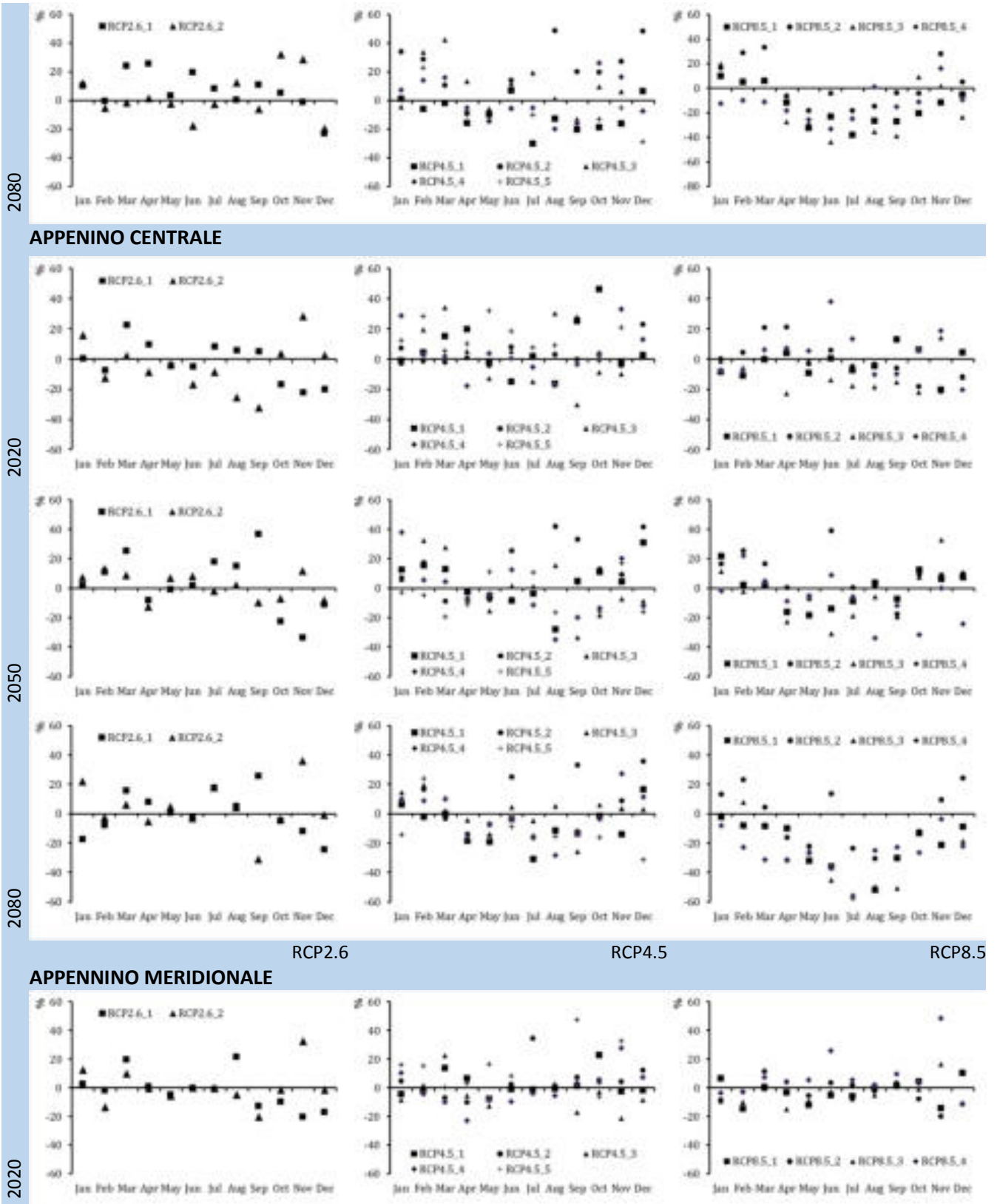


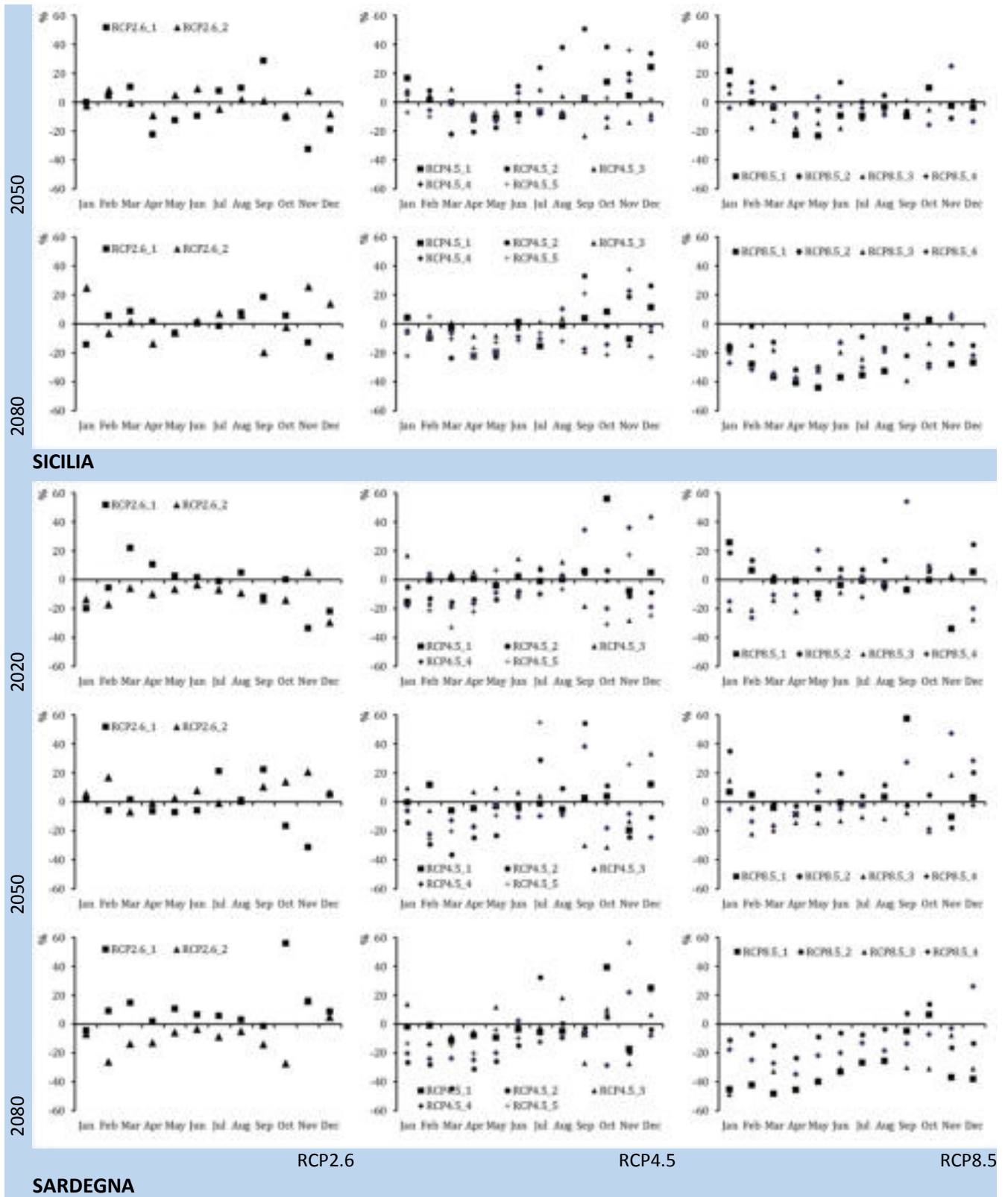
PADANO



APPENNINO SETTENTRIONALE







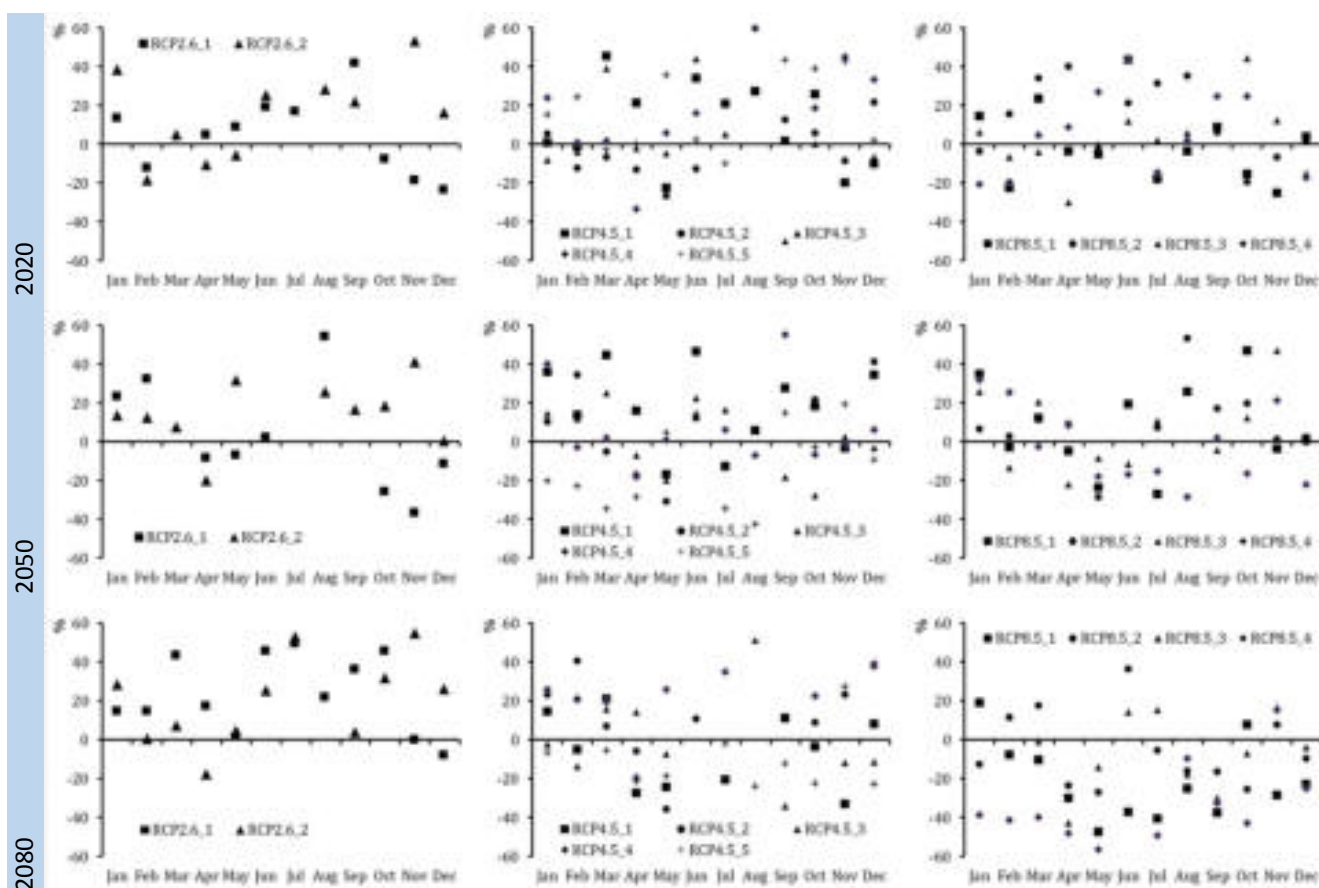


Figura 1-6: Portate medie mensili per distretto idrografico, scenario climatico (RCP 2.6, 4.5, 8.5) e periodo di riferimento (2020, 2050, 2080).

ASPETTI NORMATIVI E GESTIONALI

Aggiornamenti nella normativa di riferimento

Come già ricordato, la DQA rappresenta il cardine della legislazione europea in materia di tutela qualitativa e quantitativa delle RI. Introduce importanti novità soprattutto di carattere amministrativo-gestionale, individuando nel distretto idrografico²¹ unità territoriali di riferimento per gli interventi di salvaguardia del suolo e delle RI. Pur non menzionando esplicitamente i cambiamenti climatici nel suo testo, la DQA delinea un approccio ciclico di pianificazione a livello di bacino coerente con una gestione adattativa delle RI agli impatti dei cambiamenti climatici. A seguito della presentazione da parte della Commissione del “Libro bianco - L’adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d’azione europeo (EC 2009a), i direttori delle risorse idriche dei paesi membri hanno adottato un documento guida sulla “gestione del bacino idrico in un clima che cambia” al fine di assicurare l’incorporazione di strategie di adattamento nei piani di gestione di bacino (EC 2009b). L’azione europea si è recentemente arricchita di nuovi impegni condivisi tra gli stati membri. Questi ultimi sono chiamati a sviluppare una serie di azioni volte a promuovere ulteriormente il riuso delle acque, così come precedentemente evidenziato dalla *Water Blueprint* (EC 2012b) e successivamente ripreso dal Piano d’azione dell’Unione Europea per l’economia circolare (EC 2015a). Le recenti Linee Guida sul riutilizzo della risorsa idrica (EC 2016) hanno ribadito l’importanza del riuso delle acque reflue sia per il conseguimento di uno stato ‘buono’ delle acque sia come forma di adattamento alla scarsità della risorsa indotta dai cambiamenti climatici. È inoltre attesa per il 2017 una

²¹ Il distretto idrografico è 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.

proposta legislativa per la determinazione dei requisiti minimi per il riuso dell'acqua nell'irrigazione e per il ricarica delle acque sotterranee (EC 2015a).

L'attuazione della DQA nel quadro normativo italiano è avvenuta ad opera del D. Lgs. 152/2006 (c.d. Codice ambientale), il quale 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 RI'. La L. 221/2015 (Collegato Ambientale alla legge di stabilità) ha recentemente ridotto il numero dei distretti idrografici dettagliati dal Codice (art. 64) da 8 a 7, accorpando il bacino pilota del Serchio al distretto idrografico dell'Appennino settentrionale. Ha inoltre provveduto ad una riorganizzazione degli ambiti territoriali dei distretti: il distretto idrografico del fiume Po risulta, ad esempio, ampliato e comprende ora parte dei bacini precedentemente afferenti al distretto appenninico settentrionale.

Il Collegato Ambientale ha inoltre modificato la disciplina delle Autorità di bacino distrettuale. Al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), con il supporto di ISPRA, sono attribuite funzioni di indirizzo e coordinamento delle Autorità. E' prevista una possibile articolazione delle stesse a livello regionale (sub-distretti), utilizzando le strutture delle sopresse Autorità di bacino regionali ed interregionali, al fine di garantirne un più efficiente esercizio delle funzioni. Si prevede inoltre che, qualora i distretti idrografici coincidano con il territorio regionale, le Regioni istituiscano le Autorità di bacino attribuendovi anche le competenze regionali dettagliate della parte III del D. Lgs. 152/2006. La nuova disciplina razionalizza inoltre la composizione e il funzionamento degli organi distrettuali, modifica la composizione dei soggetti prendenti parte alla Conferenza istituzionale permanente, prevedendo la partecipazione in funzione consultiva di rappresentanti delle organizzazioni agricole più rappresentative a livello nazionale e dell'Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazioni e Interventi Fondiari (ANBI). Le funzioni della stessa sono emendate, assegnandovi la deliberazione dello statuto e di tutti gli atti amministrativi dell'Autorità. A seguito dell'approvazione da parte della Conferenza Stato-Regioni del decreto attuativo del Collegato Ambientale in data 07/07/2016, è attesa l'effettiva operatività delle Autorità con apposito Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri per singolo distretto.

A livello di pianificazione, il Collegato Ambientale introduce un'importante novità all'art. 117 del Codice ambientale relativo ai Piani di gestione. Nell'ambito di questi ultimi, si demanda all'Autorità di bacino la predisposizione di un *programma di gestione dei sedimenti a livello di bacino idrografico* al fine di 'coniugare la prevenzione del rischio alluvioni con la tutela degli ecosistemi fluviali'. Il programma è da redigersi in tre componenti: i) definizione del quadro conoscitivo; ii) definizione di obiettivi prioritari; iii) individuazione degli interventi necessari. Con riferimento ai Piani di Tutela delle Acque (art. 121) la nuova disciplina si limita unicamente a prorogarne i termini di adozione al 31 dicembre 2016. Infine, il Collegato Ambientale riconosce il ruolo giocato dai Contratti di Fiume (CdF) nella 'definizione e attuazione degli strumenti di pianificazione di distretto a livello di bacino e sottobacino idrografico'. Il nuovo art.68-bis definisce i CdF come 'strumenti volontari di programmazione strategica e negoziata che perseguono la tutela, la corretta gestione delle RI e la valorizzazione dei territori fluviali, unitamente alla salvaguardia dal rischio idraulico, contribuendo allo sviluppo locale di tali aree'.

A livello di implementazione, nelle more della costituzione delle Autorità di bacino distrettuali, le Autorità di bacino di 'rilievo nazionale' sono state prorogate (L. 13/2009) e hanno svolto il ruolo di autorità di distretto idrografico nella redazione dei primi piani di gestione. A norma della D.lgs. 219/2010 sono state poi investite della revisione degli stessi, da realizzarsi entro il 22 dicembre 2015. Tutti i piani sono stati approvati dai rispettivi Comitati istituzionali integrati e dalla regione Sardegna in data 3 marzo 2016, eccezion fatta per il piano per il Distretto della Sicilia. Lo stesso iter ha caratterizzato l'approvazione a marzo 2016 dei piani di gestione del rischio di alluvioni. L'approvazione dei piani di gestione delle acque e del rischio alluvioni è avvenuta il 27 Ottobre 2016 ex art. 57 D. Lgs. 152/2006.

Si registra un'importante novità introdotta dall'approvazione dei Piani di Gestione. In ogni distretto idrografico è attivata una 'Cabina di Regia', ossia un osservatorio permanente in cui sono riuniti tutti i soggetti competenti per la gestione delle RI a livello territoriale. La Cabina, su impulso del Ministero

dell'Ambiente e in coordinamento con il Dipartimento della Protezione Civile, avrà il compito di promuovere un approccio integrato alla gestione della risorsa e alla relativa pianificazione di distretto in modo tale da ricomprendervi anche i rischi connessi agli estremi climatici come la siccità. L'iniziativa prende spunto da alcune esperienze positive maturate a livello distrettuale negli ultimi anni. In particolare, il bacino del Po si è distinto come modello (volontario) di gestione coordinata tra i vari soggetti interessati all'utilizzo dell'acqua durante fenomeni a carattere siccitoso. La cabina di Regia del fiume Po, attiva dal 2003, riunisce soggetti pubblici e privati quali amministrazioni regionali, Consorzi di bonifica, Consorzi di regolazione dei laghi, l'ANBI e società di produzione d'Energia elettrica.

Si nota, inoltre, come il Collegato Ambientale abbia sbloccato la realizzazione dell'atteso *Fondo di garanzia* per gli interventi di potenziamento delle infrastrutture idriche, comprese le reti di fognatura e depurazione. Il fondo mira a garantire un'adeguata tutela della risorsa idrica e dell'ambiente a livello nazionale, mentre è stata esclusa nel corso della discussione parlamentare la possibilità di finanziare interventi connessi alla tutela della risorsa idrica dal punto di vista idrologico e geologico. Il fondo, da finalizzare entro il 2016, è da alimentarsi tramite una specifica componente della tariffa del servizio idrico integrato. Tramite decreto del Presidente del Consiglio dei ministri è prevista l'identificazione degli obiettivi prioritari, nonché dei criteri e modalità di utilizzo del fondo. Nonostante si riconosca che gli investimenti nel settore idrico debbano trovare nel sistema tariffario la principale fonte di finanziamento, il governo ha preso atto del ruolo giocato dalle risorse pubbliche come fonte di finanziamento secondaria. Si stima pertanto che per il periodo di programmazione 2014-2020 (tuttora in fase di definizione) saranno presumibilmente destinati ad opere infrastrutturali 2,5 miliardi di euro attinti da fonti nazionali e comunitarie, peraltro in considerevole diminuzione rispetto al periodo di programmazione precedente (Italiasicura 2015).

Con specifico riferimento all'uso agricolo dell'acqua, il sostegno agli investimenti irrigui rappresenta una delle priorità del Programma di Sviluppo Rurale Nazionale 2014-2020 (PSRN)²². L'obiettivo è quello di promuovere l'uso razionale della risorsa idrica attraverso la ristrutturazione e ammodernamento degli impianti esistenti. La spesa pubblica destinata a questo fine ammonta a 291 milioni di euro. In termini di demarcazione delle competenze a livello nazionale e regionale, saranno a carico del PSRN gli investimenti infrastrutturali irrigui di dimensione interaziendale e consortile, con l'esclusione dei bacini al di sotto di 250 mila m³ e delle relative infrastrutture di adduzione e distribuzione.

Si menzionano, infine, due importanti decreti ministeriali approvati nel corso del 2015. Il Decreto Ministeriale del 24 febbraio 2015, n. 39 del MATTM ha approvato le *Linee Guida* per la definizione del costo ambientale e del costo della risorsa per i vari settori d'impiego dell'acqua che erano state emanate a fine 2014 in ottemperanza alla DQA. Con specifico riferimento all'uso irriguo delle acque, il Decreto del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF) del 31 luglio 2016 ha approvato le *Linee Guida* per la regolamentazione da parte delle Regioni delle modalità di quantificazione dei volumi idrici impiegati dagli utilizzatori finali. Il recepimento delle Linee Guida è stato fissato al 31 dicembre 2016. Il decreto istituisce un'unica banca dati geo-referenzata di riferimento per il settore irriguo detta SIGRIAN (Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle RI in Agricoltura).

Si nota, in conclusione, come il Collegato Ambientale stabilisca in capo al Governo il compito di provvedere con cadenza triennale all'aggiornamento della Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile, prevedendone il primo aggiornamento entro i novanta giorni dall'entrata in vigore della Legge (i.e., maggio 2016). Al momento in cui scrive, risulta aver avuto luogo una prima consultazione in data 31 marzo 2016.

Il secondo ciclo dei piani di distretto

I piani di gestione approvati il 3 marzo 2016 presentano un quadro aggiornato, integrato e organico a livello di bacino delle conoscenze disponibili e identificano i programmi di misure per conseguire gli obiettivi di qualità ambientale, dando conto anche delle misure previste dal precedente piano di gestione 2010 e non

²² Il Programma è stato approvato dalla Commissione Europea con decisione (C2015)8312 del 20 novembre 2015.

realizzate. Essi costituiscono, quindi, uno strumento strategico per la tutela e la protezione delle acque, al quale si dovrà dare attuazione negli anni futuri reperendo con urgenza le necessarie risorse finanziarie.

L'Unione Europea, dall'analisi dei Piani di Gestione delle Acque distrettuali prodotti nel primo ciclo pianificatorio di tutti i paesi, ha individuato 25 misure chiave (*Key Type of Measure*, KTM) ovvero un set di azioni preferibili per il nuovo ciclo di pianificazione da applicare a ciascun tratto di corso di acqua sulla base dell'analisi delle pressioni e degli impatti. Tra queste la n. 24 è relativa all'adattamento al cambiamento climatico. Con il termine generale di *"key type measures"* si indica un sottoinsieme di misure specifiche il cui scopo è quello di provvedere in maniera maggiormente incisiva al raggiungimento degli obiettivi della DQA in ciascun Distretto. Il 22 marzo 2016 ha rappresentato il termine per effettuare il reporting per la DQA relativo al secondo Piano di Gestione per i distretti idrografici (RBMP).

La Commissione ha elaborato la nuova *"WFD reporting Guidance 2016"* (EC 2015b) che ISPRA ha recepito e schematizzato nel documento *"Guida per il Reporting 2016 della Direttiva Quadro Acque"* (ISPRA 2015b). Secondo quanto stabilito dalla Commissione, è opportuno indicare se le previsioni sui cambiamenti climatici siano state prese in considerazione nel secondo RBMP e nei programmi delle misure. In caso affermativo, è condizionale indicare quali aspetti legati ai cambiamenti climatici sono stati presi in considerazione e se si sia fatto riferimento alla *'CIS Guidance Document No. 24 - River basin in a changing climate'* (EC 2009b) volta a supportare gli Stati Membri nell'implementazione della DQA.

Al momento dell'elaborazione dei piani di gestione non era presente la SNAC. I diversi piani di distretto hanno provveduto a individuare un'ampia serie di settori economici che creano potenziali pressioni e impatti sulle risorse idriche, quali la pianificazione dell'uso del suolo, l'agricoltura, lo sviluppo delle aree urbane, l'energia idroelettrica, la navigazione e la protezione dalle alluvioni. Ciò ha permesso di constatare l'importanza degli affetti sui diversi settori economici causati dalla carenza idrica e dalla siccità nei bacini italiani. Un ulteriore elemento di criticità emerso dai piani consiste nel fatto che in alcune aree il prelievo di acque sotterranee è superiore alla velocità naturale di ravvenamento. A tale proposito alcuni piani di gestione presentano dati sulle tendenze riguardanti la siccità. Un esempio è fornito dal piano della Sardegna, il quale comprende una sezione dedicata alla gestione degli episodi di siccità facendo riferimento a dati storici, per esempio sui livelli delle acque dei laghi artificiali.

Tutti i piani di gestione prevedono misure volte ad affrontare i fenomeni di carenza idrica e siccità -anche se non tutti individuano le misure come una risposta a tali problemi (EC 2012a). In particolare, nella maggior parte dei piani di gestione sono presenti sia misure volte a migliorare l'efficienza idrica in agricoltura e il riutilizzo delle acque reflue trattate, sia al miglioramento della governance delle risorse idriche e della misurazione del consumo. Solo alcuni piani, come quello della Sardegna e delle Alpi orientali, prevedono misure volte a ridurre le perdite nelle reti di distribuzione urbane, mentre in altri si propongono di sviluppare piani di gestione della siccità, come nel caso dell'Appennino centrale. Secondo alcuni piani, la carenza idrica e la siccità possono essere alleviate attuando dei progetti di trasferimento delle acque, come nell'Appennino meridionale, o migliorando la distribuzione dell'acqua attraverso i laghi artificiali, come nel piano della Sardegna.

La maggior parte dei piani propone modifiche nella tariffazione dell'acqua. Nonostante l'obbligo imposto dal D.lgs. 152/2006 di adottare una politica tariffaria che incentivi adeguatamente gli utenti a usare le risorse idriche in modo efficiente, l'attuazione di meccanismi di tariffazione incentivanti non è descritta nei piani di gestione. Un'ulteriore carenza si riscontra nella mancanza di modalità o criteri comuni per individuare le pressioni e gli impatti significativi. Alcuni di essi, come quelli per il distretto delle Alpi orientali e dell'Appennino Settentrionale, pur indicandoli impiego di strumenti numerici e/o di giudizi di esperti nell'analisi delle pressioni, non forniscono dettagli sui metodi utilizzati. Il piano di gestione per il distretto del Serchio elenca, in alcuni casi, semplici criteri di soglia, come la dimensione delle dighe. Altri piani di gestione accennano al lavoro in corso in questo ambito (EC 2012a).

Sebbene i piani contengano poche informazioni sui metodi, i dati disponibili nel sistema WISE - Sistema Informativo sulle Acque per l'Europa (2016)²³ dimostrano che l'individuazione delle pressioni significative è stata effettuata in tutti i distretti idrografici. Secondo tali dati, le fonti diffuse costituiscono una pressione significativa per quasi il 40% dei corpi idrici superficiali e le fonti puntuali per oltre il 25%. L'estrazione di acque rappresenta una pressione significativa per oltre il 15% dei corpi idrici superficiali. Tuttavia, quasi il 45% di essi non risulta essere soggetto a pressioni significative. Si osservano però notevoli differenze tra i distretti idrografici: per esempio, le fonti diffuse costituiscono una pressione significativa per oltre la metà dei corpi idrici superficiali nell'Appennino settentrionale, nel Serchio e nella regione Sicilia, ma interessano meno del 30% dei corpi idrici superficiali in nella regione Sardegna.

Il cambiamento climatico nel primo aggiornamento dei piani di distretto

Il tema dei cambiamenti climatici è considerato nel contesto della pianificazione di bacino idrografico al fine di promuovere l'adattamento del settore acqua. Sebbene i cambiamenti climatici siano considerati in tutti i piani di bacino aggiornati, ora "piani di distretto", la maggior parte di questi accenna al fenomeno soltanto in termini generici (EC 2012a).

Secondo l'aggiornamento del Piano di Distretto delle Alpi Orientali (DAO 2016) il cambiamento climatico è individuato come uno dei driver principali che possono portare alla perdita fisica di tutto o parte del corpo idrico. Si afferma però di non riscontrare tale pressione nel territorio del distretto. La provincia Autonoma di Bolzano ha proposto per il futuro l'elaborazione di un aggiornamento della climatologia dell'area geografica che comprende Tirolo, Alto Adige e Veneto, considerando una proiezione al 2050. Un'ulteriore esperienza di ricerca è stata svolta nel Distretto Alpi orientali tra il 2009 e il 2012, attraverso il progetto TRUST, incentrato sullo studio di misure di adattamento delle acque sotterranee dell'alta pianura veneto-friulana all'impatto dei cambiamenti climatici. Le proiezioni considerano scenari di emissione IPCC A1B e A2, indicando per entrambi un incremento della temperatura media annuale superficiale nell'area di studio fino a circa 5°C rispetto alla media del periodo di riferimento (1951-2000), particolarmente pronunciato durante l'estate. Come conseguenza dell'aumento delle temperature, anche l'evapotraspirazione media è prevista aumentare negli ultimi decenni della simulazione, con un incremento maggiore in inverno. Un ulteriore studio a cui il piano fa riferimento è stato svolto dal Magistrato alle Acque ed è denominato "Gestione Sostenibile dell'identità lagunare veneziana nell'ottica del cambiamento climatico globale". L'analisi ha considerato le principali vulnerabilità della laguna di Venezia in relazione ai possibili effetti dei cambiamenti climatici e individuato al riguardo potenziali strategie e misure di adattamento.

Il Distretto Padano (DP 2016) dedica un elaborato e diverse sezioni del proprio piano ai cambiamenti climatici. Viene illustrato lo stato delle conoscenze sul tema nel distretto del Po, rivelando in particolare impatti sulle Alpi e sulle zone costiere. Il distretto Padano, diversamente dagli altri distretti, ha inoltre approntato i riferimenti necessari all'inclusione dell'adattamento ai cambiamenti climatici nelle misure del piano. In merito a quest'ultimo aspetto, il piano propone un "check climatico del programma di misure del Piano" nell'elaborato 7, nell'ambito del quale sono evidenziate le misure del Piano di Gestione che perseguono, in modalità integrata, gli obiettivi della DQA e delle Strategie Europea e Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Sono inoltre specificate le relative voci di spesa previste per l'attuazione delle misure.

Il piano dell'Appennino Settentrionale (DAS 2016) descrive l'effetto atteso delle previsioni IPCC sul distretto idrografico. Individua, in particolare, un probabile incremento delle condizioni siccitose a scala di bacino, non solo in termini di proiezioni future ma anche di impatti attuali. È stata stimata una diminuzione dei quantitativi di precipitazione affluiti sul bacino del Fiume Arno nell'ordine del 10% su un secolo, e il dimezzamento negli ultimi 40 anni dei casi di piena e il corrispondente raddoppio dei giorni ascrivibili a condizioni di magra. In Toscana sono stati effettuati dal Consorzio LaMMA - Laboratorio di monitoraggio e

²³ <http://water.europa.eu/>

modellistica ambientale, degli studi specifici (Consorzio LAMMA 2010) che hanno tra l'altro portato all'individuazione delle zone sensibili al rischio di desertificazione. Nel programma delle misure si propone una verifica della sostenibilità nello scenario di cambiamento climatico. Per ogni misura dell'elenco è stata effettuata una verifica preliminare, che andrà poi declinata caso per caso nell'attuazione della misura attraverso gli interventi correlati ai singoli corpi idrici, al fine di raffinare localmente le valutazioni. Le valutazioni nella tabella sintetica comprendono 20 misure, suddivise tra quelle che hanno efficacia nello scenario di cambiamento climatico e i benefici intersettoriali nello stesso scenario. La verifica preliminare viene espressa per ogni misura secondo una scala sintetica di 7 valori, da "molto positivo" a "molto negativo".

L'Appennino Centrale (DAC 2016) individua i cambiamenti climatici come futura pressione sulla disponibilità idrica nell'intero distretto idrografico. L'aggiornamento dei piani di gestione ha sviluppato il quadro delle macropressioni significative che hanno effetti sull'intero corpo idrico e tra le quali compare anche il cambiamento climatico. Tra le misure si prevede la realizzazione di invasi e cisterne di accumulo della risorsa idrica al fine di compensarne anche parzialmente la perdita, stimata ad almeno 1 miliardo di m³, e il finanziamento di progetti di ricerca per la produzione di risorsa non convenzionale e di progetti educativi per il risparmio idrico in ogni settore d'uso anche attraverso l'aumento dell'efficienza nei cicli produttivi che utilizzano l'acqua.

Nel piano del bacino del Serchio (DBS 2016) e dell'Appennino Meridionale (DAM 2016), i cambiamenti climatici sono affrontati nella valutazione ambientale strategica dei piani. La lotta ai cambiamenti climatici viene intesa come principio trasversale da declinare sia sul versante della riduzione delle emissioni di gas serra sia sul lato delle azioni di adattamento. Per il bacino del Serchio, tra le nuove strategie di aggiornamento del Piano delle Acque della regione Toscana, si prevede di mantenere e valorizzare la gestione integrata delle disponibilità idriche nei periodi estivi, anche acquisendo in tempo reale il dato dei volumi disponibili all'interno degli invasi idroelettrici. Nel distretto dell'Appennino meridionale si intende favorire l'aumento delle superfici boscate in ambiti urbani, fluviali e costieri anche ai fini dell'adattamento.

Nel caso del distretto della regione Sardegna (DRSa 2016) il riferimento al cambiamento climatico si riscontra nella lotta alla siccità. Il 'Sistema informativo Monitoraggio e preallarme della siccità' è un sistema informativo web che permette la visualizzazione della situazione dei serbatoi artificiali del sistema idrico multisettoriale della Sardegna e i relativi indicatori di stato per il monitoraggio e il preallarme della siccità. La Regione Sardegna ha avviato l'attività di monitoraggio della siccità mediante una serie di indicatori che, attraverso l'elaborazione di informazioni periodiche e per diverse aree idrografiche, forniscono alle autorità competenti un utile strumento per migliorare la gestione delle risorse idriche del territorio. A partire dal 2007 viene utilizzato e reso pubblico un modello in grado di caratterizzare gli scenari dei bilanci risorse-fabbisogni in atto e prevedibili nel breve e medio termine nei sistemi idrografici che compongono l'intero territorio regionale. In questo caso i cambiamenti climatici non sono oggetto di una misura dedicata, ma sono rintracciabili sotto le voci: trasferimento di conoscenze e azioni di informazione; servizi di consulenza, di sostituzione e di assistenza alla gestione delle aziende agricole; cooperazione.

La Regione Sicilia (DRSi 2016) ha elaborato con Corsica, Malta, Maiorca, Cipro e Creta, uno studio nel 2013 denominato *"Strategic Master Plans for small and large Mediterranean Islands"* che ha evidenziato la particolare situazione climatica delle isole mediterranee sulla base delle previsioni ottenute da 25 Modelli Generali di Circolazione (GCM), verificando che solo 12 di essi potevano essere utilizzati per la Sicilia. Un'analisi speditiva delle pressioni indotte dal cambiamento climatico a livello di corpo idrico è stata condotta mediante la definizione di un indicatore specifico (ID_Climate_Change) il cui valore è stato ottenuto, per ciascun corpo idrico, come prodotto tra il numero di pressioni clima-sensibili insistenti sul corpo idrico stesso e la somma dei relativi livelli di significatività. Dall'analisi appare evidente la particolare presenza di pressioni clima-sensibili riconducibili in prevalenza alla forte antropizzazione del territorio in termini di sviluppo urbano e di richiesta idrica.

AMBIENTI MARINI: BIODIVERSITÀ, FUNZIONAMENTO E SERVIZI ECOSISTEMICI

SINTESI

Il cambiamento globale sta interessando in modo crescente l'ambiente marino determinando aumento delle temperature superficiali, stratificazione più marcata e profonda delle masse d'acqua, con mortalità massive di organismi bentonici e possibile riduzione della connessione tra ambienti profondi e costieri, alterazione dei cicli biogeochimici associati a un cambiamento nel metabolismo microbico, cambiamenti delle reti trofiche a seguito di alterazioni nella sincronizzazione dei processi di produzione e consumo, con conseguente impatto sulla produzione di risorse alieutiche; cambiamento nella struttura e distribuzione di comunità planctoniche e bentoniche; alterazione della fenologia di specie animali e vegetali con aumento della loro vulnerabilità e dei tassi di estinzione; alterazione della distribuzione e degli effetti dei contaminanti e dei loro impatti; l'instaurarsi di condizioni favorevoli all'ingresso di specie non indigene e aumento di fenomeni epidemiologici associati a crescita della componente microbica. Tali effetti interagiscono con altri stressori di origine antropica (*multiple stressors*) determinando effetti sinergici, con conseguenze di difficile previsione. I cambiamenti globali aumentano la variabilità e l'instabilità degli ecosistemi marini ed è quindi indispensabile definire opportune strategie per compensarne gli effetti, sia attraverso una gestione eco-sostenibile delle risorse basata su un approccio ecosistemico, sia con strumenti di conservazione della biodiversità. In questo rapporto sono evidenziate le principali azioni necessarie all'adattamento ai cambiamenti globali, per minimizzarne gli effetti sugli ecosistemi marini.

INTRODUZIONE

Il cambiamento globale determinato dall'uomo non è più oggetto di dibattito, tanto che è stata proposta una nuova era geologica, l'Antropocene, per definire l'impatto delle nostre attività sugli ecosistemi planetari (Waters et al. 2016). Tra i vari aspetti dei cambiamenti globali, il cambiamento climatico è una realtà ed è il risultato di attività umane che rilasciano annualmente miliardi di tonnellate di carbonio nell'atmosfera (IPCC reports; Hansen 2007). La trasformazione delle foreste in aree agricole ha ridotto il sequestro del carbonio nel sottosuolo che, in passato, ha portato alla formazione di giacimenti fossili. Il consumo di combustibili fossili vanifica in tempi brevissimi il sequestro del carbonio, diminuendo i servizi ecosistemici accumulati nel corso di milioni di anni. Le conseguenze dirette di tali abbondanti immissioni di carbonio, sono aumentate esponenzialmente nell'era industriale con l'uso di combustibili fossili, ed hanno portato ad un aumento della temperatura globale, al cambiamento del clima con differenze significative a livello regionale, all'innalzamento del livello del mare, all'acidificazione degli oceani, alla diminuzione della concentrazione di ossigeno in diverse aree oceaniche, al cambiamento della disponibilità dei nutrienti e l'alterazione della circolazione degli oceani (Brierley and Kingsford 2009) (Figura 1-7). 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. Le alterazioni chimico-fisiche causate dal cambiamento globale acquistano senso compiuto, ai fini del benessere umano, quando influenzano la componente vivente degli ecosistemi planetari, anche in vista di prevedibili effetti (cumulativi, sinergici o antagonisti) quando il cambiamento si associa ad altre pressioni sugli ecosistemi, sul loro funzionamento, sulla loro biodiversità e sui beni e servizi che possono fornire. L'insieme dei beni e servizi rappresenta un importante contributo, diretto e indiretto, al benessere umano (Costanza et al. 1997). Di conseguenza, la perdita di beni e servizi ecosistemici ha importanti implicazioni sociali ed economiche.

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 (Bianchi 2007; Boero et al. 2008; Lejeusne et al. 2010). Negli ultimi 50 anni, è aumentato il numero delle specie non indigene che, grazie all'apertura del canale di Suez, l'acquacoltura ed il trasporto su nave, sono entrate e si sono stabilite nel bacino mediterraneo influenzando le specie indigene (CIESM 2002). Inoltre, i processi legati ai cambiamenti climatici interagiscono con gli effetti di altri disturbi antropici e tendono ad esacerbarne gli effetti, con conseguenze poco prevedibili e difficili da gestire (Claudet and Fraschetti 2010). In questo contesto, diventa prioritario migliorare lo stato e la resilienza dei sistemi marini con grande attenzione ai sistemi socio-economici associati.

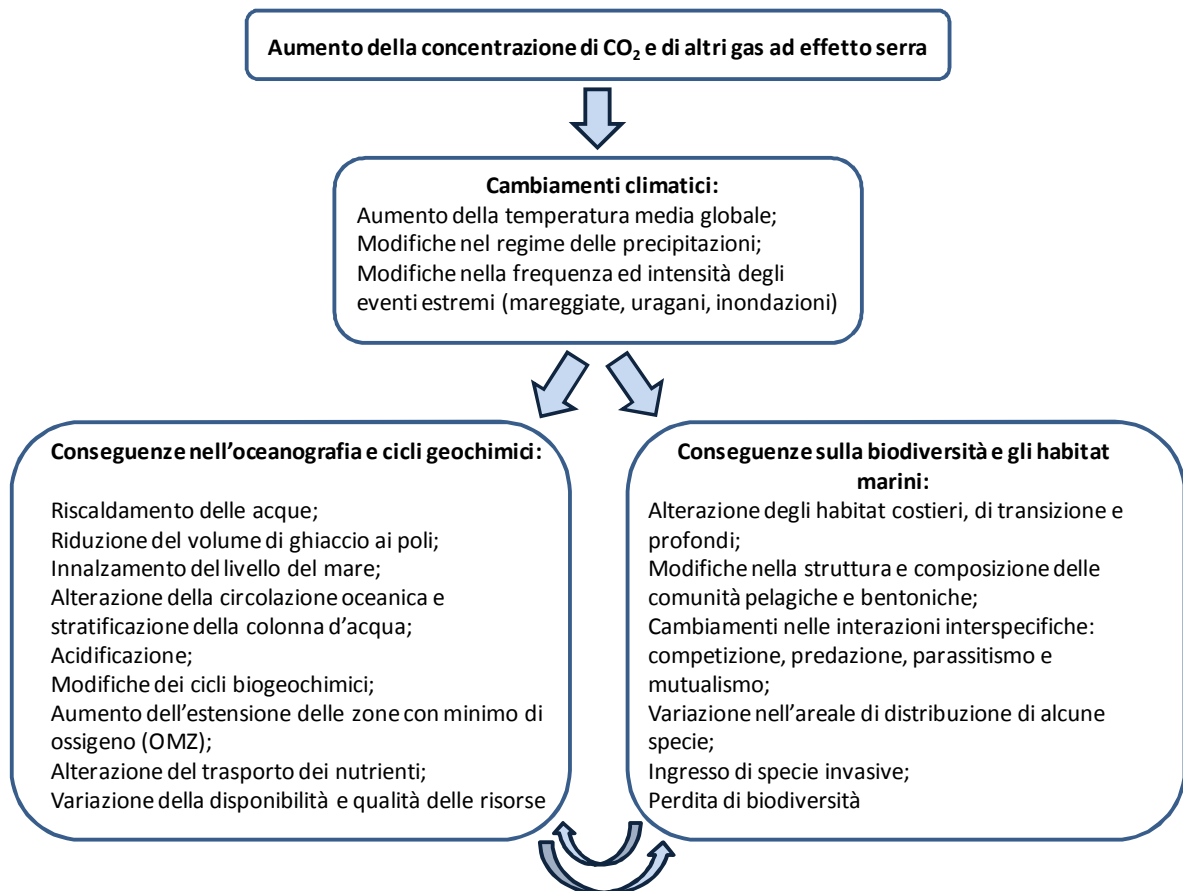


Figura 1-7: Schema semplificato delle interazioni tra cambiamenti climatici e cambiamenti negli ecosistemi marini.

IMPATTO DEI CAMBIAMENTI GLOBALI SUGLI ECOSISTEMI MARINI

Temperatura

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 del ghiaccio ai poli, 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 e uragani (IPCC 2007b; Solomon et al. 2007; Hoegh-Guldberg and Bruno 2010). Le variazioni di temperatura non riguardano solo le caratteristiche ambientali degli oceani (ad esempio, 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. Rivetti et al. (2014), analizzando la serie storica di profili termici in Mediterraneo, hanno evidenziato una forte correlazione tra progressivo aumento della profondità del termocline e i fenomeni di mortalità massiva di invertebrati bentonici registrati dopo il 1990.

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). Tali osservazioni sono però spesso limitate agli ecosistemi terrestri, mentre i dati disponibili per gli ambienti marini sono molto più limitate. Burrows et al. (2011), per esempio, rimarkano come siano disponibili molte informazioni sui cambiamenti di quota nella distribuzione delle specie terrestri a seguito del riscaldamento globale, mentre sono rarissimi gli studi che documentano cambiamenti di profondità nella distribuzione degli organismi marini.

In Mediterraneo, tutte le specie planctoniche hanno presenze stagionali, ma anche moltissime specie bentoniche hanno cicli di presenze stagionali (Coma et al. 2000). Tutte le specie, anche quelle perenni, possono rispondere ai cambiamenti climatici cambiando la propria fenologia (ovvero i periodi in cui sono presenti, attive e riproduttive e i periodi in cui possono diventare dormienti). Per le specie ad affinità calda i periodi attivi tendono ad ampliarsi mentre per quelle ad affinità fredda i tempi si restringono (Boero et al. 2008), fino ad arrivare a mortalità massive per le specie stenoterme ad affinità fredda. Le anomalie termiche e l'aumento della temperatura superficiale, infatti, possono avere severi impatti sugli ecosistemi costieri superficiali, causando fenomeni di moria di massa delle specie stenoterme ad affinità fredda a seguito della penetrazione a maggiori profondità dello strato riscaldato. Nel Mediterraneo nord-occidentale eventi di morie di massa si sono estesi anche per oltre 500 km, dalle coste italiane a quelle francesi e corse (Rivetti et al. 2013).

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 and Peck 2010). Le temperature superficiali 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 particolarmente rilevanti da un punto di vista ecologico se si considera che la temperatura, assieme al fotoperiodo, influenza la biodiversità (e tutti i suoi attributi) su larga scala spaziale, sia in ambiente terrestre sia negli ambienti marini.

Il riscaldamento globale comporta alterazioni dei tratti fisiologici, morfologici e comportamentali dei singoli individui (Schoener 1986), modificando la disponibilità di energia per il metabolismo di ogni individuo e che,

riportate all'intera popolazione, influenzano il ruolo ecologico che la specie ricopre all'interno della comunità, con eventuali perdite di biodiversità. Gli organismi devono raggiungere specifiche taglie corporee per dare via alla riproduzione: la taglia puberale è un tratto specie-specifico (Kooijman 2010).

Nei periodi di cambiamento rapido come l'attuale, le specie modificano la loro distribuzione spaziale per inseguire gli optima termici che permettono la loro sopravvivenza in uno stato di benessere.

Questo comporta variazioni dell'areale di distribuzione delle specie: tali variazioni implicano 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 (Boero et al. 2013). 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 ne determinano la sensibilità in tutti gli stadi vitali alle variazioni della temperatura nei campi di variabilità del cambiamento climatico attuale (Portner 2010). L'approccio fisiologico, comunque, è insufficiente a spiegare eventuali modificazioni. Le interazioni biotiche tra diverse specie possono aggiungersi, come fattori causali, alla fisiologia dei singoli individui. I cambiamenti di temperatura influenzano le fasi del ciclo vitale degli organismi, 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 and Richardson 2004). 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 and 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 del copepode *Pseudocalanus elongatus*, specie relictta 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 (Bianchi 2007; Boero et al. 2008; Lejeune et al. 2010; Zecca and Chiari 2012). Il Mediterraneo, per altro, 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 (e.g. Rixen et al., 2005); 3) l'aumento della salinità e raffreddamento delle acque levantine intermedie (LIW, Levantine Intermediate Waters) (Brankart and Pinardi 2001; Painter and Tsimplis 2003); 4) l'aumento della frequenza di episodi di aumento della profondità del termoclino estivo con conseguenti mortalità massive a partire dagli anni 90 (Rivetti et al. 2014). 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 che, guidati dai cambiamenti climatici, agiranno su scala globale.

Acidificazione degli oceani

L'aumento esponenziale delle concentrazioni di anidride carbonica nell'atmosfera dovuto alla riduzione delle foreste, sostituite da agroecosistemi, e da un'economia principalmente basata sulla combustione, come dimostrato dai recenti rapporti IPCC, sta causando cambiamenti climatici planetari. L'anidride carbonica è un acido debole e la sua diffusione a causa delle attività antropiche modifica la chimica dei carbonati e il pH portando all'acidificazione degli oceani (Caldeira and 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 and Wickett 2003). Il Mediterraneo sembra essere particolarmente sensibile all'abbassamento del pH: Touratier and Goyet (2009) riportano una riduzione di 0.15 unità di pH dall'epoca preindustriale. L'assorbimento della CO₂ atmosferica da parte del mare influenza profondamente la chimica del sistema carbonato, diminuendo la concentrazione degli ioni carbonato (CO₃²⁻) 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 CO₂ possono mostrare le risposte degli ecosistemi all'acidificazione degli oceani e dovrebbero essere sfruttate per studiare i cambiamenti a lungo termine sui cicli biogeochimici, anche se la limitata estensione di tali aree permette di solito di studiare gli effetti dell'acidificazione sulle comunità bentoniche, mentre gli effetti sull'ambiente pelagico sono meno verificabili. L'acidificazione degli oceani espressa come abbassamento del pH ambientale agisce come un qualunque agente stressante (*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 (coccolitofori, foraminiferi, cnidari, crostacei, molluschi e larve di organismi con gusci calcarei in genere) sia in un'ampia gamma di organismi bentonici (ad esempio molluschi, echinodermi, crostacei, briozoi, policheti serpulidi, spugne e cnidari) 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; Woods 2008), alterando le dinamiche biogeochimiche (Passow 2004).

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 CO₂ (pCO₂) aumenta sia la calcificazione sia la produzione primaria (Iglesias-Rodriguez et al. 2008). Tuttavia l'esame di serie sedimentarie ha evidenziato eventi di declino massivo di coccolitofori in tempi geologici in seguito all'aumento di pCO₂, 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 pCO₂ elevate anche nel giro di poche centinaia di generazioni (Lohbeck et al. 2012).

Ipossie e anossie

Un'altra grave conseguenza del riscaldamento globale è la diminuzione del contenuto di O₂ disciolto negli oceani (Keeling et al. 2010; Gruber 2011; Schmidt et al. 2017). L'ossigeno è direttamente legato al carbonio tramite la fotosintesi e la respirazione, quindi la distribuzione di O₂ nel mare è un segnale importante per valutare la velocità con cui la materia organica viene prodotta, ridistribuita e decomposta. Gli scambi con l'atmosfera, inoltre, sono essenziali per l'immissione di ossigeno nell'acqua di mare. Le attività fotosintetiche e la conseguente produzione di ossigeno sono possibili nella zona eufotica, ma gran parte delle masse d'acqua non presenta condizioni di luce che permettono la fotosintesi e il metabolismo animale, non compensato da quello vegetale, porterebbe rapidamente a fenomeni di anossia. L'affondamento di acque superficiali, ricche di ossigeno di origine metabolica e atmosferica, vivifica il mare profondo. Le acque che scendono, inoltre, provocano la risalita delle acque profonde, riportando in superficie i nutrienti. Le aree in cui le acque superficiali si raffreddano e, aumentando di densità, affondano portando ossigeno in profondità, sono denominate "motori freddi". Il Mediterraneo occidentale viene vivificato in profondità dal motore freddo del Golfo del Leone mentre, per il Mediterraneo orientale, il mare

profondo viene rifornito di ossigeno dai motori freddi del Nord Adriatico e del Nord Egeo. L'acqua superficiale più densa a causa di diminuzioni di temperatura, fluisce sulla platea continentale e poi sprofonda attraverso i canyon sottomarini, innescando fenomeni di risalita di acque profonde in alto mare. Il cambiamento climatico, con il riscaldamento globale, può determinare inverni miti, in cui gli abbassamenti di temperatura possono non essere sufficienti ad innescare i motori di formazione delle acque profonde riducendo la ventilazione in profondità. Il cambiamento globale, inoltre, può essere caratterizzato da eventi estremi, con estati molto calde e inverni molto freddi. Nel caso di inverni molto freddi il funzionamento dei motori dovrebbe essere assicurato, ma piogge eccessive e piene dei fiumi possono innescare fenomeni di squilibrio termoclinico che, associato a cambiamenti termici, potrebbe portare a malfunzionamenti dei motori freddi.

Se alterazioni termocline non portano ad aumenti di densità delle acque superficiali, i motori freddi si possano fermare. Quello del Nord Adriatico, in effetti, si è già fermato, per essere sostituito da quello del Nord Egeo, con un fenomeno chiamato transiente *Eastern Mediterranean transient* (Boero et al. 2008) (Danovaro et al. 2001) (Danovaro et al. 2004). Se il motore freddo del Nord Adriatico può essere sostituito da quello del Nord Egeo, lo stesso non potrebbe avvenire se il motore freddo del Golfo del Leone dovesse fermarsi, perché non ci sarebbero sostituti al meccanismo che rifornisce di ossigeno il mare profondo del Mediterraneo occidentale.

Nello scenario peggiore, prefigurato da Boero et al. (2008) e Boero (2014) il riscaldamento globale potrebbe determinare il malfunzionamento dei motori freddi, portando al mancato rifornimento di ossigeno nel mare profondo, con conseguenti fenomeni diffusi di anossia al di sotto dei 500m, la profondità a cui la Corrente di Gibilterra e la Corrente intermedia levantina ricambiano le acque mediterranee.

Il riscaldamento globale, inoltre, può aumentare la stratificazione della colonna d'acqua e ridurre la solubilità dell'O₂, determinandone una drastica riduzione in mare (Sarmiento et al. 1998; Bopp et al. 2001; Keeling and 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 and Levin 2004; Vaquer-Sunyer and Duarte 2008) e possono avere conseguenze severe sui cicli biogeochimici del carbonio, azoto, e di molti altri elementi importanti (P, Fe, Mn, etc.).

Il termine ipossia viene generalmente usato per indicare una concentrazione di ossigeno inferiore rispetto ad un valore arbitrario percepito come normale.

A causa delle diverse risposte fisiologiche a determinate concentrazioni di ossigeno la 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 O₂ ambientale alla quale si è adattata.

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 O₂ 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 O₂ (<5 mmol kg⁻¹), 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 e 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⁻¹) 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 and Avcin 1988; Stachowitsch 1991; 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 cambiamento globale può avere importanti implicazioni anche sugli 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. E' 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 (Portner and 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 and Connell 2009).

Impatti sugli areali di distribuzione sugli organismi endemici e sull'ingresso di specie invasive

L'effetto combinato di stress multipli indotti dai cambiamenti climatici influenza la sopravvivenza, il metabolismo, il reclutamento e la fecondità di invertebrati (Hutchings et al. 2007; Poloczanska et al. 2007; Puce et al. 2009) e vertebrati (Azzurro et al. 2011) marini. 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 e 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. 2008). In generale, il riscaldamento globale sta determinando due fenomeni complementari, come definito da numerosi studi (Bianchi 2007; Coll et al. 2010; Lejeusne et al. 2010; Boero et al. 2013):

1. Tropicalizzazione. Le specie non indigene ad affinità calda (tropicali) si stabiliscono nel Mediterraneo con successo crescente;
2. Meridionalizzazione. Le specie che generalmente prosperano nella porzione meridionale del Mediterraneo espandono le proprie distribuzioni verso nord, aggiungendosi alle specie tropicali nel modificare le comunità settentrionali.

Estinzione

Le specie ad affinità fredda, a seguito del riscaldamento globale, subiscono un deterioramento delle condizioni ambientali se l'aumento della temperatura eccede i loro limiti di tolleranza. L'arrivo di specie ad affinità calda favorite dagli innalzamenti di temperatura, inoltre, sfavorisce le specie ad affinità fredda anche nelle interazioni competitive.

Anche se gli eventi di mortalità massiva di specie ad affinità fredda sono sempre più frequenti (Rivetti et al. 2014), non è facile documentare eventi di estinzione di specie marine. Boero and Bonsdorff (2007) e Boero et al. (2013) hanno proposto alcuni casi di estinzione putativa in Mediterraneo, rimarcando come questi fenomeni siano probabilmente più diffusi di quanto attualmente si conosce.

Gravili et al. (2015) analizzano la distribuzione temporale delle segnalazioni di specie di idrozoi mediterranei, registrando le specie "mancanti" dagli inventari da più di 40 anni. Quanto più distante nel tempo è l'ultima segnalazione di una specie, tanto più è desumibile che la specie possa essere estinta. Gravili et al. (2015) mostrano come 53 delle 398 specie di idrozoi del Mediterraneo (sifonofori esclusi) non siano state segnalate negli ultimi 40 anni, sollevando casi di estinzione putativa per ognuna di esse.

La scarsa continuità degli inventari di biodiversità, comunque, non rende possibile apprezzare fenomeni di estinzione di specie che non siano facilmente identificabili e la cui assenza sia particolarmente rilevante (es. mammiferi marini).

E' presumibile che i fenomeni di estinzione di specie (soprattutto quelle ad affinità fredda) siano semplicemente non rilevati, ed occorre quindi sottolineare l'importanza delle serie storiche di inventari della biodiversità che permettano di apprezzare quando la presenza di specie viene meno.

IMPATTO SUL FUNZIONAMENTO DEGLI ECOSISTEMI MARINI

La biodiversità del Mediterraneo, come evidenziato nella sezione precedente, ha subito grandi cambiamenti a seguito del riscaldamento globale, con fenomeni di mortalità massiva, estinzione putativa, e con modificazioni dovute a meridionalizzazione e tropicalizzazione. La struttura biologica degli ecosistemi (la biodiversità) è strettamente collegata al funzionamento degli ecosistemi stessi. La *Marine Strategy Framework Directive* (MSFD, Directive 2008/56/EC) definisce il buono stato ambientale (GES: Good Environmental Status) attraverso undici descrittori basati proprio su biodiversità e funzionamento degli ecosistemi.

A parte i cambiamenti più evidenti, collegati a modificazioni termiche (regressione di specie ad affinità fredda, affermazione di specie ad affinità calda), gli impatti multipli creano situazioni molto complesse in

cui non è semplice attribuire a singole variabili la responsabilità di cambiamenti strutturali e funzionali degli ecosistemi (Claudet and Fraschetti 2010).

Le sinergie tra sovrappesca, riscaldamento globale, inquinamento chimico, distruzione fisica degli habitat, modificazione degli habitat e altri impatti antropici rendono difficile stimare il ruolo preciso delle singole variabili nel determinare i cambiamenti osservati.

In una sintesi sul futuro del Mediterraneo, Boero (2014) identifica una serie di tendenze riconducibili a:

1. tropicalizzazione;
2. meridionalizzazione;
3. modificazioni nel funzionamento dei motori freddi;
4. cambiamenti nella fenologia delle specie;
5. estinzioni;
6. gelatinizzazione (aumento del macrozooplankton gelatinoso a scapito dei pesci) ;
7. distruzione di habitat.

Thiede et al. (2016), in un documento strategico commissionato dall'Unione Europea, affrontano il problema della sostenibilità nel corrente periodo di cambiamento globale, identificando una serie di criticità e azioni necessarie. Per il cambiamento climatico l'ovvia raccomandazione è di ridurre drasticamente le emissioni di anidride carbonica e di incrementare la produzione di energie rinnovabili che non implicino processi di combustione. Si raccomanda, inoltre, l'adozione di politiche "olistiche" che prevedano l'approccio ecosistemico nella gestione delle risorse, basato sulle migliori conoscenze possibili a seguito di indagine scientifica. Thiede et al. (2016) propongono l'adozione del concetto di Cella di Funzionamento Ecosistemico nella gestione dell'ambiente marino. La suddivisione dello spazio marino in sistemi costieri, profondi, e del largo non tiene conto delle connessioni che legano funzionalmente tali sistemi. Le circolazioni orizzontali e verticali innescano fenomeni di connettività che determinano sia la struttura sia la funzione degli ecosistemi. La colonna d'acqua non è definita come "habitat" nella Direttiva Habitat e gli Habitat di Importanza Comunitaria sono solo bentonici. L'habitat più diffuso dell'intera biosfera, la colonna d'acqua, è considerata un semplice "mezzo". La definizione di unità gestionali ecologicamente esplicite (le celle di funzionamento ecosistemico) permetterà, in futuro, di apprezzare meglio i rapporti di causa ed effetto nel cambiamento di struttura e funzione degli ecosistemi marini, permettendo più oculate strategie tese ad un uso sostenibile dello spazio marino.

In questo contesto, la definizione di Buono Stato Ambientale a seguito della Strategia Marina sta promuovendo importanti indagini a lungo termine sullo stato della biodiversità e del funzionamento degli ecosistemi. Si tratta di azioni ancora preliminari e grandi investimenti dovranno essere fatti per colmare cruciali carenze conoscitive (anche con la promozione di Cluster tecnologici).

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, con aumento di eventi climatici estremi;
- ii) aumento della stratificazione delle masse d'acqua che potrebbe ridurre la connessione tra ambienti profondi e costieri con alterazione dei cicli biogeochimici e biologici;
- 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.

Una sintesi degli effetti potenziali attesi per ogni tipologia di cambiamento ambientale è riportata in Tabella 1-4. La tabella riporta una valutazione degli impatti per le due macroregioni identificate per i mari italiani.

Tabella 1-3: Macroregioni climatiche marine.

Macroregioni climatiche omogenee	Descrizione delle aree climatiche omogenee principali che ricadono nelle macroregioni considerando il Mediterraneo centrale
1	<i>Cluster predominanti: 1A, 1C</i> <i>Anomalie principali: per la macroregione 1 si possono osservare due andamenti a seconda del bacino considerato; in particolare, l'area concentrata sull'Adriatico è caratterizzata da un aumento significativo dei valori di temperatura superficiale (1.5°C), invece la zona che individua il Mar Ligure e la parte settentrionale del Mare di Sardegna è soggetta ad un incremento significativo del livello del mare (9 cm).</i>
2	<i>Cluster predominanti: 2A, 2B</i> <i>Anomalie principali: per la macroregione 2, si osserva, oltre un aumento generale della temperatura superficiale, un aumento significativo del livello del mare (di circa 9 cm) che si concentra sul Mar Tirreno e sul Mare di Sardegna.</i>

Tabella 1-4: Effetti potenziali dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini italiani.

Legenda scala impatti: * Moderato, ** Medio, *** Elevato.

Cambiamenti ambientali	Impatti su organismi ed ecosistemi marini	Impatti su Macroregione 1	Impatti su Macroregione 2
Incremento delle temperature delle masse d'acqua	Modificazioni nella composizione e fenologia delle specie marine	**	*
	Maggiore penetrazione di specie aliene da ambienti a basse latitudini	***	**
	Alterazione del metabolismo e tassi di crescita degli organismi marini	***	**
	Alterazione dei cicli biogeochimici e dei tassi di decomposizione della materia organica	**	**
	Ridotta resistenza ad agenti patogeni	**	**
	Aumento fenomeni epidemiologici	**	*
	Aumento della vulnerabilità di specie ad agenti inquinanti	**	**
	Aumento della vulnerabilità di specie ad agenti inquinanti	**	**
Decremento del livello di O₂	Alterazione della biodiversità e struttura di popolamenti planctonici e bentonici	**	*
	Morie di organismi		
	Alterazione cicli biogeochimici	**	*
	Alterazione della distribuzione delle specie marine costiere	**	*
	Aumento della vulnerabilità di specie ad agenti inquinanti	**	*
Riduzione del pH delle acque marine	Alterazioni nella componente scheletrica di organismi	*	*
	Alterazione della produzione secondaria e del successo di reclutamento, con particolare riferimento alle specie biocostruttrici	*	**
	Riduzione dei tassi di crescita/rigenerazione di biocostruzioni ed habitat specifici (e.g., coralligeno)	*	*
	Alterazione della produzione primaria	***	**
Alterazione nella stratificazione della colonna d'acqua	Riduzione dell'export di produzione primaria	**	***
	Effetti negativi sull'approvvigionamento di risorse agli		

	ambienti bentonici (in particolare agli ambienti profondi)	**	**
	Alterazione nella connessione tra ambienti profondi e superficiali anche in relazione alla distribuzione di larve di organismi bentonici	**	**
Alterazioni della circolazione delle masse d'acqua marina	Alterazione dei cicli vitali e riproduttivi delle specie di vertebrati ed invertebrati marini	**	**
	Alterazione della distribuzione di uova e larve di organismi marini in fase pelagica	**	**
	Alterazione del trasporto di organismi marini planctonici e bentonici	**	**
Stressori multipli (cambiamenti globali + impatti antropici diretti)	Alterazione delle reti trofiche marine	***	***
	Alterazione della distribuzione e degli effetti dei contaminanti		
	Diminuita resistenza e resilienza ecosistemica	***	**

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI

Aree marine/costiere

Le proiezioni climatiche prendono in considerazione gli aumenti di temperatura superficiale e l'aumento del livello del mare, mostrando valori differenti (ma comunque coerenti) nelle varie aree marine che circondano la penisola.

La risposta biologica all'aumento di temperatura appare già molto chiara, con i succitati fenomeni di tropicalizzazione e meridionalizzazione. Le specie tropicali che entrano nel bacino instaurano in molti casi popolazioni ben strutturate (tropicalizzazione) e le specie che abitano i settori meridionali del Mediterraneo spostano i loro areali verso nord (meridionalizzazione). C'è da attendersi che i fenomeni continueranno.

Questo avrà ulteriori impatti sulla struttura e il funzionamento degli ecosistemi.

Rivetti et al. (2014) mostrano che gli impatti maggiori degli aumenti di temperatura sui biota marini non riguardano tanto le temperature superficiali quanto la stratificazione termica della colonna d'acqua. Lo strato riscaldato diventa sempre più ampio, il termoclino si approfonda e causa morie di massa di organismi che non sopportano le alte temperature estive e che hanno sviluppato popolazioni subito sotto la profondità media del termoclino estivo.

Sarebbe utile modellizzare non solo le proiezioni di aumento di temperatura superficiale ma anche le differenze attese nella stratificazione che influenzano ben maggiormente la distribuzione degli organismi.

L'aumento del livello del mare potrebbe portare alla "marinizzazione" delle lagune costiere, con stravolgimenti nelle aree di transizione.

Pesca marittima

Il problema della gestione della pesca risiede anche nella tardiva applicazione dell'approccio ecosistemico alla gestione di questa attività di estrazione di risorse viventi da popolazioni naturali. La pesca è l'ultima attività di questo tipo, qualcosa che a terra non è più possibile da centinaia di anni (vedi lo sfruttamento industriale dei bisonti nel West degli USA). Focalizzare l'attenzione sulle singole specie, senza tener conto dell'ecosistema che le sostiene non può portare a buona gestione. Lo dimostra il collasso della pesca e l'ammissione della necessità di un approccio ecosistemico.

La sezione "Pesca Marittima" affronta, ad esempio, il problema della transizione da un oceano di pesci a un oceano di meduse. Potrebbe esistere la possibilità di sfruttare le meduse come risorsa ittica, un'eventualità discussa da Gibbons et al. (2016), che andrebbe presa in considerazione. Inoltre, Boero et al. (2016) hanno considerato l'impatto del riscaldamento globale sulle popolazioni di meduse che, come è ben noto, competono con le larve dei pesci da un punto di vista trofico, e sono predatrici di uova e larve di pesci, con

grande impatto sul reclutamento, modificando in modo significativo la mortalità larvale che, nei correnti modelli di gestione della pesca, viene considerata come costante. Non è costante. E il funzionamento degli ecosistemi, alterati dal cambiamento climatico, aggiunge variabilità al sistema pesca.

Vale la pena di ricordare, inoltre, che l'acquacoltura è focalizzata su poche specie carnivore che di solito vengono nutrite con mangimi a base di pesci pescati da popolazioni naturali. Con ulteriore esacerbamento dell'impatto sulle popolazioni ittiche. Si tratta di impatti multipli che agiscono poi in sinergia.

Turismo

Alcuni degli impatti attribuiti all'innalzamento del livello del mare (es. erosione), con deterioramento di infrastrutture e opportunità sono solo in parte dovute al cambiamento climatico. La costruzione di infrastrutture rigide sul litorale (es. stabilimenti balneari) lo sbancamento delle dune per creare strutture abitative, la costruzione di porti, l'estrazione di sabbia dai letti fluviali, lo sbarramento di fiumi etc. contribuiscono all'erosione costiera, un fenomeno estremamente complesso. Gli impatti del riscaldamento globale sul turismo marino sono anche positivi, primo tra tutti il prolungamento della stagione balneare. Se il sistema paese non riesce a trarne beneficio, come mostrano le proiezioni, la colpa non è del riscaldamento globale ma di carenze organizzative strategiche. I ruoli delle Aree Marine Protette nella promozione turistica, e delle nuove tipologie di turismo (es. l'ittiturismo, il turismo subacqueo) non sono considerati. La situazione politica instabile in moltissimi stati prima a vocazione turistica (es. Mar Rosso) offrono enormi potenzialità di sviluppo, a saperle cogliere. I turisti vogliono andare ai tropici e il Mediterraneo si sta tropicalizzando.

NORMATIVE, PIANI E PROGRAMMI ESISTENTI PER L'ADATTAMENTO

Boyes and Elliott (2014) hanno passato in rassegna gli strumenti normativi in campo marino a livello internazionale, europeo e nazionale, descrivendolo con il termine "orrendogramma". Le due figure che mostrano (Figura 1-8 e Figura 1-9) non tengono conto, poi, della miriade di organismi che esprimono pareri a livello internazionale, tipo CIESM, IUCN, UNESCO, SPA-RAC, UNEP, FAO, MEDPAN, PLAN BLEU, e le associazioni ambientaliste disperse in una miriade di sigle che possono anche lanciare messaggi contrastanti, come pure i Ministeri e le varie Direttive Europee.

Districarsi in questa giungla di norme e organismi è praticamente impossibile e non è possibile che gli ecosistemi si adattino ad esse. Dovrebbe accadere l'opposto.

L'opposto è avvenuto con la *Marine Strategy Framework Directive* che, con il concetto di *Good Environmental Status*, definisce, attraverso il soddisfacimento di undici Descrittori, il buono stato ambientale, e prevede che sia raggiunto in tutte le acque europee entro il 2020. Se gli undici Descrittori fossero veramente perseguiti nelle loro prescrizioni non ci sarebbe bisogno di altro. Il Descrittore nr 1, ad esempio, prevede che la biodiversità sia in buono stato in tutte le acque europee entro il 2020. Se questo fosse soddisfatto, non ci sarebbe bisogno di istituire Aree Marine Protette, e tutte le leggi e direttive che parlano di biodiversità (inclusa la Direttiva Habitat) sarebbero comprese in questo semplicissimo descrittore (di difficilissima applicazione). Gli altri descrittori prevedono che il funzionamento degli ecosistemi non sia alterato dalle attività antropiche, prendendole in considerazione in modo specifico. Le due colonne portanti del GES sono, quindi, biodiversità e funzionamento degli ecosistemi. Nella Direttiva però, ogni stato è libero di ottenere il GES come meglio ritiene, con il risultato di una miriade di provvedimenti incoerenti, basati su specifiche convenienze. Il primo ostacolo al descrittore nr 1 è che non si conosce la biodiversità marina e non è ben compreso il funzionamento degli ecosistemi. Come spiegato sopra, il concetto di Celle di Funzionamento ecosistemico considera unità di conservazione e gestione ecologicamente coerenti (spazi nei quali gli ecosistemi espletano le proprie funzioni). Ancora però, la comunità scientifica, e le autorità legislative, suddividono lo spazio in porzioni funzionali e strutturali

arbitrarie che non tengono conto delle connessioni. I sistemi costieri e profondi sono connessi da correnti verticali, plancton, benthos e necton non sono compartimenti stagni e i livelli di connessione tra loro sono enormi. Considerarli come entità separate non permette una buona gestione ambientale.

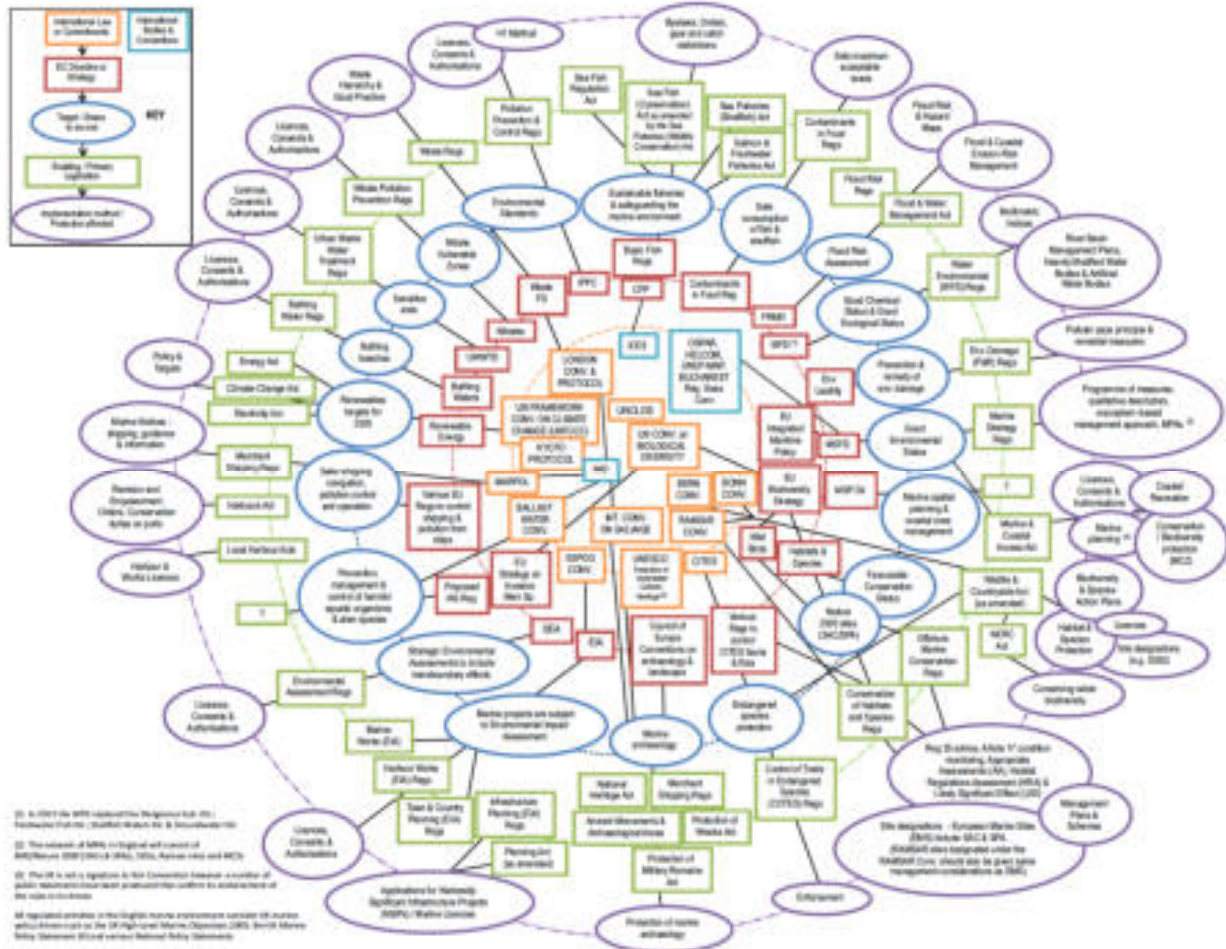


Figura 1-8: Legislazione internazionale, europea e inglese relativa alla tutela dell'ambiente marino.

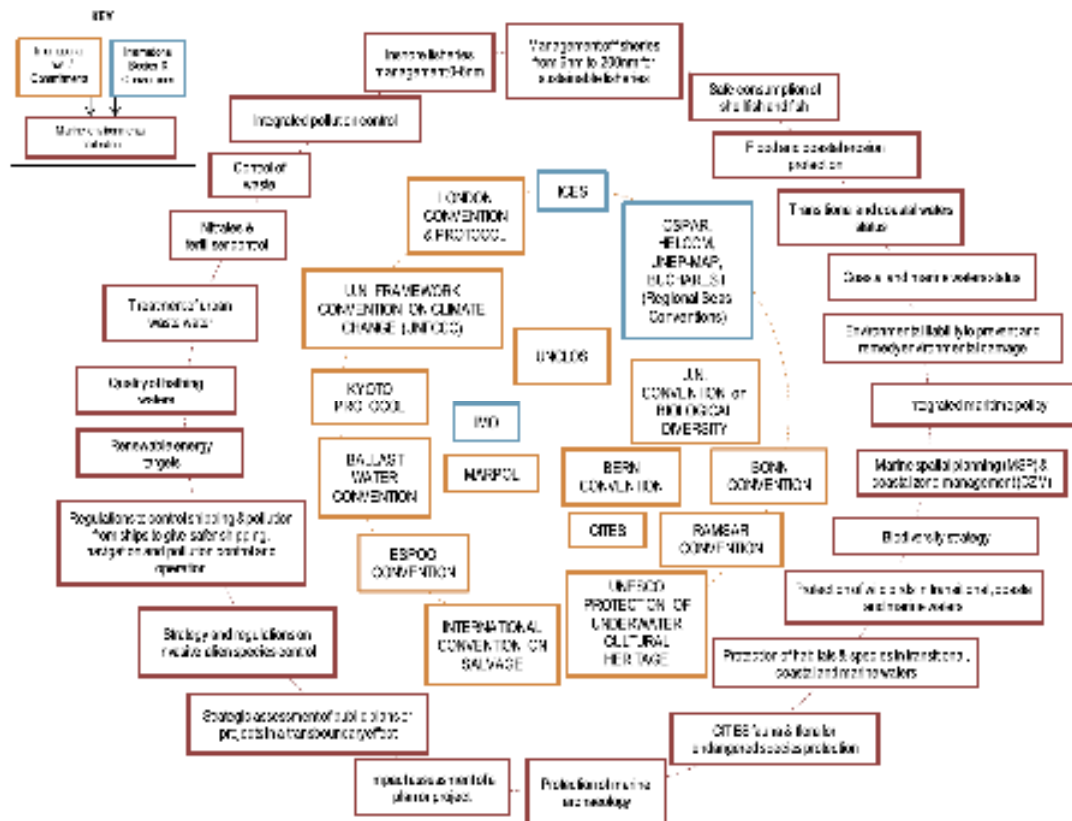


Figura 1-9: Mappa generica della protezione ambientale.

Le modalità con cui viene finanziata la ricerca hanno scadenze a breve termine e hanno approcci molto limitati che, di solito, non sono funzionali alla comprensione di come è fatto e di come funziona l'ambiente marino. Se le varie parti non vengono messe in reciproca relazione e sono studiate come entità a se stanti, non è possibile comprendere e gestire (anche con le normative) la complessità dell'ambiente marino. La semplificazione delle regole burocratiche e l'adattamento delle normative al funzionamento dei sistemi naturali (approccio ecosistemico alla normativa) sono di cruciale importanza. La *Marine Strategy Framework Directive* lo ha fatto, ma viene poi implementata in modo macchinoso e la sua entrata in vigore non ha annullato le regole precedenti, e vi si è invece sommata. Inoltre, a causa del mancato coordinamento tra gli Stati, è stata messa in atto in modo incoerente.

La comunità scientifica può solo far presente questo problema, ma è già sufficientemente impegnata a comprendere la complessità dei sistemi naturali per avere competenze e tempo da impiegare per comprendere l'inutile complessità dei sistemi normativi escogitati da una massa di legislatori probabilmente poco competenti nelle scienze dell'ambiente.

ECOSISTEMI E BIODIVERSITÀ IN ACQUE INTERNE E DI TRANSIZIONE

SINTESI

In questo capitolo vengono trattati gli impatti dei cambiamenti climatici per i principali ecosistemi di acque interne e di transizione, al fine di individuare gli obiettivi necessari alla definizione di azioni di adattamento partendo dai risultati del lavoro svolto nell'ambito della Strategia Nazionale per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

Dopo una breve introduzione sull'importanza di questi ecosistemi acquatici, soprattutto per quanto riguarda la biodiversità e i fattori che ne alterano lo stato ecologico e la vulnerabilità, sono state analizzate le varie tipologie sia degli ecosistemi di acque interne che dei differenti ambienti di transizione. Per alcune tipologie, come quelle che fanno riferimento agli ambienti di transizione aperti, viene evidenziata l'elevata resilienza tipica di sistemi adattati ad elevate variazioni ambientali mentre altre tipologie come gli ecosistemi lacustri e gli ecosistemi delle acque sotterranee sono molto più vulnerabili e difficili da gestire. In particolare è stata analizzata la qualità ambientale dei diversi ecosistemi idrici con riferimento alla Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE) evidenziando i principali impatti antropici per quanto possibile in funzione delle differenti aree climatiche e delle variazioni attese per il periodo 2021-2050. Le principali variazioni climatiche e i principali effetti attesi per ogni tipologia ambientale sono riassunti in Tabella 1-5 (ecosistemi lotici),

Tabella 1-6 (ecosistemi lentic), Tabella 1-7 (ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee), Tabella 1-10 (ecosistemi di transizione). In alcuni casi, come per gli ambienti di transizione che in questi ultimi anni sono stati oggetto di numerosi studi per valutarne lo stato ecologico, sono stati evidenziati degli indicatori o degli indici, estremamente sensibili anche a piccole variazioni ambientali. Lo scopo è semplificare e rendere la valutazione ambientale più rapida e meno costosa sia in termini di tempo che in termini economici. Infine, viene riportato un elenco delle principali normative comunitarie, dei decreti legislativi e dei piani d'intervento per mitigare gli impatti ambientali mettendo in evidenza quelle di maggior rilevanza come la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), recepita dalla legislazione italiana tramite il decreto Legislativo 152/2006 e applicata dalle Autorità di Bacino Distrettuali responsabili della redazione dei Piani di Gestione per lo più multiregionali.

INTRODUZIONE

Gli ecosistemi di acque interne e di transizione sono da ritenersi, in generale, altamente a rischio in seguito ai cambiamenti climatici sia per i notevoli impatti che questi avranno sul regime idrologico sia in quanto tali impatti vanno a sommarsi a quelli derivanti da altre pressioni antropiche, quali i prelievi idrici per uso irriguo e potabile, le immissioni di nutrienti e di sostanze tossiche, le alterazioni idro-morfologiche causate da interventi di ingegneria idraulica. Tali considerazioni non riguardano solo la realtà italiana e trovano, purtroppo, riscontro a livello globale nel declino del popolamento degli ecosistemi di acque interne, pari al 50% secondo le stime riportate in Millenium Ecosystem Assessment (MEA 2005a), da confrontarsi con il 30% per gli ecosistemi marini.

Lo stato di conservazione, la vulnerabilità di habitat e specie degli ecosistemi interni e di transizione sono strettamente collegati a quelli di altri settori da cui sono strettamente associati o dipendenti. Più che di interazioni e sinergie si dovrebbe parlare di interferenze. Infatti, gli ecosistemi acquei sono collegati a tutta una serie di attività in comune con altri settori che ne alterano profondamente lo stato ecologico. Tra questi spiccano il settore energetico, il settore agricolo, il settore delle risorse idriche, il settore turistico, il settore urbano, il settore industriale, etc.

I probabili impatti dei cambiamenti climatici su tali ecosistemi possono essere ricondotti, da un lato, all'evoluzione tendenziale su scala decennale della temperatura delle acque e del pH, e al disturbo

ecologico causato dalla maggiore frequenza con cui ci si attende si verifichino eventi estremi, quali piene e secche di intensità e frequenza superiori a quelle riscontrate negli ultimi decenni, e periodi prolungati con temperature superiori alla norma stagionale. A livello climatico, le cause principali sono da ascrivere al riscaldamento, previsto da tutti i modelli climatici e in tutti gli scenari per il nostro paese, e alle variazioni nel regime delle precipitazioni umide e nevose. Gli effetti sui principali indicatori di variazione del clima varieranno da regione a regione, come mostra l'analisi esposta nel paragrafo 1.1.1.

Le evoluzioni tendenziali sul medio periodo potranno influire direttamente sulla fenologia delle specie e sulla loro distribuzione, portando a variazioni significative a medio termine della struttura degli ecosistemi. Tuttavia, interventi a livello locale possono fare ben poco per alleviare questi impatti, la cui riduzione è legata essenzialmente alla messa in opera di misure di mitigazione, miranti a diminuire le emissioni di gas serra.

Al contrario, si ritiene che vi sia ampio margine per definire un piano di adattamento che aumenti la resilienza di questi ecosistemi, mettendoli in condizione di assorbire meglio gli shock causati dagli eventi estremi. Gli ecosistemi di acque interne o di transizione sono, di per sé, adattati a far fronte a livelli di disturbo ecologico anche elevato, in quanto l'alternanza di eventi di piena e secca, la variazione di livello dei laghi, le maree e il ricambio con le acque marine fanno parte del normale ciclo idrologico. Tale capacità è, in gran parte, legata al grado di connessione tra i diversi ecosistemi: un grado di connessione intermedia, unito alla presenza di habitat diversificati, consente lo spostamento di specie e di sostanze nutrienti, facilitando la ricolonizzazione nei casi in cui gli eventi estremi conducono ad estinzioni locali ma impedendo che vi sia un "appiattimento" della biodiversità, che si avrebbe in caso di connettività troppo elevate (Jones 2013). Tuttavia, in molti casi, interventi antropici e opere idrauliche hanno interrotto, in tutto o in parte, le connessioni di tipo laterale, longitudinale e verticale. Azioni miranti a ripristinare la varietà di habitat che caratterizzava, fino a non molti anni fa, le nostre zone montane e rurali, a rafforzare le connessioni o a crearle, dando origine a corridoi e reti ecologiche, sono quindi certamente utili a far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici. Tali interventi sono, in ogni caso, da intraprendere in quanto migliorano lo stato degli ecosistemi e, quindi, possono rientrare nelle misure previste dai piani di gestione dei bacini idrografici per raggiungere gli obiettivi fissati dal D.Lgs. 152/2006 e dalle sue successive integrazioni.

STATO DI CONSERVAZIONE, VULNERABILITÀ ED EFFETTI ATTESI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI PER GLI ECOSISTEMI INTERNI E DI TRANSIZIONE

Il raggiungimento del buono stato ecologico degli ecosistemi di acque interne e di transizione ed il suo mantenimento sono gli scopi principale della Direttiva Europea Quadro 2000/60/EC, recepita dalla legislazione italiana attraverso una serie di Decreti Legislativi. Molti corpi idrici interni e degli ambienti di transizione risultano compromessi o degradati a causa di diverse pressioni antropiche, a cui possono sommarsi i probabili impatti negativi dei cambiamenti climatici. E' innegabile quindi che il raggiungimento degli scopi della 2000/60/EC rappresenti una sfida molto complessa, a causa dei molteplici usi delle acque da parte di diversi settori produttivi che ne degradano, in qualche misura, la qualità diminuendo, in ultima analisi, la disponibilità di acqua potabile o gli usi a cui sono predisposte.

I principali elementi riguardanti lo stato di conservazione, la vulnerabilità e gli effetti attesi dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi di acque interne sono stati individuati in (Castellari et al. 2014a). In questa sezione, si è cercato di fornire, in termini qualitativi, un sintetico elenco di tali effetti in relazione alle macroregioni climatiche individuate nel paragrafo 1.1.1 e alle principali anomalie che si prevede possano manifestarsi nel trentennio 2021-2050. In generale, i due scenari di cambiamenti climatici concordano nell'indicare un aumento generalizzato della temperatura media annuale in tutte le macroregioni, mentre le previsioni riguardanti l'evoluzione delle precipitazioni sembrano essere caratterizzate da un maggior margine di incertezza. La variazione sistematica della temperatura potrà avere effetti sulla distribuzione delle specie e la biodiversità, soprattutto nei riguardi dei torrenti alpini e i tratti iniziali dei fiumi alpini.

L'incertezza sugli scenari di precipitazione rende difficile formulare considerazioni di carattere generale: alcune indicazioni sono state fornite nella Tabella 1-5, Tabella 1-6 e Tabella 1-7. I risultati di questa analisi sono riepilogati, per ogni tipologia, sulla base degli elementi significativi relativi allo stato di conservazione dei sistemi, delle variazioni climatiche attese e delle loro vulnerabilità.

Ecosistemi di acque interne

Sistemi lotici

Gli ecosistemi lotici comprendono: torrenti e fiumi alpini, ecosistemi fluviali del bacino padano-veneto e torrenti e fiumi appenninici (Tabella 1-5).

Lo stato di conservazione dei **torrenti alpini e tratti iniziali dei fiumi alpini**, in generale, può definirsi buono, in quanto gli impatti antropici, per ora, sono stati di entità inferiore rispetto a quelli relativi ai tratti planiziali. Molti corsi d'acqua risultano importanti per il sistema energetico del nostro paese, in quanto le circa 600 centrali idroelettriche presenti nell'arco alpino rappresentano una frazione non trascurabile del nostro mix energetico: tuttavia, lo sfruttamento del potenziale idroelettrico ha pesantemente alterato il regime idrologico dei tratti montani di molti fiumi alpini, che dipende in maniera significativa dai deflussi provenienti dai ghiacciai e, quindi, potrebbe cambiare in maniera rilevante nel prossimo futuro. In generale, tali ecosistemi sono da ritenersi mediamente vulnerabili ma si deve sottolineare che da loro dipende l'alimentazione degli ecosistemi fluviali e del bacino Padano-Veneto.

La funzionalità degli **ecosistemi fluviali del bacino padano-veneto** risulta spesso compromessa da interventi idraulici per la regimazione (bacinizzazione, canalizzazione), la difesa idraulica, la navigazione e dal prelievo di materiali inerti, soprattutto nel periodo 1950-1970, che ne hanno causato il dissesto idromorfologico. A tali impatti, si devono aggiungere quelli legati ai consistenti prelievi per uso agricolo, all'artificializzazione dell'uso del suolo, che ne cambia la permeabilità, all'immissione di sostanza organica, azoto e fosforo, che potenzialmente possono portare all'eutrofizzazione dei tratti planiziali a bassa velocità di corrente, nonché di microinquinanti organici e inorganici. Ciò si riflette nel deterioramento dello stato ecologico, evidenziato in particolare dal declino della flora autoctona e dall'aumento di quella alloctona. La stessa tendenza è in atto per la fauna. La vulnerabilità di questi ecosistemi è elevata (Viaroli et al., 2010).

I **torrenti e fiumi appenninici** presentano una situazione di stress simile a quella descritta per gli ecosistemi padano-veneti, accentuata però dalla forte dipendenza dalle precipitazioni, dalle loro minori dimensioni e dalla bassa permeabilità dei suoli. Per tali ragioni, il loro regime idrologico è caratterizzato dall'alternanza di piene e periodi di magra o secca ed è quindi probabile che la prevista riduzione della precipitazione estiva e la diminuzione delle giornate rigide accentui ulteriormente questo regime. In queste condizioni, c'è da attendersi un peggioramento della qualità delle acque legato all'aumento della temperatura e della concentrazione di inquinanti e alla diminuzione dell'ossigeno disciolto. Poiché dal punto di vista ecologico tali ecosistemi sono caratterizzati dalla presenza di endemismi, tra cui specie ittiche e anfibi a elevato rischio di estinzione, gli impatti sopracitati potrebbero condurre ad una perdita di habitat e di connessione laterale. La vulnerabilità di questi ecosistemi è elevata.

Tabella 1-5: Variazioni climatiche attese e principali probabili effetti sugli ecosistemi lotici.

Tipologia	Variazioni climatiche attese in base al Par. 1.1.1 per il periodo 2021-2050	Effetti attesi
Torrenti e fiumi alpini	• Aumento della temperatura media annua dell'aria di circa 1.5 °C. • Diminuzione del numero di giorni in cui la temperatura dell'aria scende sotto 0°C. • Diminuzione della copertura nevosa. • Riduzione delle precipitazioni estive	• Diminuzione del numero dei torrenti alimentati dai ghiacciai. • Diminuzione della fauna ad essi associata. • Alterazione del regime idrologico
Ecosistemi fluviali nel bacino Padano-Veneto	• Aumento della temperatura media annua dell'aria di circa 1.5 °C. • Aumento delle precipitazioni invernali. • Riduzione delle precipitazioni estive. • Aumento delle giornate con temperature dell'aria superiori ai 29.2 °C.	• Aumento della frequenza e durata dei periodi di magra nel periodo estivo. • Aumento delle precipitazioni e di conseguenza del rischio di piene in inverno. • Aumento degli effetti acuti dell'eutrofizzazione nei periodi estivi, e accrescimento del rischio di anossie. • Aumento della concentrazione degli inquinanti, a parità di carico. • Forti disturbi alla comunità macrobentonica, associati ad eventi di piena eccezionale.
Torrenti e fiumi appenninici	• Aumento della temperatura media annua dell'aria di circa 1.5 °C. • Riduzione delle precipitazioni estive, marcata nello scenario RCP4.5. • Diminuzione del numero di giorni in cui la temperatura dell'aria scende sotto 0°C.	• Aumento della frequenza e durata dei periodi di secca e magra nel periodo estivo. • Peggioramento della qualità delle acque. • Perdita di habitat e di connessione laterale.

Sistemi lentic

Gli ecosistemi lentic italiani presentano una elevata diversificazione, che in Castellari et al. (2014a) è stata sintetizzata in relazione alle seguenti tipologie: laghi d'alta quota; laghi alpini profondi; laghi poco profondi dell'Italia centrale; laghi vulcanici dell'Italia Centrale; bacini artificiali dell'Italia Meridionale e delle isole; pozze, stagni e paludi d'acqua dolce.

Lo stato ecologico dei **laghi d'alta quota**, definiti come gli specchi d'acqua lacustri situati oltre il limite della vegetazione arborea, è influenzato soprattutto dalle pressioni derivanti dalle attività di pascolo e turismo, a cui è legato il prelievo di acqua per l'innevamento artificiale. I dati riguardanti questi ecosistemi sono tuttavia ancora limitati, soprattutto per quanto riguarda la biodiversità che essi ospitano. Il loro livello e stato chimico dipende in larga misura dalle precipitazioni atmosferiche e quindi l'analisi delle loro acque può fornire elementi utili a caratterizzare la presenza di inquinamento diffuso.

La dinamica dei **laghi alpini profondi** è molto complessa, essendo strettamente legata ai cicli biogeochimici di carbonio, azoto e fosforo, a loro volta condizionati sia dall'oscillazione stagionale della temperatura, sia dagli apporti esterni di nutrienti, che dai meccanismi di trasporto, soprattutto verticale. Numerosi studi effettuati sui maggiori laghi alpini profondi indicano recenti variazioni, imputabili in qualche misura ai cambiamenti climatici. Tra esse, si possono citare: 1) un aumento, compreso tra 0,11 e 0,21 °C per decennio, della temperatura delle acque nel periodo di massima circolazione (Salmaso and Mosello 2010); 2) una sensibile diminuzione della frequenza e della profondità del mescolamento convettivo invernale e conseguente aumento dell'isolamento delle acque profonde (Ambrosetti and Barbanti 2002). Questi due fattori possono essere considerati con-cause di episodi di anossia che si sono verificati nei laghi più eutrofizzati (Lugano, Iseo e Idro). L'abbassamento del livello estivo dei laghi infatti può: 1) danneggiare la vegetazione macrofita nella fascia litoranea, favorendo il proliferare di piante non ancorate al substrato che possono aggravare la carenza di ossigeno disciolto; 2) danneggiare la comunità animale delle fasce

litoranee, favorendo la proliferazione di specie invasive. Particolarmente a rischio appaiono i bivalvi. L'ulteriore diminuzione della frequenza e dello strato interessato dal mescolamento convettivo può incrementare l'isolamento delle acque profonde, limitando, per un verso, l'apporto di nutrienti alle acque superficiali e, per un altro, la loro ossigenazione. Questo elenco, seppur non esaustivo, indica che la vulnerabilità di questi sistemi, nonostante le notevoli dimensioni di alcuni di essi possano far presumere una certa capacità di adattamento, sia elevata.

Il lago Trasimeno è il bacino lacustre più rappresentativo dei **laghi poco profondi dell'Italia centrale**, essendo il più esteso e studiato. I suoi apporti idrici sono fortemente condizionati dalle precipitazioni atmosferiche. Le previsioni relative a entrambi gli scenari utilizzati nel paragrafo 1.1.1 per macroregione 1 indicano come molto probabile l'aggravarsi delle tendenze già in atto. Alcuni segnali negativi, infatti, sono già sensibili: l'aumento della temperatura di circa 1° C e la diminuzione della precipitazione cumulativa annuale di circa 100 mm negli ultimi 20 anni ne hanno causato una sistematica diminuzione del livello. Le probabili conseguenze dei cambiamenti climatici sul livello del lago sono state analizzate in termini più quantitativi in Ludovisi et al. (2013). In base agli scenari analizzati, le misure ipotizzate, che includono l'arresto dei prelievi idrici e la diversione di acque da bacini imbriferi circostanti, non basterebbero a scongiurare il rischio di completo disseccamento del lago. La vulnerabilità è dunque molto elevata.

I **laghi vulcanici dell'Italia centrale**, quali, ad esempio, il Lago di Bolsena, sono caratterizzati da una zona litoranea poco profonda e da un cono vulcanico che può raggiungere i 200 m di profondità. Presentano uno strato ipolimnico, in generale, ben ossigenato. Dal punto di vista ecologico, la fascia costiera poco profonda è l'habitat più produttivo e attualmente è popolato da macrofite e caridi, indicatori di buona qualità ecologica. La materia organica prodotta in questi habitat è molto importante per tutto l'ecosistema, in quanto la sua rimineralizzazione fornisce nutrienti a tutta la rete trofica. La vulnerabilità di questi ecosistemi è elevata in quanto la diminuzione degli apporti meteorici e l'aumento dell'evaporazione possono comportare la diminuzione del livello di questi laghi. Variazioni anche poco marcate si traducono in apprezzabili variazioni negative delle aree litoranee, a causa della loro forte pendenza, con relativa perdita di habitat e funzionalità ecosistemica.

I **bacini artificiali dell'Italia Meridionale e delle isole** sono caratterizzati da ampie variazioni del loro livello, in quanto vengono utilizzate principalmente come riserve idriche. Ciò causa l'assenza di vegetazione nella fascia litoranea, conferendo alla comunità fitoplanctonica un ruolo principale nella produzione primaria. Si ritiene inoltre che le ampie oscillazioni stagionali di livello contribuiscano a causare fioriture di cianobatteri, in grado di rilasciare tossine (Naselli-Flores 2010), che ormai si riscontrano in circa il 60% dei bacini sardi. Le anomalie attese potranno avere impatti negativi non solo sullo stato ecologico di questi ecosistemi, ma anche in relazione al principale "servizio ecosistemico" che erogano, cioè acqua per irrigazione e consumo umano nei mesi estivi. Infatti, la proliferazione di cianobatteri potrebbe essere ulteriormente favorita dalle temperature più elevate e livelli estivi anche inferiori agli attuali, legati alla maggior evaporazione e domanda idrica. La loro proliferazione rende le acque non idonee agli usi irrigui e potabili e potrebbe quindi compromettere la principale funzione di questi bacini. Queste considerazioni fanno ritenere che tali ecosistemi siano da considerarsi molto vulnerabili.

Pozze, stagni e paludi d'acqua dolce possono essere considerati hot-spot di biodiversità ospitando un numero di specie di invertebrati rare e minacciate superiore a quello di laghi e fiumi. Nonostante siano di piccole dimensioni e spesso situati in aree marginali, ricoprono un ruolo ecologico importante, fungendo da corridoi ecologici ed esplicando un'azione filtrante per le acque drenate dal reticolo idrico superficiale. Essi stanno diminuendo rapidamente, principalmente a causa dei cambi d'uso del suolo. La loro qualità e funzionalità ecosistemica è compromessa dall'introduzione di specie aliene invasive, come il noto gambero della Louisiana. I cambiamenti climatici previsti e specialmente il riscaldamento e il conseguente aumento del tasso di evaporazione contribuirà a rendere ancora più precaria l'esistenza di questi ambienti. Particolarmente elevata risulta, al riguardo, la loro vulnerabilità nel meridione e nelle isole, nonché quella delle torbiere.

Tabella 1-6: Variazioni climatiche attese e principali probabili effetti sugli ecosistemi lentic.

Tipologia	Variazioni climatiche attese in base al Par. 1.1.1 per il periodo 2021-2050	Effetti attesi
Laghi d'alta quota (macroregioni 1, 3, 4 e 5)	Sono attesi, sia nella catena alpina, sia in quella appenninica: • Un incremento della temperatura media annuale di circa 1.2-1.5 °C; • La diminuzione del numero di giorni in cui la temperatura dell'aria scende sotto 0°C	• Variazioni nella composizione delle comunità, perdita di specie, colonizzazione da parte di specie che vivono abitualmente a quote più basse. • Aumento della produzione primaria.
Laghi alpini profondi (macroregioni 4 e 5)	• Aumento della temperatura media annua dell'aria di circa 1.5 °C. • Diminuzione del numero di giorni in cui la temperatura dell'aria scende sotto 0°C. • Diminuzione della copertura nevosa. • Riduzione delle precipitazioni estive.	• Anticipo delle fioriture microalgali primaverili, con conseguenze su tutta la rete trofica. • Aumento dei tassi di degradazione della materia organica, conseguente rilascio di nutrienti, quindi aumento del rischio di fioriture estive di cianobatteri. • Danneggiamento della vegetazione macrofita e delle comunità animali delle fasce litoranee.
Laghi poco profondi dell'Italia Centrale (macroregione 1)	• Aumento della temperatura media annua dell'aria di circa 1.5 °C. • Riduzione delle precipitazioni estive, marcata nello scenario RCP4.5. • Diminuzione del numero di giorni in cui la temperatura dell'aria scende sotto 0°C.	• Probabile disseccamento del lago.
Laghi vulcanici dell'Italia Centrale (macroregioni 2 e 3)	• Aumento della temperatura media annua dell'aria di circa 1.5 °C. • Riduzione delle precipitazioni estive, marcata nello scenario RCP4.5. • Diminuzione del numero di giorni in cui la temperatura dell'aria scende sotto 0°C.	• Diminuzione del livello di questi laghi. • Variazioni negative delle aree litoranee • Perdita di habitat e funzionalità ecosistemica.
Bacini artificiali dell'Italia Meridionale e delle isole (macroregioni 6, 2, 3)	• Aumento della temperatura media annua dell'aria di circa 1.5 °C. • Riduzione delle precipitazioni estive. • Aumento del numero di giorni con temperature superiori a 29,2 °C. • Aumento delle precipitazioni invernali • Aumento degli eventi estremi, in RCP8.5.	• Impatti negativi sullo stato ecologico e in relazione al principale "servizio ecosistemico" che erogano, cioè acqua per irrigazione e consumo umano nei mesi estivi. • Proliferazione di cianobatteri
Pozze, stagni e paludi d'acqua dolce (tutte le macroregioni)	• Innalzamento della temperatura media annuale di circa 1.5 °C	• Aumento del tasso di evaporazione

Ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee

Questi ecosistemi vengono sovente designati con l'acronimo GDE, *Groundwater Dependent Ecosystems*, al cui interno si distinguono 5 classi di sistemi, in funzione del loro grado di dipendenza dalle acque sotterranee. Questi habitat sono popolati, in generale, da specie poco resilienti, in quanto caratterizzate da cicli di vita lunghi e da scarsa fecondità. Offrono una varietà di servizi ecosistemici, tra cui la rimozione dei nitrati e la diluizione degli inquinanti. Essi e, in particolare, gli ecosistemi caratterizzati da completa e alta dipendenza, sono minacciati da diverse pressioni, quali il sovrasfruttamento della risorsa idrica sotterranea,

le escavazioni in alveo, le pratiche agricole intensive, lo scarico di reflui urbani e industriali, l'inquinamento da sostanze tossiche abusivamente interrato, a cui si aggiungono fattori di stress legati al cambiamento del clima (Galassi et al. 2014). La diminuzione delle portate idriche, prevista in molte regioni italiane, e l'intensificarsi di eventi di precipitazione estremi sono da considerarsi le due minacce principali per questi ecosistemi, che rispetto a quelli fluviali sono meno in grado di assorbire shock improvvisi. L'alternarsi di siccità e piene improvvise mina la connessione verticale, di fondamentale importanza per mantenere il livello di biodiversità di tali ecosistemi. E' inoltre probabile che l'aumento della richiesta idrica conduca ad aumentare i prelievi di acqua di falda, abbassandola e interrompendo, anche in questo caso, la connessione verticale. Queste considerazioni, unite all'ancora scarsa conoscenza della struttura e del funzionamento di questi ecosistemi, fa ritenere che debbano essere considerati molto vulnerabili.

Tabella 1-7: Variazioni climatiche attese e principali probabili effetti sugli ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee.

Tipologia	Variazioni climatiche attese in base al Par. 1.1.1 per il periodo 2021-2050	Effetti attesi
Acquiferi, sorgenti, corridoi iporreici, laghi carsici, zone umide alimentate da acque di falda (tutte le macroregioni)	- Innalzamento della temperatura media annuale di circa 1.5 °C. - Diminuzione delle precipitazioni e alternarsi di periodi siccitosi e precipitazioni molto intense.	- La connessione verticale è minacciata dall'alternarsi di siccità e piene improvvise - Aumento dei prelievi di acqua di falda, abbassandola e interrompendo, anche in questo caso, la connessione verticale.

Ecosistemi di transizione: foci fluviali e lagune

Gli ambienti di transizione definiti da McLusky and Elliott (2007) come "*aquatic areas which are neither fully open coastal nor enclosed or flowing freshwater areas*", comprendono lagune aperte come quelle dell'alto Adriatico e lo Stagnone di Marsala in Sicilia, e lagune chiuse e stagni costieri, alcuni dei quali formati da foci fluviali come il Delta del Po. Le lagune chiuse e stagni costieri sono presenti nel basso Adriatico (Lesina, Varano, Acquatina, Alimini Grande), nello Ionio (Mar Piccolo di Taranto) nel Tirreno (Orbetello, Fogliano, Caprolace) e nelle coste della Sicilia (Faro, Ganzirri, Vendicari) e Sardegna (Cabras, Santa Giusta e circa 25 piccoli bacini con una superficie <5 Km², Ceccherelli et al., 2009).

Generalmente le loro caratteristiche idro-morfologiche sono in accordo con la suddivisione della penisola italiana in aree omogenee effettuata sulla base della zonazione climatica tenendo come riferimento il periodo 1981-2010. Entrambi gli scenari climatici prevedono consistenti incrementi di temperatura ma soprattutto una marcata variazione dei periodi di piovosità che si concentrano in autunno-primavera a seconda dell'area considerata. In estate si nota invece una marcata estensione dei periodi di siccità. La tendenza è quindi una semplificazione del clima con la presenza di due sole stagioni: una piovosa caratterizzata da precipitazioni abbondanti in brevi periodi e una secca con totale assenza di precipitazioni. È chiaro che questa situazione comporta una drastica variazione delle condizioni ambientali dei nostri ambienti di transizione. Ad esempio nella laguna veneta, già dall'inizio degli anni '90 sono in atto cambiamenti climatici che hanno modificato la presenza della componente vegetale (Sfriso and Marcomini 1996) portando a una completa redistribuzione delle biomasse (Sfriso and Facca 2007).

Comunque in base alla suddivisione in aree omogenee gli ambienti di transizione italiani ricadono principalmente in 3 zone: la macroregione 1 (Prealpi e Appennino: caratterizzata da elevate precipitazioni), la macroregione 2 (Pianura Padana e coste del Tirreno settentrionale: caratterizzate dal più elevato numero di *summer days*: T < 29.2°C) e la macroregione 6 (Coste calde e secche dell'Italia meridionale e delle isole maggiori caratterizzate dalla temperatura media più alta: 16.0°C, dal maggior numero di giorni consecutivi senza pioggia: 95 giorni/anno, e dalle precipitazioni estive minori: 23 mm). Le caratteristiche

idromorfologiche degli ambienti di transizione che ricadono in queste aree riflettono in gran parte le variazioni degli indicatori climatici ad esse associati.

Le principali informazioni su questi ambienti sono riportate di seguito in forma tabellare e descritti più dettagliatamente di seguito.

Lagune aperte dell'alto Adriatico

Nelle coste italiane le lagune e stagni costieri con una superficie $> 0.5 \text{ km}^2$ sono circa 79 e occupano un'area di circa 1398 km^2 (Tabella 1-8). Nel Nord Adriatico 21 lagune, molte raggruppate alla foce del delta del Po o lungo la costa Emiliana (Pialasse), hanno una superficie di ca. il 76% del totale e la laguna di Venezia da sola (549 km^2) rappresenta circa metà di questa superficie.

Tra le lagune del Nord Adriatico le lagune di Marano-Grado, la laguna di Caorle, la laguna del Mort, la laguna di Venezia e alcune lagune del Delta del Po come Goro, Scardovari e Caleri sono lagune aperte che rappresentano circa l'85% della superficie del totale. Le rimanenti (Comacchio, Pialasse, Mesola e piccole lagune del Delta del Po) sono da considerarsi lagune chiuse come quasi tutte le altre lagune italiane (Figura 1-10).

Tabella 1-8: Lagune italiane con superficie $> 0.5 \text{ km}^2$.

Lagune e stagni costieri			
Nord Adriatico		Tutte le altre coste	
	Km ²		Km ²
Marano/Grado	157.5	Sud Adriatico	120.2
Caorle	37	Tirreno	43.9
Mort	0.5	Sicilia	22.4
Venezia	550	Sardegna	143.7
Mesola	177.5	Totale altre lagune	330
Po Delta	20.5		
Comacchio	112	Totale globale	1398
Pialasse	13	% Nord Adriatico	76.4
Totale Nord Adriatico	1068	% Altre coste	23.6



Figura 1-10: Lagune dell'alto Adriatico.

La laguna di Venezia è probabilmente la laguna più studiata al mondo e ben rappresenta le caratteristiche idromorfologiche e le criticità delle altre lagune aperte. Questo ampio bacino è poi suddiviso in innumerevoli microbacini che presentano anche le caratteristiche di gran parte delle altre lagune chiuse, pertanto ben si presta per l'individuazione di indicatori ambientali che possono essere utilizzati anche per gli altri ambienti di transizione.

I recenti monitoraggi dei corpi idrici della Laguna di Venezia (MoVECO 1: 2011 e MoVECO: 2014, Regione del Veneto - ARPAV 2011 e 2014), finalizzati alla definizione dello stato ecologico in conformità con la normativa europea (WFD 2000/60/EC) e i dati raccolti in numerosi altri progetti tra cui il Progetto LIFE12 NAT/IT/000331 – HABITAT 1150* (COASTAL LAGOON) Recovery by seagrass restoration. A new strategic approach to meet HD & WFD objectives (Acronimo: SeResto), hanno permesso di evidenziare una serie di indicatori utili per monitorare la trofia e la qualità ambientale degli ambienti di transizione.

Tenuto conto che per definizione un ambiente di transizione non è impattato da attività antropiche o da eventi climatici anomali dovrebbe essere prevalentemente colonizzato da piante acquatiche (Orfanidis et al. 2003; Sfriso et al. 2007) è evidente che ogni discostamento da questa condizione è da ricercarsi in innumerevoli fattori. Dato per scontato il ruolo primario svolto dalle attività antropiche nei cambiamenti bio-chimico-fisici di questi ambienti, come evidenziato da una vastissima letteratura, i cambiamenti climatici in atto, relativi ad un consistente incremento della temperatura e le conseguenti variazioni nella stagionalità, frequenza ed intensità delle precipitazioni hanno un importante effetto sinergico incrementando drasticamente gli effetti delle attività antropiche. Ad esempio per le coste della Pianura Padana si prevede un aumento rilevante delle precipitazioni invernali e una riduzione delle precipitazioni estive. Inoltre è previsto un aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione estremi e un aumento significativo dei *summer days*. Questo comporta notevoli variazioni ed impatti ambientali con un incremento dell'apporto di nutrienti ed inquinanti da parti dei fiumi nella stagione fredda e una riduzione in estate. Inoltre gli apporti saranno spesso concentrati in pochi giorni all'anno e associati a notevoli variazioni idrologiche con fenomeni erosivi e distruzione degli argini dei corsi d'acqua e dei bacini dove si riversano. Pertanto gran parte degli apporti di nutrienti avverranno in periodi in cui i produttori primari sono poco attivi con una perdita generalizzata di produzione primaria e una selezione delle specie dominanti. Questo sarà ancor più evidenziato dalle brusche variazioni di salinità e di temperatura causati da questi eventi di intensità anomala. Naturalmente queste variazioni non saranno costanti negli anni ma presenteranno rilevanti fluttuazioni con anni estremamente piovosi che si alternano ad anni particolarmente secchi come è successo nel bacino Nord della Laguna Veneta nel 2014 (108 giorni piovosi e una piovosità ca. 1291 mm/anno,) e nel 2015 (54 giorni piovosi e una piovosità ca. 604 mm/anno) contribuendo ancor più alla banalizzazione dei bacini (Tabella 1-9).

Tabella 1-9: Valori medi mensili del numero di giorni piovosi e delle precipitazioni piovose nel bacino nord della laguna di Venezia²⁴.

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media	Totale
Giorni piovosi														
2014	13	14	4	6	9	8	12	8	7	5	13	9	9	108
2015	3	3	6	7	9	8	6	8	4	11	1	6	6	72
Precipitazioni (mm)														
2014	176	163	84.6	34.5	121	36.5	196	56.7	148	38.5	154	87.9	108	1291
2015	18.1	40	98.1	32.7	62.4	106	63	76.7	35.7	107	10	0.53	54	650

²⁴ Da www.arpav.it.

Gli studi effettuati nella laguna veneta, ma anche nelle altre lagune dell'Alto Adriatico, permettono di individuare indicatori bio-chimico-fisici per avere indicazioni sulle variazioni trofiche e di qualità ambientale di questi ambienti a causa delle variazioni climatiche legate a un incremento di temperatura. È stato già evidenziato che nella laguna veneta variazioni climatiche con periodi primaverili estremamente piovosi o perturbati hanno portato ad una drastica riduzione delle biomasse algali (Sfriso and Marcomini 1996) e della produzione primaria totale che è diminuita di quasi un ordine di grandezza (Sfriso and Facca 2007). Sono diminuite soprattutto le distese di alghe verdi composte prevalentemente da Ulvaceae che in presenza di primavere miti e poco piovose avevano il massimo accrescimento nel periodo primaverile. Tuttavia nelle aree confinate prossime alle foci dei fiumi in questi ultimi 3 anni le Ulvaceae sono tornate a ricolonizzare i fondali lagunari. Le elevate e prolungate temperature estive delle acque che superano facilmente i 30 °C per lunghi periodi portano poi a crisi distrofiche con l'istaurarsi di condizioni ipo-anossiche e la morte della macrofauna bentonica ed ittica. Pertanto nonostante la marcata riduzione della trofia globale, elevate concentrazioni di nutrienti in aree ristrette e confinate possono creare seri problemi ambientali. In aree aperte e caratterizzate da un elevato ricambio idrico questi fenomeni non si verificano poiché i nutrienti fluiscono direttamente in mare a meno che l'ambiente non sia interessato da un'elevata trofia come avveniva nella laguna veneta negli anni '70 ed '80 (Sfriso and Marcomini 1996). Pertanto un ottimo indice per valutare la vulnerabilità ambientale è il monitoraggio della vegetazione a macrofite poiché in ambienti alterati saranno rappresentate da specie di bassa qualità ecologica come le Ulvaceae, le Cladophoraceae, Solieriaceae o le Gracilariaceae.

Inoltre il riscaldamento del Mediterraneo sta favorendo l'introduzione e diffusione di centinaia di specie aliene per lo più adattate ad elevate temperature. Un recente monitoraggio delle lagune del Nord Adriatico ha evidenziato la laguna Venezia come un hot spot di specie non indigene (NIS) con 71 specie confermate (Marchini et al. 2015) similmente alla laguna di Thau per le coste francesi e in parte al Mar Piccolo di Taranto in Puglia. La regione Pacifica è l'area di origine di gran parte delle NIS presenti nella laguna Veneta (ca. 37 %). Seguono la regione Atlantica (20 %) ed Indo-Pacific. Tra queste le macrofite sono le specie che mostrano l'introduzione più elevata con 29 NIS. Tra le specie più abbondanti sono le alghe rosse *Agardhiella subulata* (C. Agardh) Kraft et Wynne e *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss, che sebbene crescano meglio in presenza di temperature primaverili, contrariamente alle Ulvaceae, sono in grado di resistere a temperature superiori ai 30 °C, pertanto, come stiamo già osservando, saranno le future specie colonizzatrici di questi ambienti, soprattutto nelle aree a minor ricambio. Invece alcune alghe brune che hanno invaso il centro storico di Venezia e di Chioggia come *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt e *Undaria pinnatifida* sono specie fredde il cui accrescimento è limitato alla stagione invernale-primaverile. Nel Mar Piccolo di Taranto *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, dopo aver colonizzato le banchine intorno al mercato ittico è scomparsa proprio per l'innalzamento delle temperature, soprattutto quelle medie invernali. L'effetto dell'innalzamento delle temperature, soprattutto per quanto riguarda i valori minimi invernali sembra anche la più probabile causa della forte riduzione dell'alga bruna endemica dell'alto Adriatico *Fucus virsoides* J. Agardh. Questa specie assai diffusa nel mesolitorale superiore delle coste rocciose dell'Istria, del golfo di Trieste e dei manufatti rocciosi artificiali delle coste friulane e venete fino a sud della laguna veneta, in questi ultimi 3-5 anni è quasi scomparsa. Attualmente popolazioni ben strutturate sono ancora presenti nella parte più marinizzata della laguna veneta probabilmente poiché le temperature invernali sono molto più basse di quelle marine i cui minimi mostrano un significativo incremento. Tuttavia la sua quasi totale scomparsa dalle coste marine è un evidente sintomo dei cambiamenti di temperatura in atto.

Dal punto di vista chimico, anni di misure evidenziano che due semplici indicatori da rilevare nella colonna d'acqua sono le concentrazioni stagionali del fosforo reattivo e i nitriti. Questi nutrienti mostrano la massima variabilità annuale e sono i parametri più semplici da analizzare. Entrambi danno immediate informazioni sullo stato di trofia del sistema e sul dilavamento dei terreni dovuti all'aumento dei periodi di piovosità. La loro concentrazione è poi strettamente legata alla tipologia della vegetazione. Concentrazioni

superiori a 0.5-0.7 μM per entrambi i parametri indicano un'elevata trofia e compromettono la presenza di piante acquatiche specie di elevata qualità ambientale.



Figura 1-11: Lagune del basso Adriatico, dello Ionio e del Tirreno.

Lagune chiuse e stagni costieri del basso Adriatico, dello Ionio e delle coste peninsulari del Tirreno

Se le lagune ad elevato ricambio dell'alto Adriatico stanno già manifestando primi sintomi del riscaldamento in atto a causa dei cambiamenti climatici osservabili soprattutto in primavera e della variazione stagionale della portata dei corsi d'acqua, con elevate immissioni concentrate in brevi periodi, gli stagni costieri e le lagune chiuse del medio Adriatico (parte dei bacini del delta del Po, le valli di Comacchio e le Pialasse dell'Emilia-Romagna), le lagune del basso Adriatico (Lesina, Varano, Acquatina, Pantano Grande) il Mar Piccolo di Taranto e le lagune tirreniche delle coste toscane (Laguna di Orbetello) e laziali (lagune di Caprolace e Fogliano, Figura 1-11) sono esposte a rischi ancora maggiori. Sebbene sia difficile discriminare la componente antropica da quella climatica e spesso queste agiscono sinergicamente, anche per alcune di queste lagune vi è il rischio di un profondo cambiamento legato all'innalzamento della temperatura e alla variazione degli apporti fluviali. Per quanto riguarda le lagune del medio Adriatico che appartengono alla macroregione climatica 2, come quelle del Nord Adriatico, si è osservato un rapido cambio della vegetazione con la scomparsa delle piante acquatiche e la riduzione delle specie verdi come le Ulvaceae a favore delle alghe rosse come *Gracilaria vermiculophylla* e *Solieria filiformis* (Kützinger) P. W. Gabrielson, due NIS di origine Nord Pacifica e Nord Atlantica (Zenetos et al. 2010) che resistono alle elevate temperature e che hanno quasi completamente soppiantato le specie indigene. Attualmente, sebbene gli apporti di nutrienti siano in diminuzione (Solidoro et al. 2010) in alcuni bacini come la Sacca di Goro si sta assistendo alla scomparsa anche delle alghe rosse con inneschi di bloom fitoplanctonici. Il prevalere del fitoplancton in questi ambienti a basso fondale è uno stato più avanzato di degrado ambientale come è già avvenuto per le valli di Comacchio dove le macrofite sono state sostituite dal fitoplancton o addirittura dai cianobatteri (Sorokin and Zakusina 2010; Munari and Mistri 2012). Per le altre lagune tirreniche e del basso Adriatico e per Il Mar Piccolo di Taranto, dove le immissioni di acque dolci sono trascurabili, la situazione è meno critica e il pericolo sembra più direttamente legato ad un aumento di temperatura. Il bacino più a rischio è sicuramente la laguna di Lesina che presenta bassi fondali e un ricambio col mare

trascurabile. Questa laguna presenta una bassa biodiversità e condizioni ecologiche molto variabili e facilmente influenzabili, oltre che dalle attività antropiche, da variazioni del regime idrologico. Dato lo scarso ricambio col mare, la bassa profondità (<1 m) e omogeneità morfologica, la laguna di Lesina può risentire profondamente della riduzione delle precipitazioni e dell'incremento dei *summer days*. Se non saranno fatti interventi per favorire il ricambio con le acque marine, l'elevata evaporazione di quest'area favorirà una riduzione del livello delle acque e un incremento della stagnazione. Ci sarà un rischio concreto che i fenomeni ipo-anossici che ora si verificano solo nella parte occidentale del bacino, attorno al centro urbano di Lesina, si estendano anche nella parte centrale e orientale. Per quanto riguarda la Laguna di Varano, per questo bacino non si hanno molte informazioni; tuttavia essendo un bacino relativamente profondo, salvo un'eventuale sinergia con impatti antropici come la raccolta delle vongole con mezzi meccanici, non dovrebbe risentire molto delle variazioni climatiche attese.

Ben diversa è invece la situazione delle piccole lagune del basso Adriatico come la laguna di Acquatina e Pantano Grande. Sono piccoli bacini poco profondi che ricadono nella macroregione 6, la più secca e calda delle zone considerate. Pertanto c'è un rischio concreto di una loro progressiva scomparsa per evaporazione.

Il Mar Piccolo di Taranto, come per le lagune del basso Adriatico e per i bacini insulari, è soggetto a un clima più caldo e secco e con precipitazioni estive mediamente più basse (23 mm). In tal caso ci si aspetta un progressivo incremento della temperatura media dell'acqua con una riduzione o scomparsa delle specie fredde come è avvenuto per l'alga bruna *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar qualche anno dopo la sua introduzione a favore delle specie di mari caldi come l'alga rossa *Hypnea cornuta* (Kützinger) J. Agardh e l'alga verde *Caulerpa cylindracea* Sonder, specie non presenti nelle lagune più settentrionali.

Le lagune peninsulari del Tirreno (laguna di Orbetello, laguna di Fogliano e laguna di Caprolace) ricadono nella macroregione 2, come quelle del Nord Adriatico, pertanto sono interessate da una maggior piovosità invernale e una riduzione di quella estiva. Tra queste il bacino lagunare più importante è sicuramente la laguna di Orbetello, una laguna chiusa con ridotti scambi col mare, i cui livelli idraulici sono in parte regolati da idrovore. Per questa laguna, la cui trofia è particolarmente elevata (Lenzi et al. 2005) e che è gestita come una valle da pesca (Lenzi 1992), l'incremento di temperatura può essere particolarmente deleterio e portare a bloom macroalgali e condizioni ipo-anossiche sempre più frequenti. Pertanto l'effetto del riscaldamento delle acque potrebbe portare a serie conseguenze economiche con un impatto drammatico per i 5 allevamenti di acquicoltura che producono circa 3000 tonnellate di prodotti ittici per un controvalore di 25 milioni di euro l'anno di fatturato dando lavoro a circa 150 operatori e relativo indotto. In questo bacino la vegetazione è rappresentata prevalentemente da alghe verdi dei generi *Ulva* e *Chaetomorpha* che frequentemente collassano causando crisi anossiche soprattutto a Nord del centro urbano. Generalmente le biomasse algali in eccesso vengono raccolte per evitare il loro degrado ma è evidente che anche un lieve incremento di temperatura potrebbe avere conseguenze imprevedibili con un incremento della loro crescita e il completo collasso dell'ambiente con perdita parziale o totale della produzione ittica.

Per quanto riguarda le lagune di Fogliano e di Caprolace non vi sono molti studi a riguardo ma la presenza di abbondanti praterie a *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asherson e *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande e di macrofite ad elevata valenza ecologica per il momento indicano che lo stato ecologico di questi ambienti è ancora buono, nonostante si verifichino localizzate crisi ipo-anossiche soprattutto a Fogliano.

Lagune e stagni costieri della Sicilia e della Sardegna

I bacini insulari sono particolarmente abbondanti in Sardegna dove ben 26 superano i 0.5 km² ma solo 2 hanno dimensioni apprezzabili: le lagune di Cabras (22.3 km²) e di Santa Giusta (8.0 km²) (Figura 1-12). Tra i vari bacini c'è un'estrema variabilità ecologica ma generalmente quelli di maggiori dimensioni, localizzati in prossimità di aree urbane ed industriali, presentano un basso ricambio ed elevate concentrazioni di

nutrienti, soprattutto fosforo, che innescano frequenti crisi ipo-anossiche (Cabras, Santa Giusta, S'Ena Arrubia, San Teodoro). In queste lagune e soprattutto a Cabras le condizioni ecologiche sono particolarmente degradate con la predominanza di macroalghe opportuniste e blooms fitoplanctonici. Tuttavia a Santa Giusta, S'Ena Arrubia e San Teodoro sono ancora presenti popolazioni di *Ruppia maritima* Linnaeus e *Zostera marina* Linnaeus che potrebbero facilmente scomparire col peggioramento delle condizioni ambientali.



Figura 1-12: Principali lagune della Sardegna.

Altre piccole lagune con una superficie appena superiore a 1 km² presentano invece condizioni oligo-mesotrofiche (Casaraccio, Colostrai, Is Benas, Pilo etc.), in altre sono in corso attività di acquacoltura (Calich, Marceddi, Corru S'Intiri). Tutti questi piccoli bacini presentano condizioni ecologiche quasi integre che potrebbero facilmente risentire dei previsti cambiamenti climatici sia per l'innalzamento della temperatura che per un aumento dell'evaporazione che potrebbero portare seri problemi modificando l'idrodinamica e le popolazioni attualmente dominanti.

In Sicilia il numero di lagune e stagni costieri è minore (Figura 1-13). I più importanti sono: i laghi di Faro e Ganzirri, i Pantani di Vendicari e lo Stagnone di Marsala. I laghi di Faro e Ganzirri sono due piccoli bacini profondi, ma di piccole dimensioni (< 0.4 km²), che comunicano col mare attraverso piccoli canali e sono già fortemente influenzati dalle condizioni meteorologiche con elevate fluttuazioni di salinità e temperatura. I Pantani salmastri di Vendicari (Pantano Grande, Pantano Piccolo, Pantano Roveto, Pantano Sichilli e Pantano Scirbia) sono piccoli bacini che nel complesso occupano una superficie di poco superiore a 2 Km² connessi al mare da canali artificiali. Questi bacini hanno trascurabili comunicazioni tra loro e col mare e sono pesantemente influenzati dai livelli di evaporazione e dalla piovosità con elevate escursioni saline (15-120 psu). E' chiaro che un incremento delle temperature e una riduzione della piovosità avrebbero un effetto drammatico sull'esistenza di questi stagni che sono già destinati a una progressiva riduzione o scomparsa.



Figura 1-13: Lagune della Sicilia.

Infine lo Stagnone di Marsala è una laguna oligotrofica aperta di circa 20 km² localizzata sulla costa occidentale della Sicilia e suddivisa in un bacino Nord (14 km², profondità media: 1 m) e un bacino Sud (6 km², profondità media: 2 m). Le condizioni di questa laguna sono abbastanza buone nella parte settentrionale più confinata e decisamente buone nella parte meridionale più profonda. È l'unico ambiente di transizione italiano dove è presente la fanerogama *Posidonia oceanica* Linnaeus anche se ai limiti di sopravvivenza per le variazioni di temperatura e di salinità. Sono poi presenti praterie di *Cymodocea nodosa* e molte macroalghe di elevato valore ecologico. Tuttavia anche in questo bacino si sta osservando una riduzione della biodiversità per un aumento della temperatura e del livello di confinamento soprattutto nella parte più settentrionale (Calvo et al. 2009). Pertanto ulteriori incrementi di temperatura accentuerebbero questi cambiamenti facendo regredire *Posidonia* e aumentare le specie opportuniste.

Tabella 1-10: Riassunto delle informazioni sovrastanti per gli ecosistemi di transizione: foci fluviali e lagune.

Tipologia	Variazioni climatiche attese in base al Par. 1.1.1 per il periodo 2021-2050	Effetti attesi
Lagune aperte dell'Alto Adriatico (macroregioni 1 e 2)	• Aumento delle precipitazioni invernali e da una riduzione di quelle estive. • Riduzione sia delle precipitazioni estive che invernali. • Significativo aumento dei summer days.	• Incremento dell'apporto di nutrienti ed inquinanti da parti dei fiumi nella stagione fredda e una riduzione in estate. • Variazioni idrologiche con fenomeni erosivi e distruzione degli argini dei corsi d'acqua e dei bacini dove si riversano. Riduzione della produzione primaria e selezione delle specie dominanti. • Diffusione di specie non indigene (NIS) adattate a temperature elevate.
Lagune chiuse e stagni costieri dell'Adriatico, dello Ionio e delle coste peninsulari del Tirreno (macroregioni 2 e 6)	Macroregione 2: riduzione sia delle precipitazioni estive che invernali e un significativo aumento dei summer days. Macroregione 6: complessiva riduzione delle precipitazioni estive con un moderato aumento dei summer days.	• Modifiche in termini di biodiversità e condizioni ecologiche. • Elevata evaporazione. • Aumento bloom macroalgali e condizioni ipo-anossiche.
Lagune e stagni costieri della	• Aumento delle temperature.	• Elevata evaporazione.

Sicilia e della Sardegna (macroregione 6)		• Peggioramento delle condizioni ecologiche (stagnazione e forti escursioni di salinità e temperatura). • Aumento di crisi ipossiche e significative fluttuazioni di temperatura e salinità con un grave impatto sulle comunità bentoniche ed ittiche, sulle componenti vegetali e sulla biodiversità in genere.

NORMATIVE E PIANI DI INTERVENTO PER RIDURRE GLI IMPATTI

La normativa comunitaria di riferimento per la protezione degli ecosistemi di acque interne e di transizione è piuttosto complessa, in quanto sono numerose le Direttive Comunitarie, recepite dalla legislazione italiana, che disciplinano diversi aspetti relativi al contenimento degli impatti antropici su tali ecosistemi. Al riguardo, viene presentato in appendice un elenco analitico. La principale Direttiva è, tuttavia, la 2000/60/CE, nota come Water Framework Directive (Direttiva Quadro Acque), che è stata recepita dalla legislazione italiana con D. Lgs. 152/2006 - Testo Unico Ambientale, avente l'obiettivo generale di raggiungere il buono stato ecologico dei corpi idrici, definito in base ad un articolato insieme di obiettivi di qualità. La DQA, all'Art. 11, prevede la messa in opera di misure per il raggiungimento degli obiettivi, suddivise in misure di base e misure supplementari. Le prime includono le azioni già previste per ottemperare le Direttive elencate nell'Allegato VI della DQA, Parte A, e un insieme di misure che mirano a tutelare la qualità e la quantità delle risorse idriche, elencate al comma 3 dell'Art. 11, punti b-l. Le misure supplementari sono provvedimenti complementari alle misure di base, finalizzati ad assicurare il raggiungimento degli obiettivi di qualità: un elenco, non esaustivo, di tali provvedimenti si trova nell'Allegato VI della DQA, parte B. La DQA prevede cicli della durata di 6 anni, in cui sulla base della valutazione dello stato ecologico iniziale, vengono pianificate le misure per il raggiungimento degli obiettivi di qualità.

La messa in opera della DQA è demandata ai Distretti Idrografici, definiti come aree di terra e di mare, costituite da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere. In Italia, con il Decreto legislativo 152/2006 (art.63), sono stati istituiti otto Distretti Idrografici: Alpi Orientali, Padano, Appennino Settentrionale, Serchio, Appennino Centrale, Appennino Meridionale, Sardegna, Sicilia, che, tuttavia, operano ancora in fase di gestione transitoria. Nelle more della costituzione delle Autorità di bacino distrettuali, il Decreto legislativo 10 dicembre 2010, n.219, ai fini di dare attuazione agli obblighi comunitari, affida infatti il compito per le attività di revisione dei piani di gestione dei bacini idrografici alle Autorità di bacino di rilievo nazionale, di cui alla Legge 18 maggio 1989, n. 183, che provvedono all'aggiornamento svolgendo funzioni di coordinamento nei confronti delle regioni ricadenti nei rispettivi distretti idrografici. Per i Distretti in cui non è presente alcuna Autorità di bacino di rilievo nazionale (è il caso della Regione Sardegna e della Regione Siciliana), la norma prevede che provvedano le regioni. Il decreto 152/2006 (art.63) prevede l'istituzione di un'Autorità di bacino distrettuale, responsabile della redazione del Piano di Gestione (articolo 117), che costituisce stralcio del Piano di Bacino Distrettuale. Il Decreto Legislativo 152/2006, inoltre, stabilisce ulteriori obblighi in materia di pianificazione, ponendo in capo alle Regioni l'obbligo di redigere un Piano di Tutela per il proprio territorio, (art. 121), coerente, con il Piano di Gestione delle Acque, che consideri lo stato dei corpi idrici e le misure per la tutela qualitativa delle acque relativamente agli ambiti territoriali di competenza. In base a questa normativa, i Piani di Gestione vanno riesaminati e aggiornati dalle autorità competenti ogni sei anni. Nel 2016, sono stati approvati i primi aggiornamenti dei Piani di Gestione per il ciclo 2015-2012, da parte di sei degli otto Distretti Idrografici: (Padano, Alpi Orientali, Appennino Settentrionale, Serchio, Appennino Centrale, Appennino Meridionale). Per il distretto della Sardegna si è provveduto a livello regionale.

In base alle indicazioni della Commissione Europea, i piani di gestione relativi al ciclo 2015-2021 dovrebbero essere messi a punto tenendo conto dei risultati di una *"gap analysis"*, mirante a quantificare la "distanza" tra lo stato ecologico attuale e la condizione di buono stato. In questo contesto, la Commissione ha emesso nuove linee guida per la stesura dei rapporti di valutazione dello stato ecologico (WFD Reporting Guidance 2016 - versione 6.0.4), che richiede di inserire le misure previste in uno schema di classificazione basato su 25 tipologie chiave di misure, o *Key Type Measures*, KTM. Si richiede, inoltre, di associare le KTM alle pressioni che intendono mitigare e di individuare indicatori che consentano di esplicitare l'efficacia della mitigazione. Tali indicatori dovrebbero consentire di valutare in maniera quantitativa sia ciascuna tipologia di pressione che impatti in maniera negativa e significativa lo stato ecologico, sia i progressi verso il raggiungimento degli obiettivi di qualità. Ove l'utilizzo di indicatori di tipo quantitativo non fosse possibile, è comunque richiesto di indicare le motivazioni con cui sono state scelte le misure, gli obiettivi che tramite esse si intende conseguire e le modalità con cui sarà valutata la loro efficacia. Poiché le KTM 24 *"Adaptation to climate change"* e 25 *"Measures to counteract acidification"* riguardano direttamente gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi, si ritiene che la messa a punto di un piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici riguardante gli ecosistemi di acque interne di transizione debba partire da un'accurata analisi dei Piani di Gestione messi a punto dai Distretti Idrografici per il ciclo 2015-2021, valutando se e in che misura le azioni previste a breve termine contribuiscano alle KTM 24 e 25. Risulterebbe inoltre opportuno valutare le azioni previste riguardanti la KTM 21 *"Measures to prevent or control the input of pollution from urban areas, transport and built infrastructure"*, in quanto la contaminazione da queste fonti è influenzata dalla frequenza e intensità degli eventi piovosi.

A tal proposito, un primo esame della documentazione disponibile in rete alla data di stesura di questo capitolo evidenzia una diversa attenzione dei Piani di Gestione alle KTM 24 e 25: ad esempio, quello del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali²⁵, in recepimento delle indicazioni fornite dalla Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, prevede 7 azioni di adattamento specifiche e 206 misure, pari al 15,7 % del totale, coerenti con essa. A tal proposito, si ritiene che dar piena attuazione all'impianto normativo possa contribuire a migliorare il processo di pianificazione e a chiarire il ruolo dei diversi attori implicati, facilitando in tal modo, da un lato, l'armonizzazione delle KTM 24 e 25 nei piani a medio termine (ciclo 2022-2028) e la messa in opera di strategie gestionali multisettoriali, in grado di contribuire all'adattamento ai cambiamenti climatici.

Principale normativa comunitaria di riferimento per la protezione degli ecosistemi di acque interne e di transizione

Elenco delle principali Direttive Comunitarie e provvedimenti legislativi relativi al loro recepimento di potenziale interesse per la messa in opera di azioni di adattamento ai cambiamenti climatici per gli ecosistemi di acque interni e di transizione.

Direttiva	Obiettivo
Direttiva 91/271/CE - Trattamento delle acque reflue urbane.	Tutela delle risorse idriche del territorio con adeguati servizi di reti fognarie e di impianti di depurazione. Controllo di nutrienti ed inquinanti in tutti i corsi d'acqua e nei sistemi di transizione.
Direttiva 91/676/CE - Protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.	Individua misure per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento nelle zone sensibili in modo da garantire la sopravvivenza delle comunità animali e vegetali
Direttiva 92/43/CE del Consiglio conservazione degli habitat naturali e	Salvaguardia degli habitat e della flora e fauna che li abitano. Costituzione di una rete ecologica europea coerente di zone speciali

²⁵ Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque, Marzo 2016. Consultabile al: <http://www.alpiorientali.it/direttiva-2000-60/piano-di-gestione-delle-acque-2015-2021.html>.

seminaturali e della flora e della fauna selvatiche.	di conservazione, denominata " Natura 2000 " che comprende anche le zone di protezione speciale.
Direttiva 98/83/CE - Qualità delle acque destinate al consumo umano.	Disciplina la qualità delle acque destinate al consumo umano al fine di proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione delle acque, garantendone la salubrità e la pulizia.
Direttiva 2006/7/CE - Gestione della qualità delle acque di balneazione.	Salvaguardia della salute dei bagnanti. Viene proposto un approccio integrato all'interno del quale sono inseriti diversi strumenti innovativi, come i profili delle acque di balneazione, la previsione degli inquinamenti di breve durata, la classificazione delle acque di balneazione in quattro categorie di qualità, il ruolo della partecipazione del pubblico.
Direttiva 2000/60/CE – Istituzione di un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.	Salvaguardia e ripristino della qualità delle acque degli ambienti di acque interne, di transizione, marine e sotterranee. Si basa sul fatto che gli organismi (Elementi Biologici) sono in grado di rispondere agli impatti e alle pressioni antropiche modificando più o meno rapidamente la struttura e composizione delle comunità bentoniche o delle associazioni vegetali dando informazioni più esaustive rispetto al semplice monitoraggio delle sostanze inquinanti o del rilevamento dei fattori di disturbo.
Direttiva 2006/118/CE - Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.	Si occupa di definire gli standard di qualità delle acque sotterranee, i valori di fondo e i valori soglia degli inquinanti per raggiungere un buono stato chimico. Si occupa anche dell'immissione indiretta nelle acque sotterranee risultanti dall'attività umana attraverso il suolo o il sottosuolo. La Direttiva è poi attuata dal D. Lgs. 30/2009
Direttiva 2007/60/CE - Valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.	Istituisce un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.
Direttiva 2008/56/CE - Istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino).	Stabilisce un quadro e obiettivi comuni per la prevenzione, la protezione e la conservazione dell'ambiente marino contro le attività umane dannose.
Direttiva 2008/105/CE - Standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque.	Istituisce standard di qualità ambientale (SQA) per le sostanze prioritarie e per alcuni altri inquinanti come previsto all'articolo 16 della direttiva 2000/60/CE, al fine di raggiungere uno stato chimico buono delle acque superficiali e conformemente alle disposizioni e agli obiettivi dell'articolo 4 di tale direttiva.
Direttiva 2009/90/CE - Specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque.	Stabilisce specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque e fissa criteri minimi di efficienza per i metodi di analisi utilizzati dagli Stati membri per monitorare lo stato delle acque, dei sedimenti e del biota e contiene regole per comprovare la qualità dei risultati delle analisi.
Direttiva 2013/39/UE - Modifica le direttive 2000/60/CE e 2008/105/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque.	Prevede l'individuazione di sostanze prioritarie tra quelle che rappresentano un rischio significativo per l'ambiente acquatico o proveniente dall'ambiente acquatico a livello di Unione.
Direttiva 2013/39/UE - Modifica le direttive 2000/60/CE e 2008/105/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque.	Si riesamina l'elenco delle sostanze prioritarie adottato al più tardi entro quattro anni dalla data di entrata in vigore della presente direttiva e successivamente almeno ogni sei anni.
Decreto Ministeriale 131/2008 - Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi	Stabilisce i criteri per il monitoraggio e la classificazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei. I corpi idrici sono individuati in base a varie caratteristiche morfologico-ambientali (geografiche, geologiche, idrogeologiche, fisiche, chimiche e biologiche, nonché quelle

idrici, analisi delle pressioni).	socioeconomiche).
D. Lgs. 30/2009 - Attuazione della direttiva 2006/118/CE relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.	Integra le disposizioni di cui alla Parte terza del decreto legislativo n.152 del 2006. Definisce misure specifiche per prevenire e controllare l'inquinamento ed il depauperamento delle acque sotterranee.
Decreto Ministeriale 260/2010 - Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali.	Fornisce le indicazioni su come e con quale frequenza classificare lo stato ecologico e chimico dei corpi idrici identificando i siti di monitoraggio e le indagini biologiche e chimiche da effettuare.
D.Lgs. 219/2010 - Attuazione della Direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque.	Il decreto legislativo è indirizzato soprattutto alla qualità ambientale delle acque superficiali e sotterranee. Modifica alcuni aspetti del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni.
Regolamento (UE) n. 1303/2013 - Disposizioni comuni sul Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca.	Reca disposizioni comuni sul Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR), sul Fondo sociale europeo (FSE), sul Fondo di coesione, sul Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR) e sul Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca (FEAMP) e disposizioni generali sul Fondo europeo di sviluppo regionale, sul Fondo sociale europeo, sul Fondo di coesione e sul Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca.
Regolamento (UE) n. 1293/2013 - Istituzione di un programma per l'ambiente e l'azione per il clima (LIFE).	Dà indicazioni sulla tipologia dei finanziamenti per affrontare le sfide ambientali e climatiche e individua nei progetti LIFE l'opportunità di svolgere un ruolo essenziale per garantire una maggiore solidarietà e una migliore condivisione delle responsabilità ai fini della preservazione del bene comune ambientale e climatico nell'Unione.
Direttiva 2013/30/UE - Sicurezza delle operazioni in mare nel settore degli idrocarburi.	Riguarda soprattutto gli ambienti marini ma anche ambienti di transizione come la laguna veneta dove il settore idrocarburi è particolarmente attivo. Impone di mettere in atto tutte le misure adeguate per prevenire incidenti gravi in operazioni in mare nel settore degli idrocarburi (comma 1) e per limitarne le conseguenze per la salute umana e l'ambiente (comma 3).

ZONE COSTIERE

SINTESI

I cambiamenti climatici in ambiente marino sia costiero sia di mare aperto necessitano di una particolare attenzione data l'importanza strategica, ambientale, economica e sociale delle nostre coste (EC 2013a). I temi riconosciuti rilevanti nell'ambito costiero sono il riscaldamento e acidificazione delle acque marine, variazione del livello del mare, erosione costiera anche relativamente alle conseguenze che le modifiche ai processi ambientali potrebbero avere sulla fornitura dei cosiddetti "beni e servizi ecosistemici", comprese le considerazioni di natura economica e sociale, di natura giuridica e a quelle pertinenti ai grandi agglomerati urbani delle zone costiere. La zona costiera (inclusa la zona marina delle 12 miglia da costa) è qui intesa come un sistema di strette interazioni fra dinamiche naturali e antropiche dove la componente naturale è molto produttiva e di conseguenza molto produttrice di "beni" e fornitrice di "servizi" ecosistemici.

I servizi ecosistemici costieri (Daily 1997) sostengono sistemi socioeconomici attraverso le loro funzioni e la dinamica degli ecosistemi naturali, cioè fornendo beni (es. cibo, materie prime) e servizi (es. mitigazione del clima) essenziali e indispensabili al loro sviluppo e alla loro articolazione. Esistono diverse tipologie di servizi: 1) servizi di supporto relativi al ciclo dei nutrienti e della produzione primaria che possono avere sia effetti negativi (es. eutrofizzazione) che positivi (es. supporto alla produttività primaria); 2) servizi di fornitura quali la fornitura di cibo (attraverso pesca e/o acquacoltura); 3) servizi di regolazione del clima rappresentato dal fatto che l'oceano è una componente essenziale del sistema climatico globale (es. l'assorbimento/rilascio e la redistribuzione del calore e dei gas atmosferici, sequestro e rilascio CO₂ in atmosfera); 4) servizi relativi al trattamento dei rifiuti considerando che l'ecosistema marino costiero effettua una funzione di sequestro e riciclo di composti inquinanti; 5) servizi di regolazione dei rischi essendo le strutture naturali strumenti di mitigazione delle alterazioni ambientali quali ad esempio la perdita di zone costiere dovuta ad azione erosiva del mare o all'aumento del livello del mare; 6) servizi culturali offerti dalla fascia costiera in termini di Servizi estetici e Servizi Ricreativi e turistici.

Questi servizi risultano particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici (Tabella 1-12 e Tabella 1-13) con possibili conseguenze anche sui sistemi socio economici. Nel contesto di questo rapporto vengono illustrati (cfr. paragrafo 1.1.1 "Aree marine/costiere") i risultati delle simulazioni di scenario condotte considerando gli effetti del riscaldamento globale sul Mar Mediterraneo con particolare riferimento alle zone costiere. Per quanto riguarda la temperatura del mare si ipotizza un innalzamento della temperatura superficiale del mare (differenza fra il trentennio 2021-2050 rispetto al valore medio del trentennio 1981-2010) compreso fra 1 e 2 °C che potrà determinare un impatto ad esempio sui "servizi ecosistemici di supporto" e sui servizi di "fornitura". L'aumento di temperatura degli strati superficiali dell'oceano determinerebbe un aumento della differenza termica rispetto agli strati maggiormente profondi e quindi una maggiore stratificazione verticale. In un contesto costiero l'aumentata stratificazione, congiuntamente ai processi eutrofici, comporterebbe una ridotta ventilazione e di conseguenza il possibile instaurarsi di condizioni di anossia. Nel paragrafo 1.1.1 relativo alle Aree Marine/Costiere, è stata tentata una valutazione di questa possibilità calcolando per i mari italiani "l'indice di rimescolamento" (Fratianni et al. 2016). L'indice è stato calcolato relativamente ai periodi 1981-2010 e 2021-2050 e l'analisi non ha indicato differenze significative nel valore dell'indice calcolato nei due periodi nonostante l'effettivo riscaldamento della superficie marina.

Questo tipo di variazione viene inteso relativamente a tutto "l'Oceano costiero", vale a dire il dominio marino con una profondità del fondale compresa fra 0 e 200 m. Per profondità molto ridotte (molto vicino alla costa) si avrebbe un sistematico innalzamento del valore di temperatura ad ogni profondità, con effetto sulle condizioni di stratificazione (possibilmente) poco significativo. Tuttavia, se congiuntamente al processo di innalzamento della temperatura dovessero verificarsi anche processi di riduzione delle condizioni di rimescolamento (ad esempio a causa di una riduzione del forzante ventoso), allora si potrebbero verificare, per

periodi di tempo limitati ma forse significativi, non un abbassamento del termoclino, bensì una stratificazione maggiormente superficiale tendente ad isolare la parte inferiore della colonna d'acqua costiera, limitandone comunque la ventilazione.

Il capitolo relativo alle Aree Marine/Costiere riporta anche una valutazione della variazione del livello del mare definita calcolando la differenza fra livello del mare simulato relativamente ai periodi 2021-2050 e 1981-2010. I risultati relativi ai mari italiani indicano un aumento di livello decisamente significativo e compreso fra i 7 ed i 9 cm. Una variazione “media” di livello del mare di questa portata avrebbe un impatto assai importante in termini erosione delle coste ed esposizione alle inondazioni. Infine, per le zone costiere dei mari italiani gli scenari indicano, rispetto al periodo 2001-2010, un processo di acidificazione quantificabile in una riduzione omogenea del valore di pH pari a 0.1 unità nell'arco dell'intero anno, in accordo con le stime relative agli oceani su scala globale prodotte nell'ambito del progetto CMIP5.

INTRODUZIONE

L'Unione Europea ha dedicato un documento specifico ai cambiamenti climatici in ambiente marino sia costiero sia di mare aperto (EC 2013a), che ha portato alla definizione di strategie e piani di adattamento. La specifica attenzione riservata al mare, ed in particolare alle zone e agli ambienti costieri, ne sottolinea l'importanza strategica, ambientale, economica e sociale. Questo capitolo tratta dei processi ambientali potenzialmente soggetti alle variazioni climatiche con esclusivo riferimento alle zone costiere. La trattazione riprende in particolare alcune delle problematiche esplicitamente citate dal documento EU (riscaldamento e acidificazione delle acque marine, variazione del livello del mare, erosione costiera), ma tratta anche, in un contesto più ampio di quello strettamente ecologico, le conseguenze che le modifiche ai processi ambientali 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 e a quelle pertinenti ai grandi agglomerati urbani delle zone costiere.

La zona costiera e i cambiamenti climatici

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 aree 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). Da un punto di vista pratico, in questo rapporto si considera come componente “marina” della zona costiera le aree marine sino alla distanza di 12 miglia nautiche dalla linea di costa, vale a dire il limite delle acque territoriali.

La zona costiera, e i servizi ecosistemici ad 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 antropiche, su cui i cambiamenti climatici agiscono sinergicamente e simultaneamente attraverso influenze esterne sia “marine” sia “terrestri”. I principali processi modificabili dai cambiamenti climatici sono prevalentemente di tipo fisico-chimico, e 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.

I servizi ecosistemici costieri sensibili ai cambiamenti climatici

I sistemi socio-economici sono strutturalmente sostenuti dalle funzioni e dalla dinamica degli ecosistemi naturali, che forniscono “Beni” (cibo, materie prime, prodotti farmaceutici) essenziali e indispensabili al loro sviluppo e alla loro articolazione.

In aggiunta a quanto sopra, gli ecosistemi naturali forniscono anche “servizi” essenziali assolutamente indispensabili agli esseri umani e ai loro sistemi socio-economici. La gamma di servizi ecosistemici d’immediata rilevanza per i sistemi socio-economici è molto ampia 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;
- parziale stabilizzazione del clima;
- moderazione delle escursioni termiche;
- supporto alle differenti culture;
- capacità ricreativa, estetica e intellettuale.

Il “Millennium Ecosystem Assessment” (MEA 2005b; Beaumont et al. 2007), ha suddiviso i servizi ecosistemici in quattro grandi categorie generali (Tabella 1-11):

Tabella 1-11: “Millennium Ecosystem Assessment”²⁶, suddivisione dei servizi ecosistemici.

Servizi	Funzione	Esempio
Approvvigionamento	Forniscono i beni veri e propri	Cibo, acqua, legname e fibra
Regolazione	Regolano il clima e le precipitazioni	Acqua (ad es. le inondazioni), i rifiuti e la diffusione delle malattie;
Supporto	Comprendono la fotosintesi e il ciclo nutritivo alla base della crescita e della produzione.	Produzione primaria e cicli biogeochimici
Culturali	Relativi alla bellezza, all'ispirazione e allo svago che contribuiscono al benessere spirituale	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). Pertanto nel seguito di questa trattazione viene adottata la definizione di “Ecosystem Services” elaborata dal “Millennium Ecosystem Assessment” (MEA 2005b) e quindi sono definiti come “servizi ecosistemici” tutti quei benefici che gli esseri umani ottengono dagli ecosistemi.

Di seguito sono elencati i principali servizi ecosistemici delle zone costiere (Molnar et al. 2009), sottolineandone l’importanza e la possibile sensibilità ai cambiamenti climatici. I servizi sono stati raggruppati secondo le quattro categorie definite da MEA (2005) e la Tabella 1-12 riassume i servizi considerati in termini di descrizione, importanza per le zone costiere e sensibilità ai cambiamenti climatici.

²⁶ MEA 2005b; Beaumont et al. 2007.

Servizi di supporto (Supporting)

I servizi ecosistemici di supporto particolarmente rilevanti per la zona costiera dipendono principalmente dalle caratteristiche dell'ecosistema marino che svolge i due importanti servizi relativi al ciclo dei nutrienti e della produzione primaria.

Ciclo dei nutrienti

Il mantenimento, la conservazione e il rinnovo degli “stocks” di sali nutritivi dell'oceano sono un servizio fondamentale fornito dall'ecosistema marino (MEA 2005a). In particolare nella zona costiera un accumulo di nutrienti può determinare processi acuti di eutrofizzazione (Vollenweider 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, la produzione primaria (si veda sotto).

La capacità e l'efficienza del sistema marino costiero di riciclare efficientemente nutrienti dipendono essenzialmente da due fattori:

- L'apporto di sostanze nutritive di origine continentale in mare
- 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 microfitoplancton e non destano particolare preoccupazione, anzi, sono importanti in termini produttivi, in quanto svolgono un importante ruolo nell'innescare della cosiddetta catena alimentare “erbivora” che sostiene livelli trofici superiori (popolazioni ittiche) anche commercialmente sfruttabili. D'altro canto Rabalais et al. (2009) riportano la possibilità che l'input di sostanze nutritive (in assenza di appropriate strategie gestionali) nel mare costiero continui ad aumentare a causa dell'aumento di popolazione e attività industriali e agricole.

Produzione primaria

Le aree marine costiere, sebbene rappresentino 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, etc.) sono sede di processi di ovodeposizione, nursery e reclutamento di molte specie ittiche. Tali processi presentano un'elevata variabilità stagionale, risentono di repentine variazioni meteorologiche e sono estremamente sensibili alle pressioni antropiche (apporto microinquinanti, costruzione infrastrutture difesa costa, porti, etc.). Enfatizzare eccessivamente l'importanza di questo servizio ecosistemico è francamente difficile sia a livello locale (costiero) sia 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 potrebbero modificare (rinforzandoli o attenuandoli) i processi di upwelling costiero (Bakun 1990), 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 di seguito.

Servizi di fornitura (Provisioning)

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 and Christensen 1995).

In aggiunta a variazioni indotte sulla pesca dall’alterazione della produzione primaria, Roessig et al. (2004) riportano possibili variazioni nella distribuzione di popolazioni ittiche dovute a (relativamente piccole) variazioni di temperatura, di ossigeno, o del valore di pH come conseguenza dell’assorbimento oceanico della CO₂ atmosferica, insieme a possibili variazioni nei pattern di distribuzione e migrazione dovute a variazioni nel sistema di circolazione generale dell’oceano.

MacNeil 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 (CO₂) disciolta nell’oceano (Orr et al. 2005). Nelle aree marine costiere, processi non legati alla dissoluzione della CO₂ 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 (Hofmann et al. 2010).

Per le zone costiere dei mari italiani gli scenari climatici del Mare Mediterraneo relativi al periodo 2041-2050 indicano, rispetto al periodo 2001-2010, un processo di acidificazione quantificabile in una generalizzata (spazialmente costante) riduzione del valore di pH pari a 0.1 unità nell’arco dell’intero anno, mentre la variabilità stagionale del pH simulata nello scenario futuro è comparabile a quella del clima attuale per tutte le aree costiere. Questa tendenza è confrontabile con le stime relative agli oceani su scala globale prodotte nell’ambito del progetto CMIP5 (Bopp et al. 2013).

Le maggiori conseguenze di un mare costiero più “acido” riguarderanno principalmente e ovviamente tutti quegli organismi marini caratterizzati da strutture di supporto e difesa costituite da elementi calcarei (i cosiddetti “calcifying organisms”). Di conseguenza tutte quelle attività basate sulla raccolta di organismi calcarei (molluschi) sono particolarmente a rischio di impatto economico (e di conseguenza sociale)(Cooley and Doney 2009).

Un’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 (2010) 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. È 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.

Tabella 1-12: I principali servizi ecosistemici svolti dalle zone costiere.

Servizio	Descrizione	Importanza costiera	Sensibilità ai cambiamenti climatici
Ciclo dei nutrienti	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”.
Produzione Primaria	Produzione di energia chimica, sotto forma di composti organici a partire 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 rappresentano l’ecosistema marino maggiormente produttivo.	Alterazioni del Servizio si rifletterebbero in cascata sui servizi di “fornitura”, modificando le risorse disponibili per le attività alieutiche e di acquacoltura e anche sul servizio di regolazione del clima.
Cibo	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
Regolazione clima	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)
Trattamento rifiuti	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.
Regolazione rischi	“Assorbimento” (dampening) 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.
Estetico	Ambienti naturali in equilibrio con la pressione antropica costituiscono un “paesaggio” con un indubbio e notevole valore estetico.	Il valore estetico di numerosi settori delle zone costiere Italiane è estremamente importante per ragioni culturali ed economiche.	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 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 un’importante voce dell’economia nazionale.

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, modulando nel tempo e nello spazio le modificazioni antropiche del clima. La componente marina delle zone costiere costituisce una parte di questo sistema (Heckbert et al. 2011), che essendo caratterizzato da livelli elevati di produzione primaria, contribuisce localmente e globalmente alla regolazione del clima, sequestrando e rilasciando CO₂ in atmosfera.

Va comunque sottolineato che, in un certo senso (e in questa sede), oltre che un attore fondamentale della realizzazione di questo servizio, le zone costiere possono anche essere considerate come “fruitrici” dell'effetto di regolazione esercitato dall'oceano sul clima. Infatti, la tradizionale caratteristica “temperata” del clima delle zone costiere costituisce un tratto fondamentale di queste zone che ne delinea e definisce in maniera sostanziale i servizi cosiddetti “culturali” (si veda più sotto).

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 2005b) 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 degradabili 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 chimica, fisica ed ecologica dell'ecosistema marino costiero (temperatura, stratificazione, 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. 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, etc.) sono visivamente presenti sia sul litorale, che in mare. Si depositano sul fondale o fluttuano lungo la colonna d'acqua. I processi di degradazione 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 all'azione erosiva del mare o all'aumento del livello del mare (MEA 2005b; Beaumont et al. 2007). Le aree costiere globali sono progressivamente soggette al maggior rischio di inondazione (Molnar et al. 2009). Molte delle coste oggi non ritenute in erosione, lo sono solo 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, amplificando l'erosione in alcune aree e determinando lo spostamento di alcuni tratti di litorale a ridosso di tali strutture.

Le coste 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) Gli effetti del sollevamento eustatico sono amplificati dai movimenti isostatici, tettonici e di subsidenza antropica; tale effetto è ulteriormente aumentato dalla presenza di un certo numero di aree costiere depresse, cioè già oggi sotto il livello del mare.

Servizi culturali (Cultural)

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 anche perché da esso ne deriva il servizio di tipo ricreativo e turistico.

Servizi Ricreativi e turistici

I servizi ricreativi e turistici (si veda lo specifico capitolo di questa relazione) 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 la perdita di valore estetico e/o di fruibilità (e il conseguente danno economico) può essere determinato sia da alterazioni ambientali che da azioni di adattamento (sostituzione artificiale di servizi ecosistemici naturali) (Tabella 1-13).

Tabella 1-13: I principali servizi culturali svolti dalle zone costiere.

Servizio	Descrizione	Importanza costiera	Sensibilità ai cambiamenti climatici
Estetico	Ambienti naturali in equilibrio con la pressione antropica costituiscono un "paesaggio" con un indubbio e notevole valore estetico.	Il Valore estetico di numerosi settori delle zone costiere Italiane è estremamente importante per ragioni culturali ed economiche.	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 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 un'importante voce dell'economia nazionale.

SCENARI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO E VARIAZIONI NEI SERVIZI ECOSISTEMICI

Nel contesto di questo rapporto vengono illustrati (cfr. paragrafo 1.1.1 “Aree marine/costiere”) i risultati delle simulazioni di scenario condotte considerando gli effetti del riscaldamento globale sul Mar Mediterraneo con particolare riferimento alle zone costiere (intese come tratto di mare compreso fra la costa e le 12 miglia nautiche). Qui di seguito si fornisce una sintetica descrizione dei possibili effetti che le variazioni evidenziate possono avere sui servizi ecosistemici.

La variazione di temperatura

Il paragrafo 1.1.1, che descrive le possibili variazioni climatiche nelle aree marine/costiere, e che si basa su simulazioni numeriche di scenario, indica per l'intero bacino Mediterraneo un innalzamento della temperatura superficiale del mare (differenza fra il trentennio 2021-2050 rispetto al valore medio del trentennio 1981-2010) compreso fra 1 e 2 °C. La relazione riporta anche indicazione delle variazioni di temperatura superficiale relativamente al ciclo annuale dei mari costieri italiani. Questo tipo di analisi conferma ovviamente il processo di innalzamento della temperatura del mare, che per tutti i mari italiani risulta essere pressoché costante in ogni mese, senza alcuna variazione significativa nelle caratteristiche del ciclo stagionale.

L'innalzamento della temperatura può determinare un impatto sui “servizi ecosistemici di supporto” in quanto la temperatura regola il metabolismo di tutti gli organismi viventi. Di conseguenza la variazione positiva di temperatura può contribuire ad alterare il servizio “ciclo dei nutrienti e produzione primaria” accelerando sia i processi di rimineralizzazione batterica della sostanza organica che quelli di fissazione del carbonio inorganico (fotosintesi). Inoltre, variazioni di temperature possono alterare la presenza e la distribuzione di specie commercialmente sfruttabili nelle zone costiere, con conseguente alterazione dei servizi di “fornitura”.

Si è detto che gli effetti delle variazioni climatiche debbono essere valutati congiuntamente all'impatto della pressione antropica sul mare costiero. In questo senso una “accelerazione” del servizio “ciclo dei nutrienti” in concomitanza di una continua pressione eutrofica potrebbe avere effetti sinergici, in quanto si velocizzerebbero sia i processi di rimineralizzazione che quelli fotosintetici, con un possibile conseguente aumento della produzione di sostanza organica marina. Tuttavia una valutazione di questo possibile effetto richiede la conoscenza delle variazioni indotte dal riscaldamento sulla struttura idrologica verticale dell'oceano costiero.

A questo proposito l'aumento di temperatura degli strati superficiali dell'oceano determinerebbe un aumento della differenza termica rispetto agli strati maggiormente profondi e quindi una maggiore stratificazione verticale. Conseguenza dell'aumentata stratificazione sarebbe una riduzione dei processi di rimescolamento, che operano la ventilazione della parte profonda del mare. In un contesto costiero, soggetto sia ad una variazione di temperatura che a persistenti apporti eutrofici, l'aumentata stratificazione, congiuntamente ai processi eutrofici, comporterebbe una ridotta ventilazione e di conseguenza il possibile instaurarsi di condizioni di anossia.

Nel paragrafo relativo alle Aree Marine/Costiere, è stata tentata una valutazione di questa possibilità calcolando per i mari italiani “l'indice di rimescolamento” (Fratianni et al. 2016). L'indice è stato calcolato relativamente ai periodi 1981-2010 e 2021-2050. L'analisi preliminare non ha indicato differenze significative nel valore dell'indice calcolato nei due periodi nonostante l'effettivo riscaldamento della superficie marina. Tale risultato deve però essere considerato come preliminare e richiede un'accurata valutazione sia delle caratteristiche dei modelli utilizzati (risoluzione orizzontale e verticale) che della metodologia di calcolo dell'indice di rimescolamento.

Si sottolinea infine come il riscaldamento marino avrebbe (seppure marginalmente) un effetto positivo sul “servizio ricreativo” effettuato dai mari costieri, in quanto un mare più “caldo” sarebbe maggiormente attrattivo e fruibile.

La variazione del livello del mare

Il paragrafo 1.1.1 relativo alle Aree Marine/Costiere riporta anche una valutazione della variazione del livello del mare definita calcolando la differenza fra livello del mare simulato relativamente ai periodi 2021-2050 e 1981-2010. I risultati relativi ai mari italiani indicano un aumento di livello decisamente significativo e compreso fra i 7 ed i 9 cm. Una variazione “media” di livello del mare di questa portata avrebbe un impatto assai importante sulle coste in termini di erosione delle coste ed esposizione alle inondazioni. 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).

NORMATIVE E PROGRAMMI ESISTENTI PER L’ADATTAMENTO

Una esauriente panoramica dell’attuale assetto normativo relativo alla gestione delle zone costiere anche in relazione ai cambiamenti climatici può essere consultata nel capitolo “Zone Costiere” della SNACC (Castellari et al. 2014b). Si rimanda quindi alla consultazione di tale testo per un approfondito panorama conoscitivo. In questa sede si ribadisce come gli strumenti normativi centrali per un effettivo sviluppo di azioni di adattamento ai cambiamenti climatici, relativamente alle zone costiere, siano:

- La predisposizione di un’adeguata Strategia Nazionale per la gestione integrata delle zone costiere (Strategia GIZC)
- L’implementazione della direttiva UE sulla Strategia per l’ambiente marino

La predisposizione di una Strategia GIZC costituisce infatti un efficace strumento di *governance* delle zone marino-costiere, attraverso il quale possono essere implementate, in maniera integrata, le azioni di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici sui servizi ecosistemici delle zone costiere.

Infatti le raccomandazioni EU che richiedono agli stati membri l’implementazione della strategia GIZC riconosce esplicitamente la necessità di tutelare e preservare il patrimonio ambientale, economico, sociale, culturale e anche ricreativo delle zone costiere anche in relazione ai cambiamenti climatici.

La direttiva sulla strategia per l’ambiente marino ha assunto l’obiettivo di proteggere e preservare l’ambiente marino, prevenirne il degrado degli ecosistemi, garantire la salute umana e l’utilizzo sostenibile 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 rivolto alla gestione e al mantenimento dei servizi forniti dagli ecosistemi.

TERRA

DISSESTO GEOLOGICO, IDROLOGICO E IDRAULICO

SINTESI

I fenomeni di dissesto geologico, idrologico e idraulico sono diffusi e frequenti in Italia dove provocano gravi danni e costituiscono una seria minaccia per la popolazione. Sebbene le peculiarità del territorio italiano (geomorfologia, meteorologia e climatologia) giochino un ruolo fondamentale nell'origine di tali fenomeni, diversi fattori antropici contribuiscono in maniera determinante all'innescare o all'esacerbazione delle loro conseguenze. In tale ottica, i potenziali incrementi indotti dai cambiamenti climatici sulla frequenza e intensità di alcune tipologie di eventi atmosferici (ad esempio, piogge di breve durata ed elevata intensità) che regolano l'occorrenza dei fenomeni di dissesto potrebbero rappresentare un sostanziale aggravio delle condizioni di rischio corrente; al contempo, altri fenomeni potrebbero presentarsi con minore frequenza in virtù di variazioni di segno o effetto opposto (ad esempio, l'incremento delle perdite per evaporazione e traspirazione). Attualmente, notevoli e diverse fonti di incertezza (tra le altre, la quantità e qualità delle serie storiche di osservazioni, carenze delle attuali catene modellistiche di simulazione climatica, contemporanee variazioni nell'uso e nella copertura del suolo e dei livelli di antropizzazione) rendono complessa ed incerta la stima della variazione di occorrenza e magnitudo dei fenomeni di dissesto. Nondimeno, data la rilevanza e la diffusione del problema sull'intero territorio nazionale, la definizione delle azioni di adattamento e dei contesti prioritari su cui operare per mitigare gli effetti di tali fenomeni ha un ruolo cruciale. Nel capitolo sono prima presentati i principali risultati delle analisi condotte sulle serie di precipitazione osservata attualmente disponibili sul territorio italiano. Quindi, per le diverse "macroregioni climatiche" omogenee individuate nel paragrafo 1.1.1 sono esaminate le variazioni attese sull'orizzonte temporale 2021-2050 e per i due scenari di concentrazione RCP4.5 e RCP8.5 nei valori di diversi indicatori reputati di interesse per l'innescare dei fenomeni di dissesto. Successivamente, è condotto un ampio excursus del quadro normativo nazionale sulle tematiche di interesse a partire dagli anni '60 (Commissione De Marchi e Conferenza Nazionale delle Acque) sino agli ultimi provvedimenti nazionali (D.Lgs. 49/2010), europei (Direttiva 2007/60/CE) e internazionali (Sendai Framework). Sulla base di tali elementi, nell'ultima parte è infine proposta una sintesi delle linee di azione per la mitigazione del rischio e l'adattamento.

INTRODUZIONE

Inondazioni, frane, colate di detrito, erosioni e sprofondamenti sono fenomeni endemici e diffusi in Italia. Nel corso degli ultimi anni, in differenti occasioni (Liguria 2011, 2013, 2016; Emilia Romagna 2015; Sardegna 2013; Sicilia 2009, 2011, 2016; Piemonte 2016) si sono registrati danni ingenti e vittime. A tal proposito, il dataset globale EM-DAT (<http://www.emdat.be/>) nel quale sono riportati gli eventi di maggiore impatto (più di dieci vittime o di cento feriti, la dichiarazione dello stato di emergenza o la richiesta di assistenza internazionale) stima per il territorio italiano dall'inizio del nuovo millennio l'occorrenza di circa trentacinque eventi di differente intensità che hanno causato nel complesso più di duecento vittime e duecento feriti con danni economici per diverse decine di milioni di euro. Tali eventi recenti hanno riportato l'attenzione su come i cambiamenti climatici e ambientali modifichino la frequenza, l'intensità e l'impatto dei fenomeni di dissesto geologico, idrologico ed idraulico in termini di perdita di vite umane e di costi economici. Tra i possibili effetti del cambiamento climatico esiste consenso nell'ascrivere un ruolo importante all'aumento delle temperature, con conseguente effetto sullo scioglimento della neve, del ghiaccio e del permafrost. Gli effetti sul regime delle precipitazioni sono meno certi, e sono in corso di analisi da parte di numerosi gruppi di ricerca nazionali ed internazionali. Agli effetti indotti dalle variazioni

climatiche si sovrappongono gli impatti dovuti all'antropizzazione. L'espansione urbana (cfr. Sezione "Insediamenti urbani") che ha interessato l'Italia dal dopoguerra ad oggi, l'occupazione delle aree periferiche e la conseguente artificializzazione della rete idrografica, lo sviluppo di insediamenti, strutture e infrastrutture in aree collinari e montane, hanno portato all'occupazione di territori fragili, alla diminuzione degli spazi a disposizione di fiumi e torrenti, alla concentrazione delle onde di piena (picchi più elevati, ampiezze minori e tempi di traslazione minori) e alla riduzione della permeabilità dei suoli, esponendo ad un rischio elevato una parte consistente della popolazione. La qualità, a volte lontana dall'ottimale, degli insediamenti, delle costruzioni e localmente anche delle opere di difesa ha contribuito ad aumentare la vulnerabilità e i livelli di rischio.

Dal dopoguerra in poi, i danni economici prodotti dai dissesti sono aumentati e superano oggi i due miliardi di euro l'anno. Anche la probabilità degli eventi sta cambiando, soprattutto se si considerano gli eventi di pioggia di breve durata ed elevata intensità. Un piano di adattamento sostenibile, che riduca il dissesto considerandone le possibili variazioni geografiche e temporali in risposta ai cambiamenti climatici e ambientali in atto e previsti, necessita di un sistema articolato di azioni sinergiche.

I fenomeni di dissesto sono legati alle complesse e non del tutto note interazioni fra le caratteristiche territoriali (naturali e antropiche) e le condizioni geologiche, idrologiche, meteorologiche e climatiche. Le variazioni climatiche e ambientali in atto e previste e l'avvicinamento degli insediamenti umani alle aste fluviali e ad aree soggette a rischio da frana, rendono ancora più urgente affrontare il dissesto. È necessario agire in modo sinergico, a più scale geografiche, temporali, organizzative e operative, ed è importante operare alle scale compatibili con i processi che si affrontano, arrivando dove necessario alla scala del reticolo idrografico o del singolo versante.

AGGIORNAMENTO SU VULNERABILITÀ E RISCHI

L'impatto del cambiamento climatico sul rischio geologico, idrologico ed idraulico si estrinseca principalmente attraverso il cambiamento delle temperature e del regime delle precipitazioni, che si verifica con modalità fortemente variabili nello spazio e nel tempo, ed è influenzato da condizioni naturali e antropiche locali. La pianificazione di azioni di adattamento efficaci ed efficienti deve necessariamente basarsi sull'interpretazione dei cambiamenti, e pertanto è necessario un continuo monitoraggio e aggiornamento delle conoscenze.

Mentre le variazioni di temperatura sono state estensivamente studiate dalla letteratura specializzata, alla quale si rimanda per approfondimenti (IPCC 2013), i cambiamenti del regime delle precipitazioni si verificano con spiccata eterogeneità spaziale, che è necessario interpretare per pianificare efficienti azioni di mitigazione. La letteratura propone due strumenti di indagine: (i) l'analisi di serie storiche delle precipitazioni, e (ii) l'analisi mediante modelli climatici.

Analisi di serie storiche di precipitazione

L'analisi delle serie storiche di precipitazione si basa su di un approccio di tipo sperimentale (empirico), ed è quindi condizionata dalla disponibilità e dalla qualità di osservazioni che, in Italia come altrove, sono disponibili per un numero di siti e per periodi di tempo relativamente limitati. Tuttavia, negli ultimi anni a livello internazionale è stato condotto un notevole sforzo di condivisione delle informazioni disponibili, in risposta alle sollecitazioni di istituzioni governative e di ricerca per la realizzazione di "open database" che permettano di ricavare risultati innovativi²⁷. Montanari and Papalexiou (2016) hanno recentemente proposto un'analisi che si distingue per la consistenza della base di dati, che fa riferimento ai dati di altezza di pioggia giornaliera del Global Historical Climatology Network-Daily Database (versione 2.60)²⁸ dal quale

²⁷ WMO Hydrological Observing System (WHOS) <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/chy/whos/>

²⁸ www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/ghcn-daily

sono state selezionate le stazioni con 5 o più anni di dati e con disponibilità di osservazioni affidabili²⁹. Sono state così selezionate 68.014 stazioni di misura in tutto il mondo, sui cui dati sono stati condotti test statistici di comprensione finalizzati ad indagare le variazioni nel numero ed intensità degli eventi estremi. La Figura 1-14 mostra, per l'emisfero nord, il trend crescente nel numero percentuale degli eventi. Analisi più raffinate hanno confermato che il cambiamento climatico ha interessato soprattutto il numero degli eventi, piuttosto che la loro intensità. Questo risultato è in fase di approfondimento, e conforta il convincimento che le azioni di mitigazione e adattamento debbano essere finalizzate all'aumento della robustezza e della resilienza dei sistemi di assorbimento dell'impatto, piuttosto che all'incremento della capacità di mitigazione dei sistemi stessi.

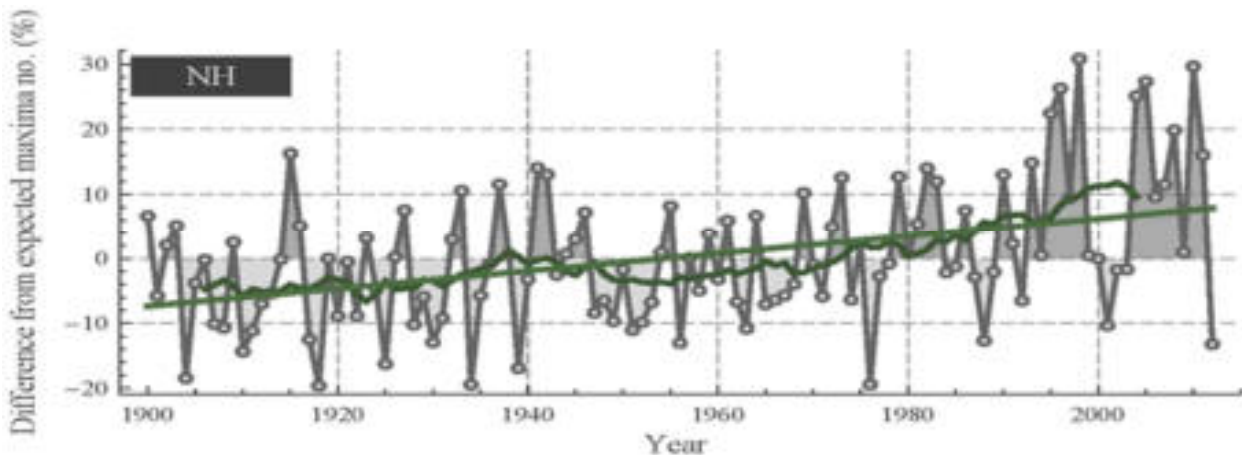


Figura 1-14: Trend nel numero percentuale di eventi estremi di precipitazione (emisfero nord).

L'analisi della realtà italiana alla scala locale è limitata dalla ridotta densità di stazioni dotate di serie storiche di lunga estensione, circostanza che evidenzia l'importanza di potenziare il monitoraggio. Tuttavia, sono in corso ricerche finalizzate all'incremento della condivisione delle informazioni dalle quali si prevede di ottenere risultati innovativi nell'immediato futuro.

Un'analisi di quaranta lunghe serie di pioggia giornaliera in Italia è stata condotta da Brunetti (2004) e Brunetti et al. (2000) su stazioni distribuite su tutto il territorio italiano. I risultati di tali analisi hanno messo in luce che vi è già un trend in atto con una diminuzione delle precipitazioni totali al sud mentre non sono emerse significative variazioni al nord. Gli eventi estremi di precipitazione sembrano essere aumentati in tutta Italia, in accordo quindi all'analisi estesa a tutto l'emisfero nord. Questo comportamento è più evidente nell'area settentrionale della penisola; mentre, per l'Italia meridionale, dove la diminuzione del numero di giorni piovosi è più sensibile, non si notano significative variazioni negli eventi più intensi. Le analisi sono state tuttavia condotte su un numero ridotto di stazioni ed è urgente effettuare approfondimenti sulla base di informazioni più estese. Allo stesso modo, appare imprescindibile un'azione di monitoraggio volta a caratterizzare eventuali cambiamenti occorsi nelle piogge estreme che si verificano su scale temporali ridotte, dell'ordine dei pochi minuti.

Analisi dei cambiamenti nel regime delle precipitazioni mediante modelli climatici

L'analisi del rischio geologico, idrologico e idraulico basata su modelli previsionali climatici è in grado di supplire alla scarsità di informazioni storiche, fornendo però risultati caratterizzati da incertezza di difficile quantificazione. Indagini e approfondimenti recenti descritti in dettaglio nel paragrafo 1.1.1 hanno permesso di identificare 6 macroregioni climatiche caratterizzate da 5 gruppi di anomalie che ne descrivono

²⁹ si veda anche www.istat.it/it/files/2016/06/Montanari.pptx

l'evoluzione fino alla metà del secolo, per due scenari di concentrazione di gas serra, l'RCP4.5 e l'RCP8.5 (Meinshausen et al. 2011; IPCC 2013). In base alla zonazione si propone di seguito un'ipotesi di identificazione dei principali cambiamenti nelle condizioni attese di rischio geologico, idrologico e idraulico utili ad identificare azioni efficaci di adattamento.

A tal fine, tra gli indicatori adottati per la definizione delle macroregioni climatiche omogenee sul periodo corrente e, in termini di anomalie tra il periodo 2021-2050 e il riferimento presente sotto gli scenari RCP4.5 e RCP8.5, sono selezionati quelli che si assume possano influenzare in modo più significativo la frequenza e la magnitudo dei fenomeni di dissesto. Specificamente: (i) la temperatura media (T_{mean}) e la copertura nevosa (*snow cover*, SC) per i fenomeni associati alle dinamiche nivali o che si sviluppino su periodi di lunghezza tali da rendere significativa anche la valutazione delle perdite per processi evapotraspirativi; (ii) il numero di giorni per anno con precipitazione superiore a 20mm/giorno ($R20$) e il 95° percentile della distribuzione delle precipitazioni giornaliere ($R95$) per fenomeni associati ad eventi di precipitazione intensa e di breve durata; e (iii) il totale della precipitazione invernale (WP) per eventi che si sviluppino su finestre temporali significative o per i quali le condizioni pregresse ricoprano un ruolo significativo. È bene ricordare che tali indicatori dovrebbero essere assunti come “*proxy*” delle differenti tipologie di dissesto, mentre solo l'analisi dei contesti territoriali locali permette l'individuazione degli indicatori ad hoc per i casi specifici. Inoltre, nonostante differenti tipi di dissesto si assume possano essere indotti da fenomeni che si sviluppino su scale sub-giornaliere, la scelta degli indicatori ha dovuto necessariamente considerare anche le caratteristiche delle serie di dati utilizzate. Da un lato, il dataset di osservazione utilizzato sull'intero territorio, E-OBS, restituisce per precipitazione e temperatura dati alla risoluzione giornaliera. D'altro canto, come dimostrato da numerosi studi (Fowler et al., 2007; Maraun et al., 2010), le risoluzioni correntemente raggiungibili dai modelli climatici e le conseguenti assunzioni su alcune dinamiche atmosferiche (ad esempio i processi convettivi) pregiudicano, al momento, stime adeguate dei processi regolati da dinamiche sub-giornaliere. Allo stesso modo, spesso mancano *datasets* di risoluzione e lunghezza appropriate per la validazione dei risultati.

Per ognuna delle sei macroregioni omogenee identificate sul periodo corrente, sono riportate le variazioni stimate sotto ambedue gli scenari di concentrazione (da Tabella 1-14 a Tabella 1-19). Le variazioni sono riportate in termini di differenza assoluta per T_{mean} , di numero di occorrenze per $R20$ e SC e di differenza relativa per WP e $R95$. Nella prima colonna, si riporta inoltre il valore dell'indicatore restituito sulla macroregione omogenea dall'analisi dei dati osservati; naturalmente, per SC tale dato non è disponibile.

Per le altre colonne, oltre al valore numerico della variazione, un segno grafico indica la direzione e magnitudo della variazione. Nello specifico, si utilizza (i) un cerchio grigio per variazioni percentuali nell'intervallo $[-10\%; 10\%]$ o per variazioni del numero di giorni minori o uguali a ± 2 giorni, (ii) un cerchio giallo per variazioni $[10\%; 20\%]$, (iii) rosso per variazioni nell'intervallo $[20\%; 100\%]$, e (iv) un cerchio viola per variazioni superiori al 100%. La distinzione adottata tra le classi mira ad evidenziare valori di anomalia con entità paragonabile (dell'ordine del 20%) con l'errore medio della simulazione climatica adottata nella riproduzione dei valori estremi, e le variazioni che eccedono tale valore e per le quali si possa assumere che il segnale di variazione sia più robusto. Le macroregioni climatiche identificate sono:

Macroregione 1: Prealpi e Appennino settentrionale. Dal confronto tra tale macroregione e le altre individuate sul periodo corrente, emerge come la macroregione sia caratterizzata da valori intermedi di temperatura media e precipitazioni invernali, e da valori elevati degli indicatori relativi ai fenomeni di precipitazione estremi ($R20$ e $R95$). L'intersezione tra tale macroregione e le aree identificate tramite la zonazione condotta in termini di anomalie individua sotto ambedue gli scenari tre aree: A, B e D per l'RCP4.5; B, C ed E sotto l'RCP8.5.

In un contesto generalizzato di aumento delle temperature medie (dell'ordine di 1.5°C), i due scenari climatici analizzati prevedono:

- per l'**RCP4.5**, nei territori di intersezione con le aree omogenee A e B (Italia Nord-Occidentale e Appennino Settentrionale), è stimata una consistente riduzione della copertura nevosa, variazioni contenute dei cumuli invernali e dei massimi di precipitazione; al contempo, nelle aree di intersezione con l'area omogenea D (settore nord-orientale), le variazioni dei giorni con copertura nevosa risultano limitate ma più rilevanti appaiono gli incrementi di precipitazione invernale (+8%) e dell'intensità dei massimi di precipitazione (+11%);
- per l'**RCP8.5**, gli incrementi dei valori di precipitazione intensa (R95) sono attesi variare tra il 6% e il 13%. D'altro canto, profonde differenze si individuano in termini di copertura nevosa con riduzioni che variano tra 18 giorni (nelle intersezioni con l'area B, Appennino Settentrionale) e un solo giorno (area C) [nell'area E, in cui ricade la maggior parte del territorio, è rilevato un valore intermedio di 9 giorni]. Parimenti, mentre sulle aree B e C le variazioni di precipitazione invernale oscillano rispettivamente tra -7% e 3%, sull'area E esse raggiungono il +16%.

Alla luce delle variazioni stimate, i fenomeni di dissesto che potrebbero essere interessati dalle maggiori variazioni in magnitudo e stagionalità risultano quelli associati alle dinamiche di fusione nivale, soprattutto nella zona A sotto l'RCP4.5 e nella zona B per RCP8.5 per effetto dell'incremento della temperatura e di diminuzione della durata della copertura nevosa. Per entrambi gli scenari, la variazione in frequenza degli eventi intensi (R20) è trascurabile, mentre l'incremento di intensità dei fenomeni di precipitazione potrebbe indurre variazioni nella magnitudo dei fenomeni di dissesto idraulico nei bacini di estensione minore, e nell'occorrenza dei fenomeni franosi superficiali nei suoli e nelle coperture e/o nei terreni a maggiore permeabilità.

Tabella 1-14: Macroregione 1 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Macroregione 1	presente	RCP4.5			RCP8.5		
cluster		A	B	D	B	C	E
Tmean (Δ °C)	13 °C	● 1.4	● 1.3	● 1.2	● 1.6	● 1.5	● 1.5
R20 (Δ giorni/anno)	10 giorni/anno	● -1	● -1	● 1	● 0	● 1	● 1
SC (Δ giorni/anno)	-	● -12	● -8	● -1	● -18	● -1	● -9
WP (%)	187 mm	● -4	● -2	● 8	● -7	● 3	● 16
R95 (%)	28 mm	● 1	● 3	● 11	● 6	● 13	● 9

Macroregione 2: Pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere del centro-sud, comprese le aree di Lazio e Campania a più elevata urbanizzazione. Il confronto con le altre macroregioni omogenee indica come la macroregione sia caratterizzata, in media, da elevati valori di temperatura media (circa 14°C), mentre per gli indicatori di precipitazione media (WP) e intensa (R20 e R95) i valori risultano contenuti. L'intersezione della macroregione con le aree omogenee identificate in termini di variazione individua tre aree per entrambi gli scenari. Gli scenari climatici prevedono:

- per l'**RCP4.5**, è stimato un aumento della temperatura dell'ordine di 1.2-1.4°C. Il versante del basso Adriatico e la maggior parte della Pianura Padana potrebbero essere interessati da una leggera riduzione delle precipitazioni invernali e incrementi trascurabili dei valori e frequenze degli eventi di precipitazione intensa. Al contempo, il versante tirrenico potrebbe essere interessato da incrementi dei valori di precipitazione sia invernale (8%) sia in termini di intensità dei fenomeni giornalieri (+11%).
- per l'**RCP8.5**, gli incrementi di temperatura risultano più marcati (1.5°C). In Pianura Padana e sul versante tirrenico sono stimati aumenti sostenuti delle precipitazioni invernali (rispettivamente +16% e +7%) e dei valori di precipitazione intensa (+9% e +13%).

Per entrambi gli scenari, la variazione nella frequenza degli eventi intensi (R20) è trascurabile. In tal caso, i fenomeni di dissesto che potrebbero essere maggiormente interessati dalle variazioni attese, sono quelli

associati ad eventi intensi su scala giornaliera o inferiore per i quali sotto ambedue gli scenari è atteso un incremento in magnitudo seppur caratterizzato da elevata incertezza. Per i fenomeni regolati da *pattern* atmosferici di maggiore estensione temporale emergono due tendenze contrastanti. Da un lato potrebbero beneficiare dell'incremento di temperatura potenzialmente associato a maggiori perdite evapotraspirative. Dall'altro potrebbero essere condizionati dagli incrementi nei valori cumulati di precipitazione invernale stimati per gran parte dei territori sotto ambedue gli scenari.

Tabella 1-15: Macroregione 2 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Macroregione 2	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		A	C	D		C	D	E	
<i>T_{mean}</i> (Δ °C)	14.6 °C	● 1.4	● 1.2	● 1.2	● 1.5	● 1.5	● 1.5	● 1.5	
<i>R20</i> (Δ giorni/anno)	4 giorni/anno	● -1	● 0	● 1	● 1	● 1	● 0	● 1	
<i>SC</i> (Δ giorni/anno)	-	● -12	● -1	● -1	● -1	● -1	● -1	● -9	
<i>WP</i> (%)	148 mm	● -4	● -5	● 8	● 7	● -4	● 16	● 16	
<i>R95</i> (%)	20 mm	● 1	● 4	● 11	● 13	● 6	● 9	● 9	

Macroregione 3: Appennino centro-meridionale. Il confronto con le altre macroregioni omogenee individuate sul periodo corrente mostra per la macroregione valori di precipitazioni invernali nella media e in generale eventi estremi di precipitazione ridotti per frequenza e magnitudo. L'intersezione con le aree omogenee stimate in termini di variazione porge rispettivamente due aree sotto l'RCP4.5 e tre sotto l'RCP8.5. In particolare:

- lo scenario **RCP4.5** discrimina la macroregione tra le aree più interne (a quota maggiore) e le esterne (generalmente a quota inferiore). In ambedue i casi, l'incremento di temperatura ha valori di poco superiori ad un grado; le riduzioni nelle precipitazioni invernali risultano inferiori al 10% mentre sono significative le variazioni nella copertura nevosa che potrebbe ridursi di circa 20 giorni per anno nelle aree più interne;
- per lo scenario **RCP8.5**, gran parte della macroregione ricade nell'area denominata B caratterizzata da notevoli diminuzioni della copertura nevosa (-18 giorni/anno) e incremento contenuto nella magnitudo degli eventi di precipitazione (+6%). Per quanto concerne le altre aree di intersezione, in esse è soprattutto stimato un incremento dei valori di precipitazione intensa che, nel caso dell'area C, raggiunge il 13%.

Per entrambi gli scenari la variazione in frequenza degli eventi intensi (R20) è trascurabile. Alla luce delle variazioni stimate, i fenomeni di dissesto che potrebbero essere interessati dalle maggiori variazioni in magnitudo e stagionalità sono quelli associati alle dinamiche nivali, in particolare nella zona E (a quote maggiori) sotto l'RCP4.5, e nella zona B sotto l'RCP8.5 per effetto dell'incremento di temperatura e di diminuzione della durata della copertura nevosa. Le variazioni nei valori di precipitazione intensa sono limitate in magnitudo e/o nell'estensione territoriale.

Tabella 1-16: Macroregione 3 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Macroregione 3	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		B	E			B	C	D	
Tmean (Δ °C)	12.2 °C	● 1.3	● 1.2			● 1.6	● 1.5	● 1.5	
R20 (Δ giorni/anno)	4 giorni/anno	● -1	● -2			● 0	● 1	● 0	
SC (Δ giorni/anno)	-	● -8	● -21			● -18	● -1	● -1	
WP (%)	182 mm	● -2	● -8			● 2	● 7	● -4	
R95 (%)	19 mm	● 3	● -1			● 6	● 13	● 6	

Macroregione 4: Area alpina. La macroregione è caratterizzata dalla temperatura media più bassa (5.7°C), mentre gli indicatori associati alle precipitazioni hanno valori intermedi. La macroregione è contraddistinta da grande omogeneità tanto che, considerando la zonazione condotta in termini di variazioni, sotto ambedue gli scenari essa ricade in una sola area. Nello specifico:

- sotto lo scenario **RCP4.5** (area E), l'incremento di temperatura si attesta su valori di poco superiori a 1°C, le variazioni di precipitazioni non eccedono il 10% ma risulta significativa la diminuzione dei giorni in cui è stimata la presenza di copertura nevosa (-21 giorni/anno);
- sotto lo scenario **RCP8.5** (area A), l'incremento di temperatura atteso raggiunge 1.5°C, la diminuzione della copertura nevosa presenta valori comparabili a quelli attesi sotto lo scenario RCP4.5; in tal caso, però, è atteso un incremento dei valori di precipitazione invernale pari al 13%.

Per entrambi gli scenari la variazione in frequenza degli eventi intensi (R20) è trascurabile. Alla luce delle variazioni stimate, i fenomeni di dissesto che potrebbero essere interessati dalle maggiori variazioni in magnitudo e stagionalità sono quelli associati alle dinamiche di fusione nivale per effetto dell'incremento di temperatura e di diminuzione della durata della copertura nevosa.

Tabella 1-17: Macroregione 4 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Macroregione 4	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		E				A			
Tmean (Δ °C)	5.7 °C	● 1.2				● 1.5			
R20 (Δ giorni/anno)	10 giorni/anno	● -2				● 1			
SC (Δ giorni/anno)	-	● -21				● -20			
WP (%)	143 mm	● -8				● 13			
R95 (%)	25 mm	● -1				● 5			

Macroregione 5: Aree montuose del nord (catene alpine e appenniniche). La macroregione è caratterizzata da temperatura media inferiore ai 10°C, e presenta i valori più elevati per tutti gli indicatori di precipitazione con valori spesso di gran lunga più alti a quelli osservati nelle altre zone. Ad esempio, il numero medio di giorni con precipitazione superiore ai 20 mm (R20) è pari a 21 giorni/anno. Lo stesso dicasi per WP (321 mm) e R95 (40 mm/giorno). La macroregione è caratterizzata da elevata omogeneità e l'intersezione con la zonazione condotta in termini di variazione restituisce per RCP4.5 due aree e per RCP8.5 una sola area. Nel futuro si prevede:

- sotto lo scenario **RCP4.5**, il dato più rilevante è rappresentato dalla riduzione della copertura nevosa (8 giorni /anno per l'area B e 21 giorni/anno per l'area E) mentre gli indicatori relativi ai valori di precipitazione presentano variazioni limitate;
- sotto lo scenario **RCP8.5**, oltre alla riduzione della copertura nevosa stimata in circa 20 giorni/anno è stimato un incremento delle precipitazioni cumulate nella stagione invernale pari a 13%.

Tale macroregione storicamente affetta da fenomeni di dissesto associati ad eventi intensi e di breve durata potrebbe essere interessata soltanto da variazioni modeste nella frequenza e magnitudo dei fenomeni di dissesto. D'altro canto, maggiori variazioni, principalmente in stagionalità e nell'estensione delle aree esposte, potrebbero interessare i fenomeni di dissesto direttamente o indirettamente associati alle dinamiche di fusione nivale.

Tabella 1-18: Macroregione 5 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Macroregione 5	presente	RCP4.5		RCP8.5	
cluster		B	E	A	
<i>Tmean (Δ °C)</i>	8.3 °C	● 1.3	● 1.2	● 1.5	
<i>R20 (Δ giorni/anno)</i>	21 giorni/anno	● -1	● -2	● 1	
<i>SC (Δ giorni/anno)</i>	-	● -8	● -21	● -20	
<i>WP (%)</i>	321 mm	● -2	● -8	● 13	
<i>R95 (%)</i>	40 mm	● 3	● -1	● 5	

Macroregione 6: Regioni insulari e meridionali. La macroregione è caratterizzata dai massimi valori di temperatura media (16°C) mentre risultano limitati i fenomeni di precipitazione sia in termini di frequenza che intensità. L'intersezione con la zonazione condotta in termini di variazione determina rispettivamente per RCP4.5 e RCP8.5, la presenza di due e tre aree climatiche omogenee. In particolare:

- per l'**RCP4.5**, le variazioni di temperatura attesa si attestano sui 1.2°C; gli indicatori relativi di precipitazione mostrano variazioni limitate che eccedono il 10% soltanto per R95 nell'area D (Sardegna, Sicilia Occidentale, estreme propaggini orientali della Puglia);
- per l'**RCP8.5**, le variazioni di temperatura sono stimate circa pari a 1.5°C; le maggiori variazioni riguardano ancora una volta l'intensità dei fenomeni di precipitazione giornaliera con incrementi in R95 compresi tra 6% e 13%.

In tali aree, l'indicatore associato alla copertura nevosa potrebbe risultare poco significativo. Per quanto concerne i fenomeni di dissesto, a causa delle variazioni attese, le tipologie maggiormente interessate potrebbero risultare quelle direttamente associate ai fenomeni intensi e di breve durata (fenomeni idraulici in bacini di estensione ridotta, e fenomeni franosi in terreni a grana grossa o in suoli e coperture di spessore ridotto).

Tabella 1-19: Macroregione 6, Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Macroregione 6	presente	RCP4.5		RCP8.5		
cluster		C	D	C	D	E
<i>Tmean (°C)</i>	16	● 1.2	● 1.2	● 1.5	● 1.5	● 1.5
<i>R20 (giorni/anno)</i>	3	● 0	● 1	● 1	● 0	● 1
<i>SC (giorni/anno)</i>	-	● -1	● -1	● -1	● -1	● -9
<i>WP (%)</i>	179	● -5	● 8	● 7	● -4	● 16
<i>R95 (%)</i>	19	● 4	● 11	● 13	● 6	● 9

IL QUADRO NORMATIVO PER L'ADATTAMENTO AL RISCHIO GEOLOGICO, IDROLOGICO E IDRAULICO

La Direttiva Europea n.2007/60/CE del 23 ottobre 2007 istituisce “un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche...”. A differenza di altri paesi europei, la normativa nazionale italiana precedente l'emanazione della Direttiva Europea, costituita dalla Legge 13 luglio 1999, n. 226 e dalla Legge 11 dicembre 2000, n. 365, già da anni aveva imposto la redazione del quadro conoscitivo, della pianificazione di bacino e la valutazione del rischio determinato da fenomeni idraulici e geologici, attraverso l'istituzione delle Autorità di Bacino. Rispetto ad altri Stati Membri, ciò ha consentito al nostro Paese di maturare un percorso tecnico, scientifico e operativo di grande rilevanza per il recepimento e l'attuazione della Direttiva. La Direttiva tuttavia non considera i fenomeni di versante (frane, erosioni, etc.), e questo – in particolare in Italia – ne rappresenta un limite severo.

Il dibattito sullo stato e sulla gestione delle acque e sullo “assetto idrogeologico” è stato ampio, approfondito e articolato sia in ambito tecnico/scientifico, sia in ambito amministrativo/istituzionale, sin dagli anni '60 del secolo scorso. A riguardo si segnalano:

- la “Conferenza Nazionale delle Acque” della fine degli anni '60, che ebbe come obiettivo la regolazione dell'uso delle risorse idriche e la valutazione delle disponibilità e dei fabbisogni idrici in Italia, per proteggere il ciclo naturale delle acque inteso come risorsa. Si giunse alla proposta di realizzare il “Piano Generale delle Acque”;
- la “Commissione De Marchi”, del 1970, istituita dopo le alluvioni del novembre 1966, che ebbe come obiettivo la sistemazione idraulica e idrogeologica del territorio, e la difesa del suolo. La Commissione definì il concetto di “difesa del suolo”, intesa come difesa idraulico-fluviale e idraulico-forestale, e introdusse il concetto di “Piano di Bacino”, inteso come strumento di programmazione delle opere idrauliche e forestali per la sistemazione complessiva dei versanti e dei corsi d'acqua, fino alle foci e alle aree costiere.

La Conferenza Nazionale delle Acque – con il Piano Generale delle Acque – e la Commissione De Marchi – con il Piano di Bacino – proposero negli stessi anni due tipologie di pianificazione territoriale estremamente innovative; diverse ma riguardanti argomenti strettamente connessi e complementari.

Negli anni '70 del secolo scorso si accese, anche nel settore del governo delle acque e della difesa idraulica del territorio, un vivace dibattito sul decentramento delle competenze dallo Stato alle Regioni che portò, in molti casi, a situazioni istituzionali difficili e particolarmente complesse, dovute ad incertezze amministrative, alla frammentazione delle competenze, a sovrapposizioni, a vuoti di potere e ad una forte conflittualità tra il tradizionale apparato dello Stato e quello nascente delle Regioni.

Nel 1977, con il D.P.R. 616, si avviò un percorso che, anno dopo anno, si sarebbe concretizzato nella definizione della pianificazione di bacino. Con la Legge 183 del 1989 recante “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo” è stato possibile impostare, in maniera innovativa, il quadro generale della difesa del suolo. Attraverso l'individuazione del bacino idrografico quale unità fisiografica di riferimento, è stato possibile riunire gli obiettivi e gli ambiti storicamente separati della difesa del suolo, del risanamento delle acque, della fruizione e gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, nonché quelli della tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi. Il bacino idrografico viene inteso come ambito fisico di pianificazione che supera le frammentazioni e le separazioni fino ad allora prodotte dall'individuazione di aree di riferimento con confini esclusivamente amministrativi. Da qui, la necessità di istituire, con la stessa legge, l'Autorità di Bacino quale ente competente sul bacino idrografico in grado di razionalizzare la frammentarietà delle competenze degli Enti esistenti e assicurare il coordinamento di tutte le azioni sul territorio. Alle Autorità di Bacino è stato affidato il compito di redigere il “Piano di Bacino”, inteso come “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 e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base

delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato". Il Piano di Bacino è concepito come uno strumento dinamico e in continuo aggiornamento preposto alla tutela dell'integrità fisica del territorio sotto i suoi molteplici aspetti (geologico, idrologico, idraulico, ambientale, urbanistico, agrario e paesaggistico). E' un imprescindibile strumento conoscitivo che offre un quadro di riferimento del contesto fisico, ambientale e antropico del bacino idrografico: normativo, in quanto detta vincoli, prescrizioni e direttive per la salvaguardia, la tutela e la bonifica delle risorse suolo e acqua nella loro accezione più ampia; tecnico-operativo perché individua gli interventi strutturali e non strutturali per la difesa del suolo a seconda della loro finalità (prevenzione, sistemazione, conservazione, corretta utilizzazione e risanamento). La Legge 18 maggio 1989 n. 183 è stata successivamente modificata e integrata dalla Legge 7 agosto 1990, n. 253 con la quale sono state introdotte misure organizzative finalizzate a migliorare l'operatività delle Autorità di Bacino. Dalla Legge 4 dicembre 1993, n. 493 che, oltre a rafforzare i poteri di controllo, d'intervento e di direttiva delle Autorità di Bacino, ha disposto che "i piani di bacino possono essere redatti e approvati anche per stralci relativi a settori funzionali e/o per sottobacini". Detti stralci, tuttavia, al fine di consentire una visione sistemica del territorio, devono costituire fasi interrelate e sequenziali del processo di pianificazione. All'interno di ogni settore sono individuate e analizzate le problematiche (in termini di intensità, ampiezza e urgenza) emerse dal quadro conoscitivo e dal confronto con le parti sociali e istituzionali coinvolte.

Nel corso degli anni '90 sono state emanate diverse disposizioni legislative a carattere di linee guida finalizzate all'avvio dell'attività di pianificazione di bacino quali, in particolare: il D.P.C.M. 23 marzo 1990 (Atto di indirizzo e coordinamento ai fini dell'elaborazione e della adozione degli schemi previsionali e programmatici di cui all'art. 31 della Legge 18 maggio 1989, n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo), D.P.R. 7 gennaio 1992 (Atto di indirizzo e coordinamento per determinare i criteri di integrazione e di coordinamento tra le attività conoscitive dello Stato, delle autorità di bacino e delle regioni per la redazione dei piani di bacino di cui alla Legge 18 maggio 1989, n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo), D.P.R. 14 aprile 1994 (Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure e ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale e interregionale) e D.P.R. 18 luglio 1995 "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino", che individua, tra l'altro, i criteri per la redazione dei piani di bacino.

A seguito degli eventi che colpirono la Campania nel 1998, fu emanata la Legge 3 agosto 1998, n. 267 ("Legge Sarno") e s.m.i., recante "misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico" che dispose l'adozione da parte delle Autorità di Bacino di rilievo nazionale e interregionali, nonché delle Regioni per i restanti bacini, dei "Piani Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico", divenuti noti con l'acronimo PAI. Con il D.P.C.M. del 29 settembre 1998 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del D.L. 11 giugno 1998, n. 180" sono stati indicati i criteri e i metodi per l'individuazione del rischio dipendente dai fenomeni di carattere idrogeologico e, quindi, per la redazione dei Piani per l'Assetto Idrogeologico attraverso l'espletamento delle seguenti fasi fondamentali:

- individuazione delle aree soggette a rischio idrogeologico, attraverso l'acquisizione delle informazioni disponibili sullo stato del dissesto;
- perimetrazione, valutazione dei livelli di rischio e definizione delle conseguenti misure di salvaguardia;
- programmazione della mitigazione del rischio.

In merito alla valutazione del rischio il citato D.P.C.M. fa riferimento alla formulazione semplificata (valutazione speditiva del rischio), secondo cui il rischio totale R è dato dal prodotto dei seguenti fattori: P (pericolosità o probabilità di accadimento dell'evento calamitoso); E (il valore degli elementi a rischio); V (vulnerabilità degli elementi a rischio). Nello stesso D.P.C.M. vengono individuate 4 classi di rischio (da $R1$ – rischio moderato a $R4$ – rischio molto elevato) e definiti gli usi ritenuti compatibili con ciascuna di esse. Le successive Leggi 13 Luglio 1999, n. 226 e 11 dicembre 2000, n. 365 hanno rispettivamente introdotto i piani

straordinari per le aree a rischio R3 R4 e la procedura di approvazione dei PAI attraverso la conferenza programmatica.

Il 27 febbraio 2004 è stato emanato il D.P.C.M. dal titolo “Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico e idraulico ai fini di protezione civile”, che norma le misure di tipo non strutturale ascrivibili all’ambito di pertinenza del Sistema Nazionale di Protezione Civile. Con l'art.175 del D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 e s.m.i. (di recepimento, tra l'altro, della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE) viene abrogata la Legge 18 maggio 1989, n. 183. In particolare, la parte III del “Codice dell'Ambiente” disciplina le norme in materia di difesa suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche. Il codice, richiamandosi nella sostanza ai contenuti della Legge 18 maggio 1989, n. 183, stabilisce che le disposizioni relative alla difesa del suolo sono volte ad assicurare la tutela e il risanamento idrogeologico del territorio, nelle sue componenti di “suolo” e “sottosuolo” tramite la prevenzione dei fenomeni di dissesto e la messa in sicurezza delle situazioni a rischio, nonché la lotta alla desertificazione. Infatti, la stessa difesa del suolo è definita come quel complesso di azioni e attività riferibili alla tutela e salvaguardia del territorio, dei fiumi, dei canali e collettori, degli specchi lacuali, delle lagune, della fascia costiera, delle acque sotterranee, nonché del territorio a questi connessi, aventi le finalità di ridurre il rischio idrogeologico, stabilizzare i fenomeni di dissesto superficiale e profondo, ottimizzare l'uso e la gestione del patrimonio idrico, valorizzare le caratteristiche ambientali e paesaggistiche collegate.

Per il perseguimento degli obiettivi e delle finalità della difesa del suolo, gli Enti preposti devono attivare tre attività sinergiche: (1) attività conoscitive, (2) attività di pianificazione e programmazione, e (3) attività di realizzazione di interventi atti a mitigare le condizioni di rischio.

Il D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 ripropone, in sostanza, lo schema dei Piani Stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico già previsti dal precedente quadro normativo (i cc.dd. PAI di “prima generazione” previsti dalle succitate Leggi 267/98 e dalla successiva 365/2000 (Legge Soverato) e predisposti sulla base dei criteri tecnici fissati dal D.P.C.M. del 29/09/1998); il predetto codice dispone che, nelle more dell'approvazione dei piani di bacino distrettuali, le Autorità di Bacino adottino i piani stralcio di distretto per l'Assetto Idrogeologico contenenti, in particolare, l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico, la perimetrazione delle aree da sottoporre a misure di salvaguardia e la determinazione delle misure medesime. Il codice, altresì, nel rispetto di quanto previsto dalla Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE, ha operato una riorganizzazione degli ambiti territoriali di riferimento attraverso la suddivisione del territorio nazionale in Distretti idrografici prevedendo, all'art.63, l'istituzione delle Autorità di bacino Distrettuali.

Con l'emanazione del D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49 concernente “Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni” compete alle Autorità di Bacino Distrettuali l'adozione dei Piani Stralcio di distretto per l'assetto idrogeologico e si introducono altre importanti novità inerenti agli aspetti ambientali delle alluvioni e la partecipazione attiva dei portatori di interesse al ciclo di pianificazione. Il predetto D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49 in particolare, tiene conto, oltre alle Direttive comunitarie collegate, anche della vigente normativa nazionale riguardante sia la pianificazione dell'assetto idrogeologico (tra cui il D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152), sia il sistema di allertamento ai fini di protezione civile (Direttiva PCM 27 febbraio 2004). In base a quanto previsto dal citato D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49 i Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni sono predisposti dalle Autorità di Bacino distrettuali, per la parte di propria competenza, e dalle Regioni in coordinamento tra loro e con il Dipartimento nazionale della Protezione Civile, per la parte relativa al sistema di allertamento per il rischio idrogeologico e idraulico ai fini di protezione civile. Le Autorità di Bacino distrettuali svolgono tale compito nell'ambito delle attività di bacino previste dal D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e, quindi, nell'ambito e secondo le medesime procedure di adozione e approvazione, dei piani di bacino distrettuali, con specifico riguardo a quanto previsto per l'adozione dei P.A.I (art.67). I Piani di cui al D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49 (da ultimare e pubblicare entro il 22 giugno 2015) devono prevedere misure per la gestione del rischio di alluvioni nelle zone ove possa

sussistere un rischio potenziale ritenuto significativo evidenziando, in particolare, la riduzione delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, attraverso l'attuazione prioritaria di interventi non strutturali e di azioni per la riduzione della pericolosità. I piani, inoltre, contengono gli elementi indicati nell'Allegato I, e in dettaglio:

- Parte A - Elementi che devono figurare nel primo piano di gestione del rischio di alluvioni e descrizione dell'attuazione del piano;
- Parte B - Elementi che devono figurare nei successivi aggiornamenti dei piani di gestione del rischio di alluvioni;
- Parte C - Contenuti degli indirizzi, criteri e metodi per la redazione e l'aggiornamento dei piani di gestione del rischio di alluvioni.

Per la parte relativa al sistema di allertamento, i Piani contengono una sintesi dei contenuti dei piani urgenti di emergenza previsti dall'art. 67, co. 5, del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, e tengono conto degli aspetti relativi alle attività di:

- previsione, monitoraggio, sorveglianza e allertamento attraverso la rete dei centri funzionali;
- presidio territoriale idraulico posto in essere dalle regioni e dalle province;
- regolazione dei deflussi attuata anche attraverso i piani di laminazione;
- attivazione dei piani urgenti di emergenza previsti dalla richiamata normativa vigente.

Il decreto in argomento ha disposto i termini per il riesame delle mappe di pericolosità e rischio (22 settembre 2019, e successivamente ogni sei anni) nonché dei Piani di Gestione (22 settembre 2021, e successivamente ogni sei anni). Il decreto prevede la possibilità che i Piani di Gestione delle Alluvioni non vengano predisposti qualora siano adottate le misure transitorie contenute in eventuali piani di gestione del rischio di alluvioni completati prima del 22 dicembre 2010 secondo i requisiti richiesti dal decreto stesso. Infine l'art. 4 del D.Lgs. 10 dicembre 2010, n. 219, ha attribuito alle Autorità di Bacino di rilievo nazionale e alle Regioni, ciascuna per la parte di territorio di propria competenza, il compito di provvedere all'adempimento degli obblighi previsti dal D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49. Ai fini della predisposizione degli strumenti di pianificazione, le Autorità di Bacino di rilievo nazionale svolgono la funzione di coordinamento nell'ambito del distretto idrografico di appartenenza. Infine, nel 2014 la commissione Europea ha prodotto il "Technical Report - 2014 – 078 Links between the Floods Directive (FD 2007/60/EC) and Water Framework Directive (WFD 2000/60/EC)" che fissa, all'art. 22, le competenze dell'osservazione delle variabili idrologiche e meteorologiche, ora trasferite alle Regioni.

Sendai Framework

A maggio 2015, tutti i paesi aderenti all'ONU, inclusa l'Italia, hanno firmato il Sendai Framework³⁰ sulla riduzione del rischio, naturale prosecuzione dello Hyogo Framework for Action (HFA). La HFA ha introdotto uno strumento di gestione chiamato Rapporto Nazionale Progressivo sull'implementazione della HFA con obiettivi strategici e indicatori essenziali. Il documento e le sue successive regole di implementazione costituiscono una linea guida per la riduzione del rischio che tiene in considerazione il cambiamento climatico. Anche se non vincolante per i paesi firmatari, il Sendai Framework è fortemente collegato ad altri atti internazionali vincolanti, fra i quali il recente accordo di Parigi sul clima³¹ e l'intesa sugli obiettivi di sviluppo sostenibile³²³³. In ambito conoscitivo e di monitoraggio delle misure efficaci per la riduzione del

³⁰ http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf

³¹ https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/02/20160215%2006-03%20PM/Ch_XXVII-7-d.pdf

³² <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

³³ A tal fine risulta di rilevante interesse l'iniziativa EU Urban Agenda on Climate Adaptation promossa nell'ambito della "Urban Agenda for EU" (https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/pact-of-amsterdam_en.pdf) che vede il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici tra i dodici temi prioritari individuati. L'iniziativa coordinata dal Comune di Genova nell'ambito di un partenariato che vede presenti differenti soggetti europei, ha il fine di "prevenire gli effetti negativi dei cambiamenti climatici e adottare le misure appropriate per prevenire o minimizzare i danni

rischio, il Sendai Framework costituisce un punto di riferimento imprescindibile per le azioni di seguito proposte anche attraverso il suo reporting framework, che impone agli Stati aderenti una valutazione quantitativa dei trend relativi ai disastri al fine di valutare l'efficacia delle azioni di mitigazione e adattamento. Questo si pone come evoluzione del Rapporto Nazionale Progressivo dovuto in ambito HFA e potrebbe costituire, se opportunamente coordinato, uno strumento importante per misurare l'efficacia del piano di adattamento nel medio e lungo termine.

VULNERABILITÀ E RISCHIO GEOLOGICO, IDROLOGICO E IDRAULICO: SINTESI DELLE LINEE DI AZIONE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO E ADATTAMENTO

Il quadro climatico descritto nel paragrafo 1.1.1 ha evidenziato le condizioni di incertezza sia nelle analisi dei dati storici, sia nelle previsioni effettuate dai modelli climatici. Le evidenze scientifiche hanno recentemente mostrato come l'impatto del cambiamento climatico si stia estrinsecando con un aumento degli eventi estremi, piuttosto che un aumento della loro intensità, e che, in Italia come a scala globale, vi sia stato un aumento recente dell'urbanizzazione in prossimità delle aste fluviali (Baldassarre et al. 2010; Ceola et al. 2014, 2015) e delle aree collinari e pedemontane a rischio di frana. I dati disponibili suggeriscono che le condizioni di rischio geologico, idrologico e idraulico in Italia si sono esacerbate per (i) la sovrapposizione di cambiamenti climatici, che hanno originato un aumento del numero degli eventi di precipitazione estrema, e (ii) una crescente urbanizzazione del territorio che ha portato da un lato ad un incremento dei deflussi e ad una riduzione della capacità di smaltimento dei deflussi da parte degli alvei (tombamenti, riduzione dell'estensione delle aree golenali, etc.) e dall'altro a un aumento dell'esposizione al rischio. Particolarmente complessa è la definizione del cambiamento nelle condizioni di rischio da frana in quanto (i) il rischio non è noto allo stesso livello conoscitivo e per tutte le diverse tipologie di frana (grandi, piccole, superficiali, profonde) in tutto il paese, e (ii) è ormai noto che gli effetti del cambiamento climatico e ambientale attesi sono molto diversi, e anche contrastanti, per diverse tipologie di dissesto (Comegna et al. 2013; Rianna et al. 2014; Paranunzio et al. 2016; Gariano and Guzzetti 2016). In estrema sintesi, i dissesti profondi e lenti tenderanno a rallentare la loro attività, mentre ci si attende che aumenti la frequenza degli eventi di frana superficiali e veloci. Ci si attende che ciò comporterà un cambiamento nella tipologia e nella distribuzione del rischio (Gariano and Guzzetti 2016). Una strategia di adattamento efficace ed efficiente deve fondarsi sulla combinazione di azioni di mitigazione (intesa come, in campo idrologico riduzione delle portate fluviali al colmo e in campo geologico ridisegno delle opere di difesa per le diverse tipologie di dissesto) e di adattamento (finalizzato all'incremento della resilienza del sistema sociale).

Nella pianificazione delle azioni di adattamento al cambiamento climatico occorre valutare con attenzione il fattore "tempo". La velocità alla quale il clima e il territorio stanno cambiando non ha precedenti, ad opera di uno sviluppo sociale che, seppur positivo, ha un impatto sempre più significativo sull'ambiente e sulla società stessa. I fenomeni naturali e sociali che determinano l'evoluzione di detti cambiamenti sono spiccatamente non lineari, e quindi caratterizzati da effetti soglia e punti di non ritorno. Sebbene i sistemi ambientali siano per loro natura in grado di compensare perturbazioni esogene, la velocità alla quale i cambiamenti si stanno verificando può limitare, o addirittura inibire i processi di compensazione. Oggi più che mai, quindi, le azioni di adattamento devono svilupparsi con rapidità. Purtroppo, la crescente complessità del sistema sociale tende a rallentare la velocità di esecuzione degli interventi pubblici, inibendo spesso la capacità di compensazione della società stessa e, in cascata, del sistema ambientale. È

che può causare alle Aree Urbane. L'accento è posto su: valutazioni di vulnerabilità, incremento della resilienza e gestione dei rischi (compresa la dimensione sociale delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici)". Inoltre, l'Iniziativa si propone di declinare, sui temi dell'adattamento urbano, i tre obiettivi cardine dell'Urban Agenda for EU: better regulation, better funding e better knowledge.

d'obbligo dare quindi massima priorità all'attuazione delle misure ed alla relativa velocità di attuazione. Un contesto ambientale in rapida evoluzione impone la necessità di una parimenti rapida reazione.

Quindi, per la mitigazione del rischio geologico, idrologico e idraulico è opportuno privilegiare le azioni di previsione, prevenzione e gestione dell'emergenza, limitando per quanto possibile le azioni emergenziali e di ripristino a quelle utili per la riduzione progressiva del rischio, e per il ripristino di condizioni generali di sicurezza territoriale. In particolare, si ritiene necessario:

- migliorare le conoscenze scientifiche sulle dinamiche di cambiamento e la loro possibile futura evoluzione;
- potenziare i sistemi di osservazione di eventi critici;
- sviluppare tecniche avanzate per l'individuazione delle aree vulnerabili, e per valutare la vulnerabilità di diversi elementi a rischio, inclusa la popolazione;
- coordinare le azioni di adattamento a tutte le scale geografiche e amministrative, basandole su valutazioni economiche condivise;
- realizzare e migliorare opere di difesa adeguate, con il supporto di dati e conoscenze scientifiche aggiornati.

Per raggiungere questi obiettivi è indispensabile lo sviluppo di una moderna cultura della prevenzione, che favorisca la pianificazione e la gestione integrata del territorio e delle risorse, e una mitigazione del rischio coordinata a diverse scale geografiche, temporali e organizzative. Infine, una strategia di adattamento sarà efficace se sarà fondata su solide basi scientifiche e conoscitive che ne permettano la condivisione fra i diversi attori interessati, non ultimi i cittadini stessi.

DESERTIFICAZIONE, DEGRADO DEL TERRITORIO E SICITÀ

SINTESI

La valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulla desertificazione e il degrado del territorio è stata effettuata sulla base degli indici di aridità e siccità che sono i principali, ma non unici, fattori di esposizione climatica. Dalla valutazione qualitativa di tali indici appare evidente che i cambiamenti climatici avranno un profondo effetto sulla struttura e sulle funzioni degli ecosistemi agro-forestali e pastorali, influenzandone la composizione, la produttività, la capacità di regolazione dei cicli biofisici e biochimici e le caratteristiche radiative dei suoli. Incrementi dell'aridità e di fenomeni meteorologici estremi come siccità e precipitazioni intense, influenzeranno gli ecosistemi modificando i rapporti di competizione tra gli organismi (possibile perdita di biodiversità) e riflettendosi sulle altre proprietà degli ecosistemi e dei servizi forniti. I cambiamenti climatici potranno esacerbare i processi di degrado attraverso complessi e inediti meccanismi di retroazione del sistema suolo-vegetazione acqua.

Le azioni di adattamento relative alla riduzione del degrado dovranno interessare l'agricoltura, la pastorizia, la gestione delle foreste, la gestione delle risorse idriche, i sistemi urbani, etc. con misure specifiche finalizzate a prevenire e mitigare fenomeni di desertificazione e degrado del territorio. Attualmente si dispone solo dei Programmi di Sviluppo Rurale (PSR) previsti nell'ambito della Politica Agricola Comune attraverso l'attuazione di misure per ottemperare alle previste condizionalità ambientali che mirano alla riduzione del rischio idrogeologico, alla realizzazione di interventi volti a prevenire l'erosione e migliorare la gestione dei suoli, al contenimento del rischio di desertificazione e ad interventi volti a migliorare la gestione delle risorse idriche. Si attendono i risultati della recente ripresa dell'elaborazione di una direttiva europea per la protezione del suolo ancora però nella fase di analisi degli strumenti legali disponibili negli Stati Membri. In considerazione che le azioni specifiche settoriali relative al degrado del territorio verranno trattate nei capitoli relativi ad ogni settore, le azioni di adattamento proposte nel presente capitolo consistono in indicazioni politiche generali e trasversali ovvero: (i) miglioramento delle conoscenze, (ii) definizione di un piano nazionale dedicato, (iii) definizione di opportuni sistemi per la diffusione delle conoscenze, delle tecniche e dei metodi disponibili. Il piano nazionale, articolato in piani regionali e azioni locali integrate nelle programmazioni e nelle politiche che influenzano il territorio e il suolo, verterà in particolare sulle strategie e piani di sviluppo sostenibile per la riduzione delle pressioni e del sovra-sfruttamento delle risorse naturali e per la diffusione dell'uso di tecnologie e metodi innovativi atti al recupero delle aree degradate.

INTRODUZIONE

La desertificazione e il degrado del territorio sono identificabili con la perdita di produttività biologica ed economica del territorio, fenomeni attribuibili all'azione congiunta di processi di origine naturale e di origine antropica che si manifestano con molteplici meccanismi bio-fisici. Il concetto di desertificazione indica il grado estremo di degrado del territorio. Il complesso di fenomeni che caratterizza desertificazione e degrado del territorio interessa globalmente circa il 25% delle terre emerse e il 30% delle terre arabili (UNCCD 2015), con caratteristiche diverse che dipendono dall'articolata e complessa interazione tra i fattori di pressione e i caratteri specifici dell'area. Negli ultimi decenni, i fenomeni di degrado si stanno diffondendo rapidamente anche in zone "umide", in ragione della diversa disponibilità quantitativa di risorse idriche e dell'accumulo dei fenomeni di sovra-sfruttamento della terra. Lo stato e i *trend* futuri di degrado del territorio, nonché la sensibilità a ulteriori aggravamenti e a fenomeni di desertificazione, sono il risultato delle pressioni che l'uomo ha direttamente esercitato, e che continua ad esercitare, attraverso l'eccessivo utilizzo e la sottrazione irreversibile delle risorse, unite all'immissione di sostanze nocive.

La valutazione e l'analisi delle condizioni attuali delle diverse componenti del territorio forniscono gli elementi per definirne la sensibilità a future ulteriori pressioni e perturbazioni e in particolare ai cambiamenti che nei prossimi decenni caratterizzeranno il sistema climatico.

La Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD) costituisce il riferimento internazionale anche per quanto riguarda i sistemi di monitoraggio, le cui valutazioni sono poi alla base della definizione di azioni e misure. Le azioni e le misure di mitigazione della desertificazione si configurano anche come azioni di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici laddove questi costituiscano una delle principali cause di desertificazione. L'UNCCD ha definito un set di indicatori per valutare e misurare l'impatto delle politiche e delle azioni nazionali messe in atto attraverso il monitoraggio dello stato attuale e dell'evoluzione di tali fenomeni.

Dopo il lancio dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite, che individua 17 obiettivi globali (SDGs - *Sustainable Development Goals*) e 169 target, e con le decisioni prese dalla COP 12 della UNCCD, il focus è stato posto sul concetto di *land degradation neutrality* (LDN) che i Paesi si sono impegnati a cercare di raggiungere (Target 15.3 degli SDG) entro il 2030³⁴. Per la sua misurazione, in linea con le indicazioni della Commissione Statistica delle Nazioni Unite, è previsto l'impiego di tre macro indicatori per la verifica e la valutazione dell'andamento dei processi di tipo ambientale, sociale ed economico sul territorio, per valutarne le possibili evoluzioni e per definire i target nazionali da raggiungere. I tre indicatori, già inseriti nel set definito nel 2012, sono:

- copertura del territorio e suoi cambiamenti (*Land cover and land cover change*), basato sugli inventari di copertura resi disponibili a scala globale da fonti fra cui l'Agenzia Spaziale Europea, la FAO e la NASA; per tutti i paesi dell'Europa, nel caso specifico Italia, si può far ricorso al più dettagliato CORINE *Land Cover* dell'Agenzia Ambientale Europea – EEA;
- produttività del territorio (*Land Productivity*), basato sull'utilizzo del *remote sensing* per la derivazione di indici di vegetazione (sulle base della metodologia utilizzata dalla UNCCD nel *LDN Pilot Project*);
- carbonio accumulato sia nella biomassa vegetale che nella materia organica del suolo.

I tre indicatori di LDN sono già stati utilizzati dall'Italia in un progetto pilota della UNCCD nel 2014 per valutare le condizioni attuali della desertificazione e del degrado in Italia. Vista la loro rilevanza anche ai fini della valutazione degli impatti e dell'adattamento ai cambiamenti climatici, essi sono stati utilizzati anche in questo capitolo, aggiornati al 2015.

SENSIBILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE

La “sensibilità” rappresenta la valutazione della predisposizione di una specifica area a subire processi di desertificazione, in base all'impiego di indici derivati dalla sovrapposizione di cartografie climatiche, pedologiche e di copertura vegetale e di uso del suolo. Molti progetti di ricerca hanno sviluppato metodologie apposite per la valutazione della sensibilità e prodotto risultati su aree pilota. Per esempio, il progetto europeo MEDALUS, che per primo studiò la dimensione mediterranea della desertificazione dal 1991 al 1999, ha messo a punto un sistema di indicatori per la valutazione e la mappatura delle Aree Sensibili, definite come *Environmentally Sensitive Areas* (ESA) (Kosmas et al. 1999). Questa metodologia è ancora oggi alla base di molte analisi di sensibilità ed è stata applicata, con vari adattamenti e a varie scale spaziali, da singoli bacini idrografici all'intera area PanMediterranea (EEA 2008).

La più recente applicazione della metodologia ESA a scala nazionale (Perini et al. 2008) fornisce un quadro della sensibilità alla desertificazione del territorio italiano basato su dati aggiornati all'anno 2000 (Figura 1-15). Tutto il territorio mostra aree sensibili ma con gradi d'intensità e con estensione delle aree interessate diverse tra loro. L'estensione totale della superficie delle aree molto sensibili è 3 milioni di ha (10,1%), è prevalentemente distribuita in Sicilia, Puglia e Sardegna. Le aree con sensibilità medio-alta sono

³⁴ Sul raggiungimento di tale target punterà anche la nuova strategia 2018 – 2030 della UNCCD, in via di elaborazione.

14,7 milioni di ha (49%) sono diffuse su tutto il territorio nazionale con prevalenza nelle regioni pianeggianti del nord, nelle aree costiere del centro e nord est, Sardegna e Puglia.

Il Ministero dell'Ambiente nell'ambito delle attività del Comitato Nazionale per la Lotta Alla Desertificazione ha inoltre promosso l'elaborazione a scala sub-nazionale di mappe di sensibilità alla desertificazione per sette regioni e tre bacini idrografici, utilizzando dati che hanno consentito di ottenere un quadro di maggiore dettaglio delle condizioni di sensibilità del territorio.

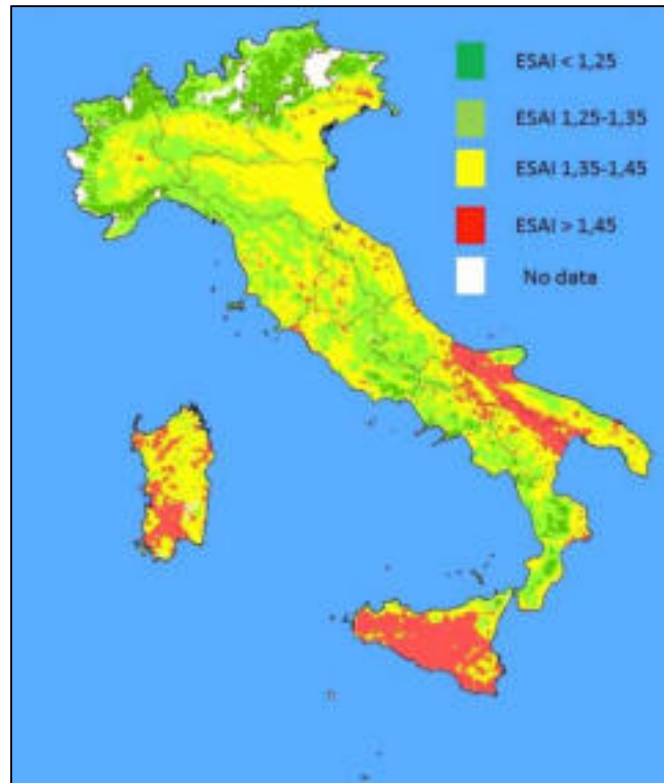


Figura 1-15: Mappa delle aree sensibili alla desertificazione individuate in base all'ESAI Index (ESAI)³⁵.

COPERTURA E USO DEL TERRITORIO NAZIONALE

Il consumo di suolo, sebbene non sempre direttamente correlato con i cambiamenti climatici, è un fattore di degrado di natura antropica che ha un rilievo ai fini della valutazione della desertificazione a causa della progressiva diminuzione della risorsa suolo causato dall'espansione delle aree urbane. La riduzione di suolo avvenuta nei decenni passati ha principalmente interessato (Munafò et al. 2015) le aree metropolitane (dove è più alta la percentuale di suolo coperto da costruzioni) e le 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.

I cambiamenti di uso possono provocare la perdita della produttività biologica del suolo a causa dell'impermeabilizzazione causata dall'espansione delle aree urbane, industriali e delle infrastrutture. Negli anni compresi fra il 2000 e il 2012 si stima, utilizzando il database europeo CORINE, che le aree forestali e

³⁵ Fonte: Salvati et al. 2005.

agricole sono diminuite rispettivamente di 443 e 730 km², mentre aree urbane e pascoli-arbusti sono rispettivamente aumentati di 814 e 264 km².

La copertura del territorio è inoltre un fattore molto importante per la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici. Sulla base dei dati CORINE, relativi al periodo 2008-2012, viene quantificata nelle sei macroregioni climatiche identificate nel paragrafo 1.1.1 l'estensione delle aree forestali, agricole e pastorali ottenute aggregando le classi del CORINE *land cover* (CLC, 2012)³⁶ nelle macro classi adottate dall'IPCC³⁷. Le zone agricole costituiscono la copertura prevalente nelle macroregioni climatiche 1, 2, 3 e 6 mentre nelle macroregioni 4 e 5 costituite dalle aree montane la copertura prevalente è costituita dalle foreste. Nella macroregione 6, climaticamente più secca (Figura 1-20) le zone pastorali sono più estese rispetto a tutte le altre macroregioni (Figura 1-16).

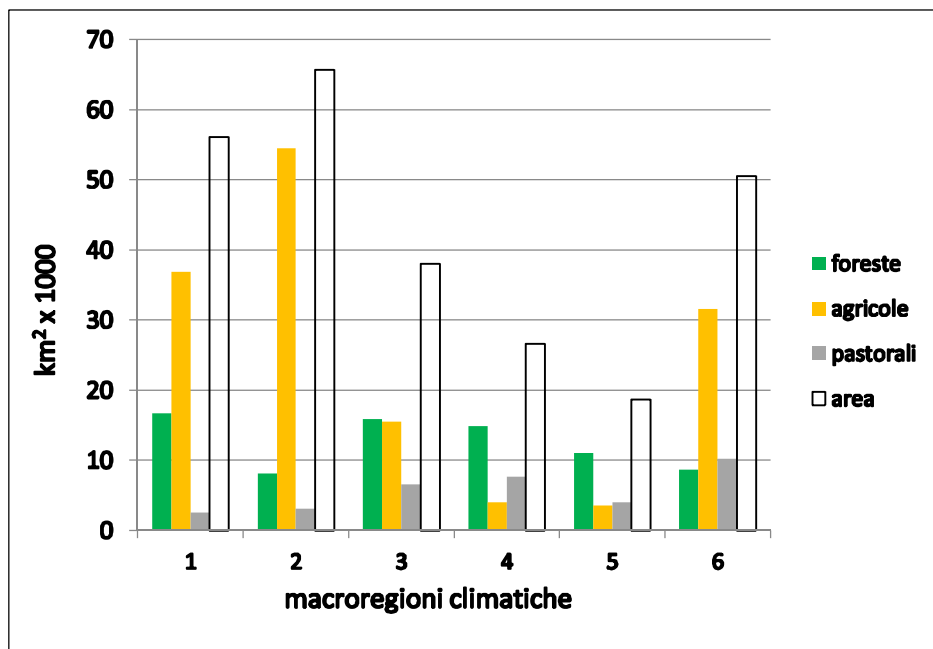


Figura 1-16: Superficie delle aree forestali, agricole e pastorali nelle macroregioni climatiche.

All'interno delle macroregioni climatiche la distribuzione dei tre tipi di coperture è molto disomogenea e pertanto anche i potenziali impatti all'interno di ogni macroregione variano di conseguenza. Le classi agricole e forestali, al loro interno, contengono numerose sottoclassi i cui impatti verranno analizzati con il necessario dettaglio nei capitoli ad esse specificamente dedicati del presente piano.

PRODUTTIVITÀ DEL TERRITORIO

L'indice "produttività del territorio" si riferisce alla produttività primaria, sopra il suolo, degli ecosistemi terrestri espressa in termini di quantità di carbonio accumulato nella biomassa vegetale (Produttività Primaria Netta). L'indice di produttività non è una misura esatta della Produttività Primaria Netta ma solo una sua approssimazione utilizzata al fine di fornire un supporto alle decisioni politiche attinenti al degrado del territorio e alla desertificazione. La produttività primaria è direttamente correlata alla capacità degli ecosistemi terrestri di produrre cibo, regolare l'approvvigionamento idrico, fornire energia e nutrienti, sequestrare carbonio e conservare biodiversità (Millenium Ecosystem Assessment 2005). Lo stato e i trend dell'indice della produttività del territorio, a scala nazionale, è ottenuta utilizzando l'indice di vegetazione rilevato da satellite, il "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI). Questo indice permette di valutare

³⁶ CORINE Land Cover: <http://www.europa.eu/publications/COR0-landcover>

³⁷ Classi di copertura IPCC: Forestali, Agricole, Pastorali, Umide, Urbane, Altre

la quantità della biomassa vegetale, ma non consente di valutarne le variazioni di qualità, e rappresenta pertanto solo una prima approssimazione ai fini della valutazione della produttività del territorio. Le analisi relative all'arco temporale compreso fra il 2000 e il 2015 consentono di individuare lo stato e i trend dell'indice di produttività (Sciortino et al. 2016).

Stato

La mappa dei valori medi e della deviazione standard dell'indice di produttività (che indica la variabilità del valore dell'indice nel tempo) (Figura 1-17) delle zone forestali, agricole e pastorali è ottenuta utilizzando come soglie di riferimento il 25°, 50° e 75° percentile delle rispettive distribuzioni cumulate. Le zone di bassa produttività nella mappa dei valori medi non sempre possono essere considerate degradate perché in molti casi la bassa produttività è dovuta al tipo di copertura vegetale o attività colturale. Queste aree saranno maggiormente sensibili a possibili impatti dovuti ai cambiamenti climatici in quanto vicine a condizioni di criticità e pertanto soggette a possibili processi di degrado qualora sottoposte a pressioni persistenti che alterino le attuali condizioni.

L'aggregazione dell'indice di produttività media per macroregione climatica e per tipologia di copertura (Figura 1-18) fornisce un primo quadro della situazione attuale.

L'indice di produttività media (normalizzato) evidenzia che le macroregioni 1, 2 e 6 hanno la maggiore produttività media delle zone agricole, mentre le macroregioni 3, 4, 5 hanno la maggiore produttività forestale. In generale, la produttività media delle zone agricole è maggiore e quella delle zone forestali e pastorali.

Osservando nel dettaglio le mappe (Figura 1-17) si possono individuare le caratteristiche produttive del territorio. Ad esempio le aree utilizzate per la coltivazione del riso, che sono comprese nella macroregione 1, hanno un basso valore dell'indice, in quanto la coltura del riso lascia scoperto e allagato il terreno per lunghi periodi. Le stesse aree hanno un indice di deviazione standard basso, in quanto si tratta di un ecosistema agrario con una produttività attualmente molto costante. Queste aree, se sottoposte ad uno stress dovuto ad incrementi di aridità o eventi di siccità, potrebbero subire impatti negativi. Al contrario, le zone di bassa produttività nella macroregione 6, sono principalmente seminativi che hanno una produttività inter annuale molto variabile dovuta sia alle rotazioni colturali che a una maggiore sensibilità ai fattori di esposizione climatica. Anche queste zone sarebbero maggiormente soggette ad impatti negativi qualora esposte a condizioni di maggiore aridità e siccità.

Le mappe dell'indice ESAI (Figura 1-16) e dello stato della Produttività del Territorio (Figura 1-17) ottenute utilizzando metodi e dati diversi forniscono un quadro nazionale della sensibilità del territorio coerente che conferma la presenza di ampie aree con sensibilità ai processi di degrado che possono essere causati da cambiamenti climatici.

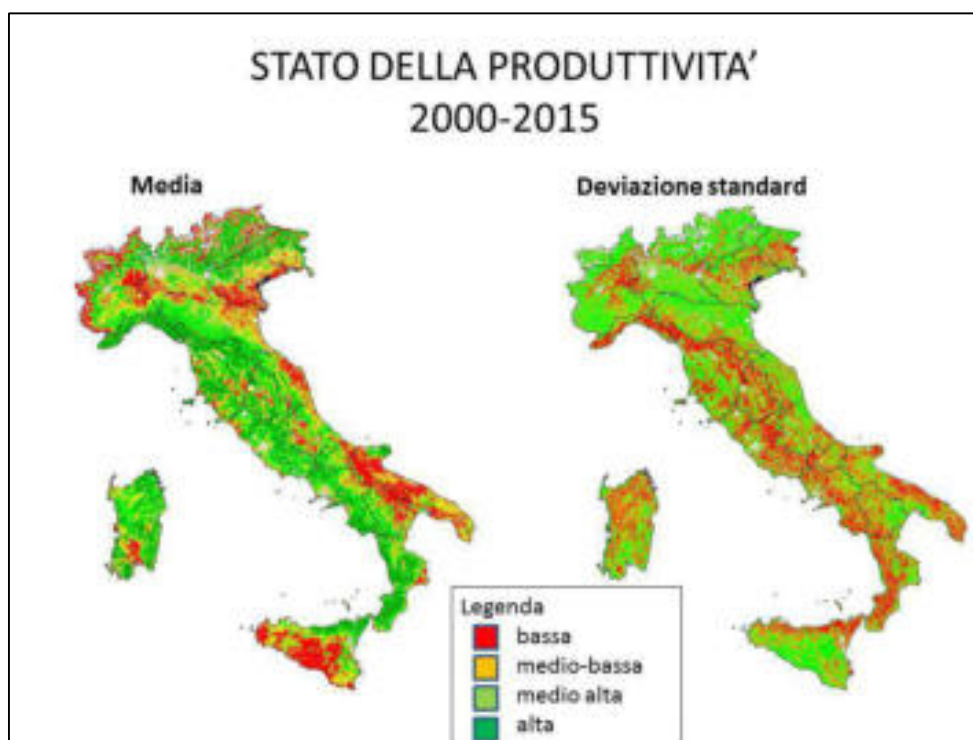


Figura 1-17: Mappa della media e della deviazione standard (2000-2015) dell'indice di produttività valutato in base alla distribuzione cumulata dei valori medi dell'indice nelle aree forestali, agricole, e pastorali³⁸.

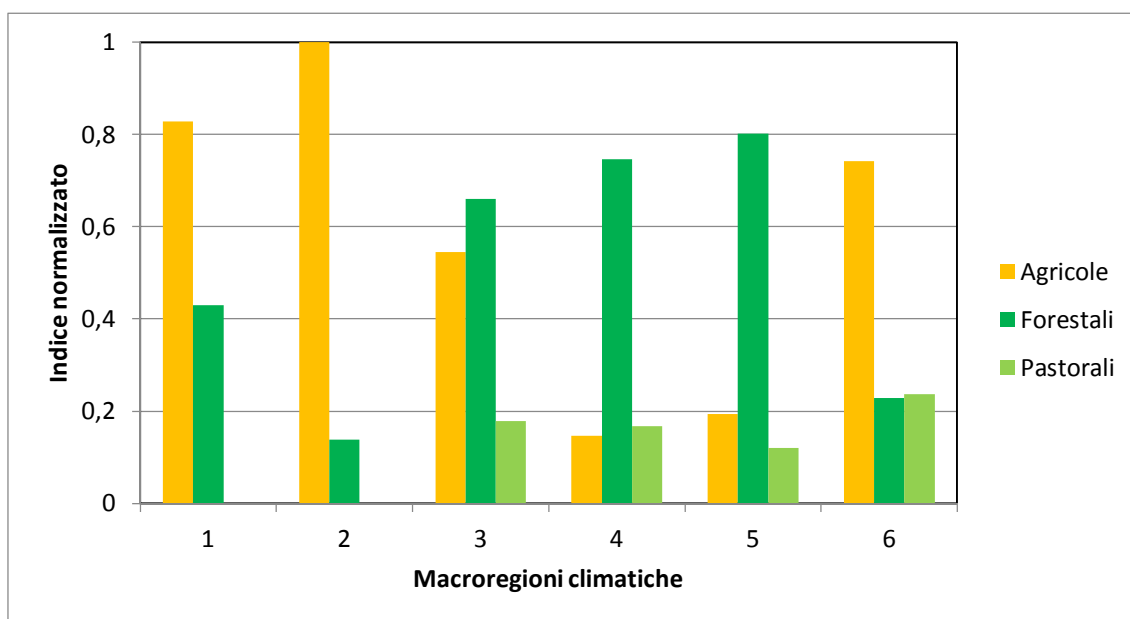


Figura 1-18: Indice medio (2000-2015) normalizzato della produttività media delle zone agricole, forestali e pastorali³⁹.

Trend

I trend dell'indice di produttività, relativi agli anni 2000-2015, ottenuti utilizzando i test Mann-Kendall (MK) e Contextual Mann-Kendall (CMK) (Neeti and Eastman 2011), individuano i trend positivi e negativi dell'indice. La selezione di trend validi (positivi e negativi), effettuata utilizzando i test di significatività di

³⁸ Fonte: Sciortino et al., 2016.

³⁹ La normalizzazione è effettuata rispetto ai valori di medi di tutte le macroregioni climatiche nei tre settori.

MK e CMK consente poi di valutare l'estensione delle aree interessate da incremento e diminuzione dell'indice di produttività in base alla soglia di confidenza minima statistica stabilita che in questa valutazione è pari al 95%. Sulla base della soglia statistica e utilizzando i due test di significatività, viene individuato un valore massimo e minimo delle aree interessate da incrementi e diminuzioni della produttività. Le aree interessate da trend incremento dell'indice di produttività (Figura 1-19) a livello nazionale sono comprese fra 72,878 e 104,744 km² mentre le aree con trend negativi sono comprese fra 818 e 4787 km². I trend positivi sono *attribuibili sia all'incremento del carbonio accumulato dalle foreste*, documentato dall'Inventario Nazionale delle Foreste (INFC 2015), sia alla diminuzione delle superfici agricole e alla conseguente rinaturalizzazione di vaste aree precedentemente coltivate, documentato dal VI Censimento dell'Agricoltura (ISTAT 2013). I trend negativi, sebbene interessino aree di estensione molto minore di quelli positivi, indicano la presenza di alcune zone dove è necessario effettuare verifiche di maggior dettaglio per un'interpretazione corretta dei risultati.

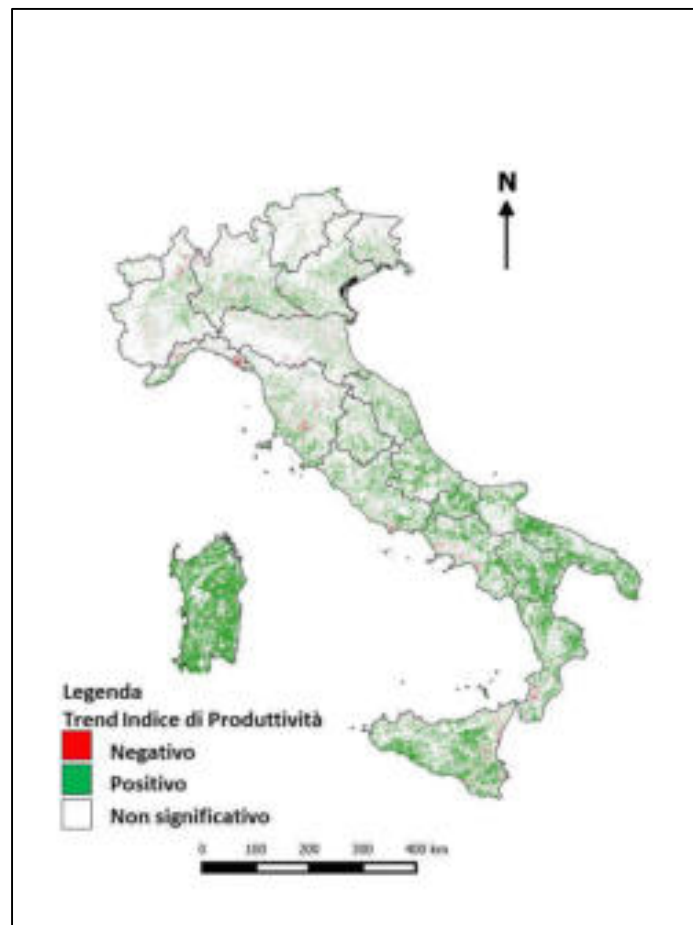


Figura 1-19: Mappa dei trend dell'indice di produttività annuo (2000-2015) con livello di significatività 95%⁴⁰

⁴⁰ Fonte: Sciortino et al., 2016.

Tabella 1-20: Superficie massima e minima (km²) delle aree interessate da trend positivi, negativi dell'indice di produttività nelle zone agricole, forestali e pastorali⁴¹.

Zone	Aree Trend positivo (km ²)		Aree Trend negativo (km ²)	
	Min	Max	Min	max
Agricole	45739 (63%)	66699 (64%)	377 (46%)	2789 (58%)
Forestali	13802 (19%)	20760 (20%)	414 (51%)	1821 (38%)
Pastorali	13332 (18%)	17285 (17%)	27 (3%)	177 (4%)
Italia	72873	104744	818	4787

Analizzando per tipologia di uso del suolo (Tabella 1-20) si osserva che i trend positivi sono prevalentemente concentrati nelle aree agricole (64%) mentre quelli negativi sono distribuiti uniformemente fra le zone agricole e forestali. I trend positivi nelle zone pastorali sono significativi mentre quelli negativi molto ridotti. L'estensione delle aree massime e minime stimate utilizzando i test di significatività MK e CMK indica un intervallo di valori di riferimento ma la distribuzione percentuale dei trend nelle tre tipologie non varia apprezzabilmente (Tabella 1-21).

Tabella 1-21: Classi di percentuale di superficie delle aree minime (test CMK) interessate da trend positivi, negativi e non significativi dell'indice di produttività nelle macroregioni climatiche.

	Macroregioni climatiche					
<25% 25-50% 50-75% >75%						
% in ettari totali per ciascuna macroregione	1	2	3	4	5	6
Aumento produttività	24,7%	40,2%	46,3%	11,6%	10,2%	61,2%
Diminuzione produttività	0,4%	0,3%	0,1%	0,3%	0,4%	0,3%
Variazione non significativa	74,9%	59,5%	53,6%	88,1%	89,4%	38,5%

Analizzando i trend per macroregione climatica riportati in Tabella 1-21 si osserva che:

- le aree interessate da trend positivi hanno un marcato andamento geografico, con estensioni minori al nord e maggiori al sud (massimo macroregione 6);
- le aree con trend negativi sono uniformemente distribuite;
- in termini assoluti (Tabella 1-21) le zone di maggiore estensione delle aree con trend positivi dell'indice di produttività è nelle macroregione 6 e nella macroregione 2 mentre la maggiore estensione delle aree con trend negativi è nelle macroregione 1 (0,37%) e macroregione 2 (0,26%);
- in termini percentuali, rispetto alla superficie della macroregione climatica, le zone maggiormente interessate da trend positivi sono le macroregioni 2, 3, 6 e quelle maggiormente interessate da trend negativi la 1, 2 e 5 che da un punto di vista geografico sono tutte nelle regioni del centro nord;
- la macroregione climatica 6, dove si riscontra la maggiore area di incremento percentuale e assoluto dell'indice di produttività, è anche quella dove l'indice di produttività medio delle aree forestali e

⁴¹ Il valori massimi e minimi sono associati ai test di significatività MK e CMK.

agricole è più basso rispetto alle zone 1 e 2, indicando con ciò che l'aumento dell'indice è maggiore nelle aree sfavorite per motivi geografici e colturali.

Disaggregando ulteriormente i dati di trend, ma limitando l'analisi ai trend negativi per le zone agricole e forestali (Figura 1-20) si evidenzia che le aree agricole maggiormente affette sono quelle della macroregioni 2 e 6, mentre le aree forestali maggiormente affette sono le zone 1, 4, 5.

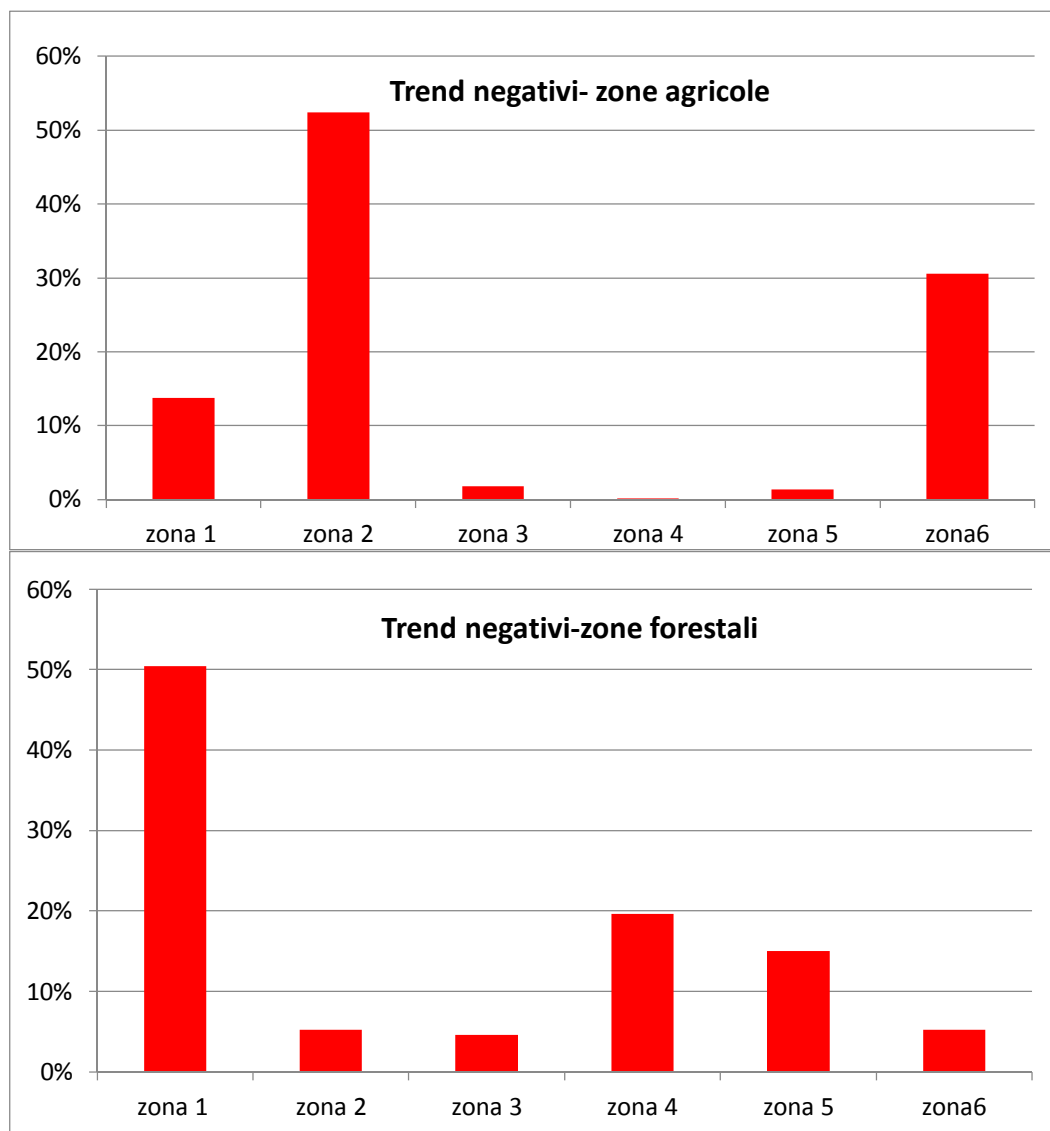


Figura 1-20: Trend negativi delle zone agricole e forestali per macroregione climatica, in percentuale rispetto alle rispettive superficie totali interessate da trend.

Le differenze dei trend dell'indice di produttività fra zone climatiche del nord e sud Italia è anche attribuibile ad un incremento delle precipitazioni nelle regioni del centro sud nell'arco di tempo compreso fra il 2000 e il 2015 e all'imponente rinaturalizzazione in atto, dovuta alla riduzione delle attività produttive agricole.

La situazione di incremento quantitativo della biomassa vegetale costituisce un dato sicuramente positivo per quanto riguarda l'accumulo di carbonio dovuto principalmente a decenni di progressivo abbandono delle attività agricole, soprattutto nelle zone collinari e montane che hanno fatto sì che le aree rurali d'Italia siano diventate sempre più verdi, nonostante la continua e progressiva espansione delle aree urbane. Gli Inventari Forestale (INFC 2015) e Agricolo (ISTAT 2013) nazionali stimano che la superficie boschiva continua a crescere mentre la SAU, Superficie Agricola Utilizzata, continua a ridursi in conseguenza di

profondi cambiamenti del paesaggio rurale e dell'agricoltura italiana. L'espansione delle superfici boschive documentata dall'Inventario Nazionale delle Foreste è, in larghissima misura, un fenomeno spontaneo e incontrollato dato che solo 1.700 ha l'anno su 28.000 ha sono dovuti a rimboschimenti. L'abbandono dei terreni agricoli marginali e il relativo inselvaticamento del territorio italiano costituiscono una rilevante forza trainante del cambiamento, documentato dall'indice di "produttività" del territorio.

Le cause di incremento dell'indice di produttività vanno interpretate alla luce delle specifiche circostanze locali, come l'abbandono o il cambiamento di uso del suolo. La tendenza positiva dell'indice di produttività può rappresentare per gli attori locali una perdita di capitale naturale e di biodiversità e dunque non può essere associato acriticamente a miglioramenti del territorio. Pertanto, è opportuno siano effettuati studi di validazione a scala locale e attività di valutazione dei trend con il coinvolgimento degli stakeholder locali, in particolare per la definizione di politiche, misure e azioni.

Le aree di diminuzione dell'indice di produttività costituiscono un campanello di allarme per situazioni localizzate di gestione del territorio le cui cause vanno ricercate, nel caso della copertura forestale nella perdita di produttività in seguito a incendi, malattie, eventi estremi che possono aver determinato la distruzione di una parte della copertura forestale. Questo è indirettamente confermato dalla situazione della copertura vegetale nelle aree protette dove, in virtù di un maggior regime di salvaguardia, non si registra nessuna diminuzione dell'indice. La diminuzione dell'indice nelle limitate zone agricole ove si riscontra può essere correlato a cambiamenti colturali ma anche ad attività che hanno portato ad un diverso uso del suolo.

CARBONIO ORGANICO NEL SUOLO

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 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 (IPCC 2000): 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 ed è pertanto fortemente correlato ai cambiamenti del clima. Le variazioni climatiche potranno determinare una diminuzione del contenuto di carbonio dei suoli non solo a causa di una maggiore erosione ma anche a causa della maggiore ossidazione e mineralizzazione della sostanza organica in essa contenuta.

L'attuale distribuzione spaziale del contenuto di carbonio organico (de Brogniez et al. 2014) rivela valori più elevati nelle Alpi, Appennini e Sardegna, soprattutto in corrispondenza con le foreste, mentre le aree più povere sono quelle più intensamente coltivate delle pianure e basse colline. È 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.

Sebbene sussistano molte incertezze sulla possibilità di disporre di una precisa quantificazione del carbonio sequestrato nel suolo in mancanza di adeguate risorse e di una standardizzazione delle metodologie di indagine, ISPRA, in collaborazione con ARPAV, i Servizi pedologici di alcune regioni delle regioni, alcuni centri del CRA (CRA-RPS e CRA- ABP) e JRC-IES, ha avviato nel 2005 il Progetto pilota SIAS - Sviluppo di Indicatori Ambientali sul Suolo, tra i cui obiettivi principali vi è l'armonizzazione delle informazioni sul carbonio organico dei suoli partendo dai dati già disponibili presso le Regioni (approccio "bottom-up"). Seppure con molti limiti (dati raccolti in periodi diversi, analisi effettuate da laboratori differenti, etc.), 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 e i dati richiesti dal SIAS (Di Leginio and Fumanti 2012) mostrano nella sezione di suolo da 0 a 30 cm contenuti

medi di carbonio organico che variano tra 34 e 60 t ha⁻¹, 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 t ha⁻¹) e minori lungo la dorsale appenninica (tra 50 e 58 t ha⁻¹) (Figura 1-21).

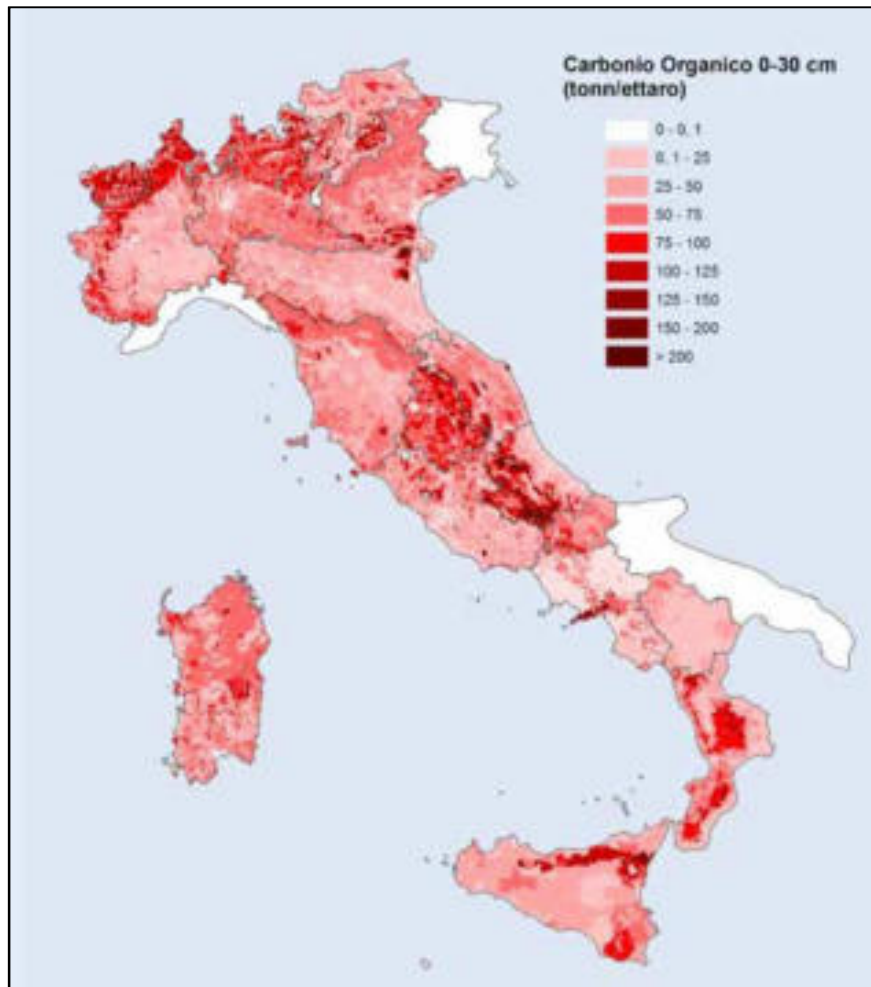


Figura 1-21: Contenuto di CO nell'orizzonte superficiale dei suoli Italiani⁴².

Un quadro europeo della situazione del carbonio accumulato nello strato superficiale del suolo (de Brogniez et al. 2014) indica che nuove pratiche colturali e di gestione potrebbero incrementare considerevolmente i valori attuali (Lugato et al. 2014). La conversione a pascoli costituisce la conversione con il maggiore potenziale di sequestro di SOC. Politiche e azioni che interessino con una combinazione di arature ridotte, incorporazione di residui e gestione dei pascoli, una parte degli attuali terreni coltivati, potrebbe incrementare l'accumulo di SOC. Queste opzioni dovranno essere valutate e proposte fra le azioni di settore.

Il SOC costituirà uno dei principali indicatori della futura politica europea di protezione dei suoli e pertanto le attuali difficoltà dovranno essere affrontate nel quadro dell'attuazione di una futura politica europea.

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I fattori di esposizione in grado di generare processi di degrado del territorio, fino alla sua espressione più estrema di desertificazione, possono essere di natura antropica e/o naturale. I fattori antropici e naturali

⁴² Fonte: ISPRA, 2015.

possono agire in combinazione attraverso processi in cui si determinano interazioni e retroazioni. I fattori antropici che possono determinare degrado e desertificazione sono quelli legati alle attività produttive quali, a titolo di esempio, il sovrasfruttamento del suolo e delle acque o la loro contaminazione, determinando un deterioramento delle qualità fisiche e chimiche e di conseguenza la perdita di capacità produttiva a fini economici e biologici. I fattori naturali cui ci si riferisce sono le variazioni delle precipitazioni e della temperatura, sebbene sia ormai chiara l'influenza dell'azione antropica sulle variazioni del clima. Ai fini della valutazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici, l'aridità e la siccità sono quindi considerati i fattori di esposizione naturale più significativi anche se potenzialmente non gli unici a causare impatti.

I dati di aridità e siccità utilizzati in questo capitolo sono ottenuti utilizzando i dati del database e-OBS per la caratterizzazione delle condizioni attuali e per gli scenari climatici futuri le simulazioni del modello climatico regionale COSMO-CLIM, precedentemente descritto.

Aridità

L'aridità è una caratteristica climatica che interessa specificamente le aree con scarse precipitazioni e alte temperature e viene rappresentata attraverso un indice che valuta in prima approssimazione il bilancio idrologico medio su lunghi archi temporali.

L'indice di aridità annuale (AI_{anno}) è ottenuto come media dei rapporti fra precipitazione (P_m) ed evapotraspirazione potenziale (ET_m) mensile:

$$AI_{anno} = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} (P_m / ET_m)$$

L'indice AI è il valore medio di lungo periodo di indici annuali. L'evaporazione potenziale mensile viene stimata ricorrendo a formulazioni empiriche. Le formule empiriche utilizzate per l'elaborazione di scenari sono:

- Equazione di Thornthwaite: $ET_m = 16L_d \left(\frac{10T_m}{I} \right)^a$ (mm/mese)
 Dove L_d è la durata media delle ore di luce del mese,
 T_m è la temperatura media mensile in °C,
 a un parametro calcolato in base alla temperatura media mensile,
 I l'indice di calore annuale calcolato sulla base delle temperature medie mensili.
- Equazione di Hargreaves $ET_m = 0.0023 * Ra * (T_m + 17.8) * T_d^{0.5}$ (mm/mese)
- Dove T_d è l'escursione di temperature giornaliera in °C,
- R_a la radiazione solare extraterrestre.

Le due formule permettono una valutazione dell'evapotraspirazione potenziale utilizzando alcuni parametri astronomici e la conoscenza del solo dato di temperatura media mensile. Questa formulazione semplificata è compatibile con la scala spaziale e temporale di valutazione di impatto di cambiamenti climatici rispetto ad altre formulazioni che richiedono la disponibilità di numerosi parametri meteorologici utilizzate per valutazioni di tipo agronomico a piccola scala. In base ai dati di precipitazione e di evapotraspirazione relativi al periodo 1981-2010, l'indice AI individua le regioni climatiche in Italia (Tabella 1-22). Le condizioni climatiche attuali del territorio italiano sono prevalentemente "umide". Le zone "secche" in Italia non comprendono zone aride ma solo zone semi-aride e sub umido secco.

Tabella 1-22: Classificazione delle aree climatiche secondo l'Indice di Aridità in Italia in base ai dati e-OBS (1981-2010).

Classificazione	Indice di Aridità	% Superficie Italia (Thornthwaite)	% Superficie Italia (Hargreaves)
Iper Arido	$AI < 0,03$	0	0
Arido	$0,03 < AI < 0,2$	0	0
Semi Arido	$0,2 < AI < 0,5$	6	22
Sub Umido Secco	$0,5 < AI < 0,65$	17	19
Umido	$AI > 0,65$	77	59

valori dell'indice di aridità attuali (1981-2010) ottenuti utilizzando le formule di Thornthwaite ed Hargreaves (Tabella 1-22) stimano che le condizioni di clima secco ($AI < 0,65$) interessano una superficie pari al 23% e 41% del territorio nazionale, principalmente nella macroregione climatica 6, ma la formulazione di Hargreaves comprende anche altre aree della macroregione 2 e solo in minima parte la macroregione 3 (Figura 1-22). La valutazione dell'estensione delle aree secche ottenuta utilizzando la formula di Thornthwaite indica valori inferiori rispetto a quella di Hargreaves. L'indice di aridità e le sue variazioni sono un importante indicatore per la valutazione dei possibili impatti dei cambiamenti climatici perché molti fenomeni bio-fisici sono ad esso direttamente connessi.

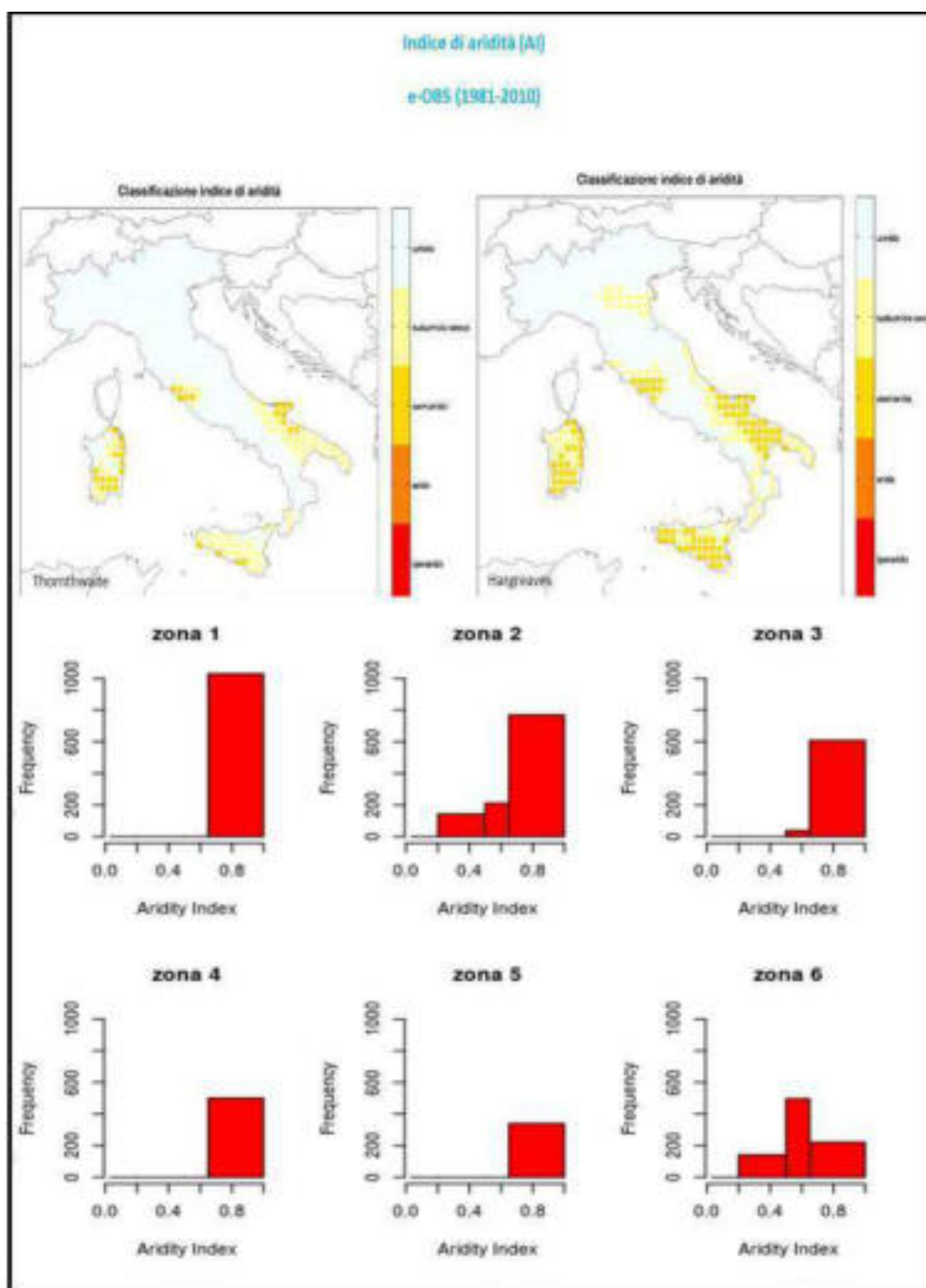


Figura 1-22: Mappe dell'Indice di Aridità per il periodo 1981-2010 ottenuto applicando le formule di Thornthwaite e Hargreaves sui dati e-OBS e disaggregazione dell'indice di aridità nelle sei zone climatiche dei dati ottenuti con la formula di Hargreaves⁴³.

⁴³ Fonte: elaborazioni sui dati del modello CMCC-CLM, 2016.

Le anomalie dell'AI per gli anni 2021-2050 (Figura 1-23) rispetto alla situazione attuale sono presentate solo in base allo scenario RCP4.5 che per l'orizzonte temporale considerato, non differisce significativamente dai risultati ottenuti utilizzando lo scenario RCP8.5.

Entrambe le formule empiriche indicano che l'effetto combinato delle variazioni delle temperature e delle precipitazioni che intervengono nell'indice di aridità, porterà ad un incremento delle condizioni di aridità su quasi tutto il territorio nazionale.

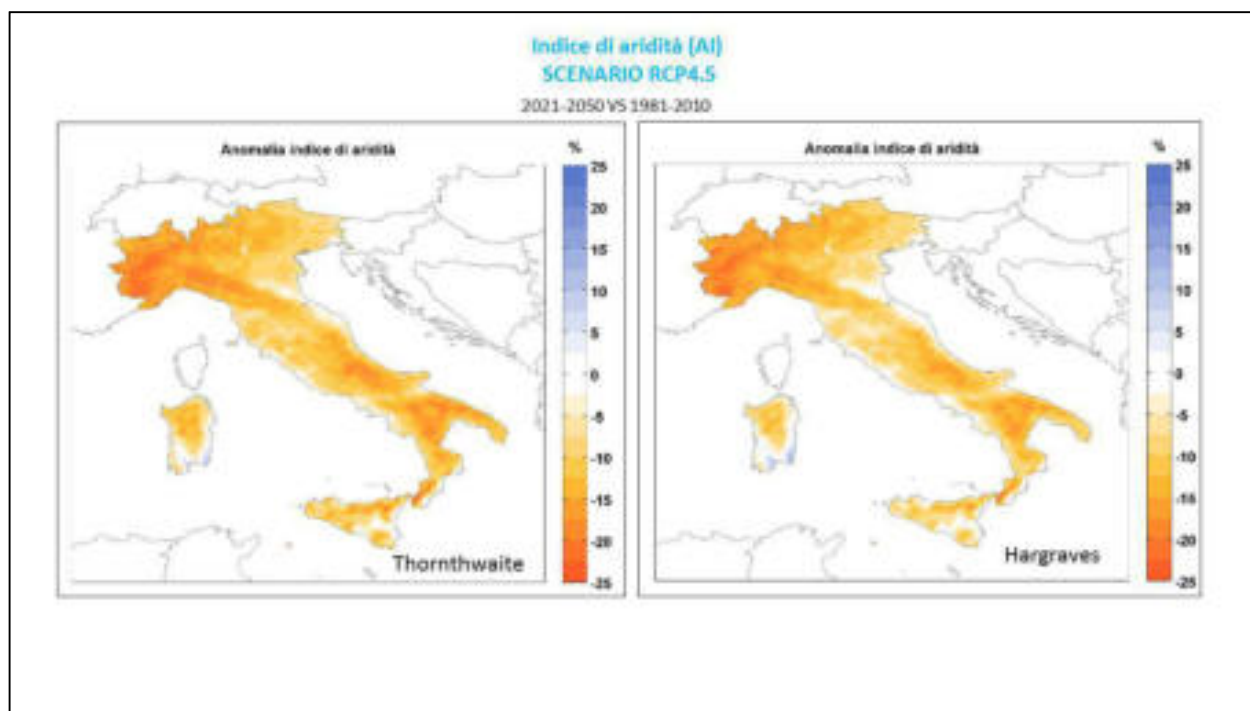


Figura 1-23: Anomalia dell'indice di Aridità per gli anni (2021-2050) rispetto alla situazione attuale (1981-2010) applicando le equazioni di Hargreaves e Thornthwaite sui dati di temperatura e precipitazione dello scenario RCP4.5⁴⁴.

Le variazioni delle anomalie dell'indice di aridità per macroregione climatica (Figura 1-24) confermano l'incremento prevalente di aridità in tutte le zone climatiche.

⁴⁴ Fonte: elaborazioni sui dati del modello CMCC-CLM, 2016.

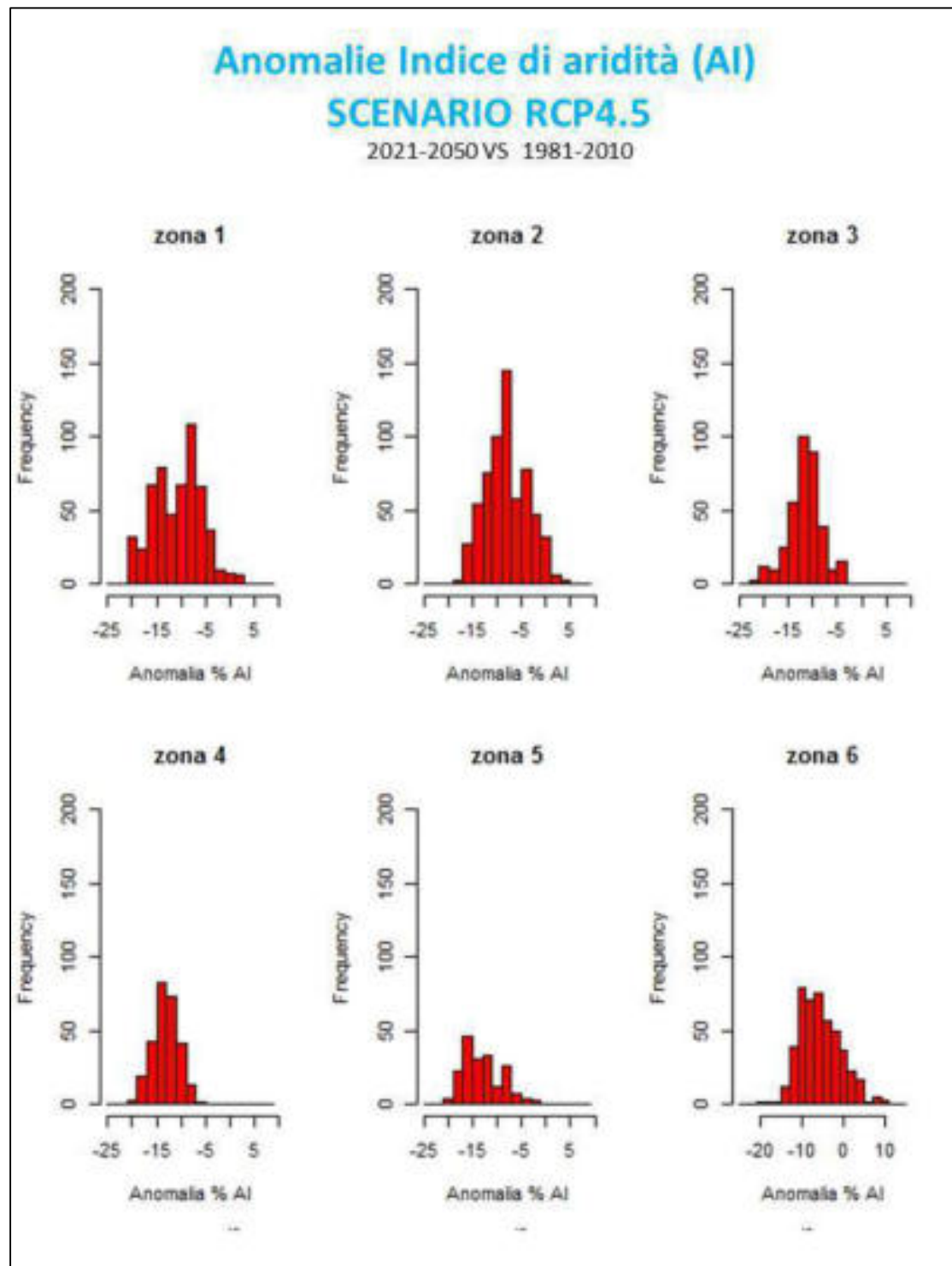


Figura 1-24: Anomalie percentuali dell'Indice di Aridità nelle zone climatiche secondo la formula di Hargreaves per lo scenario RCP4.5.

La disaggregazione delle anomalie per macroregione climatica (Figura 1-24) evidenzia che in tutte le zone climatiche l'indice di aridità ha una variazione prevalentemente negativa, indicando un aumento delle condizioni di aridità, con poche aree nelle macroregioni 2 e 6 ove si registrano variazioni positive (diminuzione dell'aridità) che nel complesso non modificano apprezzabilmente il cambiamento. Le anomalie dell'indice indicano un ampliamento delle zone secche ($IA < 0,65$) nelle macroregioni 6 e 2 mentre nelle altre macroregioni non si manifesterà la presenza di zone secche significative. In termini di valori medi nella macroregione 4 l'anomalia più intensa ha valore medio del -13%, mentre la macroregione 6 registra la minore anomalia con valore medio -5,6%.

Siccità

La siccità è un fenomeno climatico estremo che interessa tutte le aree climatiche incluse quelle umide. L'indice di siccità *Standardized Precipitation Index* (SPI) fornisce informazioni sulle anomalie, positive e negative, delle precipitazioni nell'arco di 3, 6, 12, 24 mesi rispetto ai valori climatologici riferiti agli stessi archi di tempo. L'indice SPI rappresenta le anomalie di eccesso o scarsità di precipitazione rispetto ai valori medi climatologici di riferimento utilizzati. L'indice SPI, calcolato in riferimento ai valori medi delle precipitazioni negli archi temporali di 3, 6, 12, 24 mesi, viene utilizzato in riferimento alla desertificazione utilizzando le categorie "siccità severa" e "siccità estrema" (Tabella 1-23).

Tabella 1-23: Classificazione dei valori dell'indice SPI.

Valori SPI	Classe
> 2.0	Estremamente umido
da 1.5 a 1.99	Molto umido
da 1.0 a 1.49	Moderatamente umido
da -0.99 a 0.99	Vicino alla norma
da -1.49 a -1.0	Siccità moderata
da -1.99 a -1.5	Siccità severa
< -2.0	Siccità estrema

Le anomalie negative, siccità severa ed estrema, della durata di 3-6 mesi hanno impatti prevalentemente agronomici, mentre quelle di 12-24 mesi hanno impatti di tipo prevalentemente idrologico e socio-economico. L'indice SPI valuta sia l'intensità che la durata delle anomalie. L'intensità è espressa dalla frequenza dell'evento rispetto a tutti gli eventi considerati nel periodo in esame. Le frequenze più basse sono associate agli eventi severi ed estremi e l'attendibilità dell'indice è pertanto maggiore quanto più lungo è il periodo considerato, che comunque non deve essere inferiore a 30 anni. Le anomalie riferite al periodo 2021-2050 sono state valutate rispetto ai valori medi degli anni 1981-2010 ottenendo in tal modo una valutazione delle anomalie di siccità del futuro rispetto al periodo attuale.

Anomalie del numero di eventi della durata di 3 mesi (SPI-3)

Le mappe delle anomalie severa ed estrema della durata di 3 mesi evidenziano una distribuzione geografica con incremento del numero di episodi di siccità (Figura 1-25).

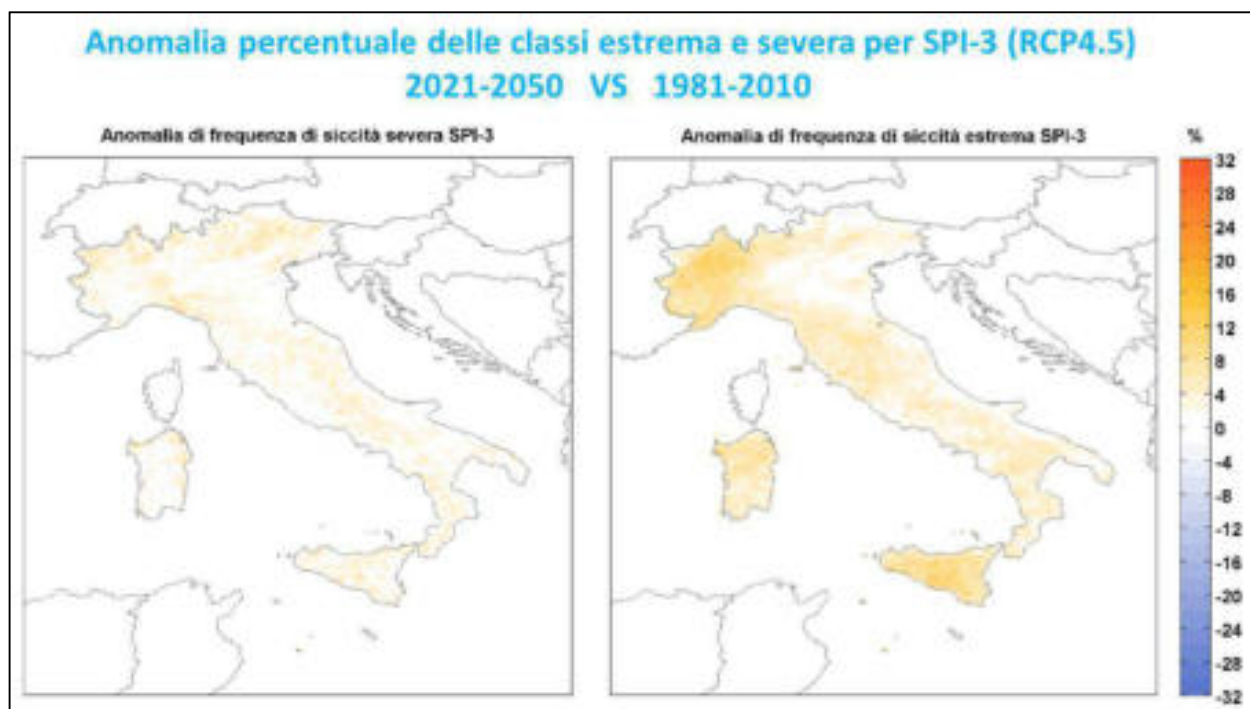


Figura 1-25: Indice di siccità (SPI), anomalie severa ed estrema della durata di 3 mesi in riferimento allo scenario RCP4.5⁴⁵.

La mappa indica che il numero di eventi di siccità severa ed estrema della durata di tre mesi avrà un incremento su tutto il territorio nazionale. La disaggregazione nelle zone climatiche (Figura 1-26) indica che il numero di eventi di anomalie estreme sarà maggiore nelle macroregioni climatiche 1, 2, 6.

⁴⁵ Fonte: elaborazioni sui dati del modello CMCC-CLM, 2016.

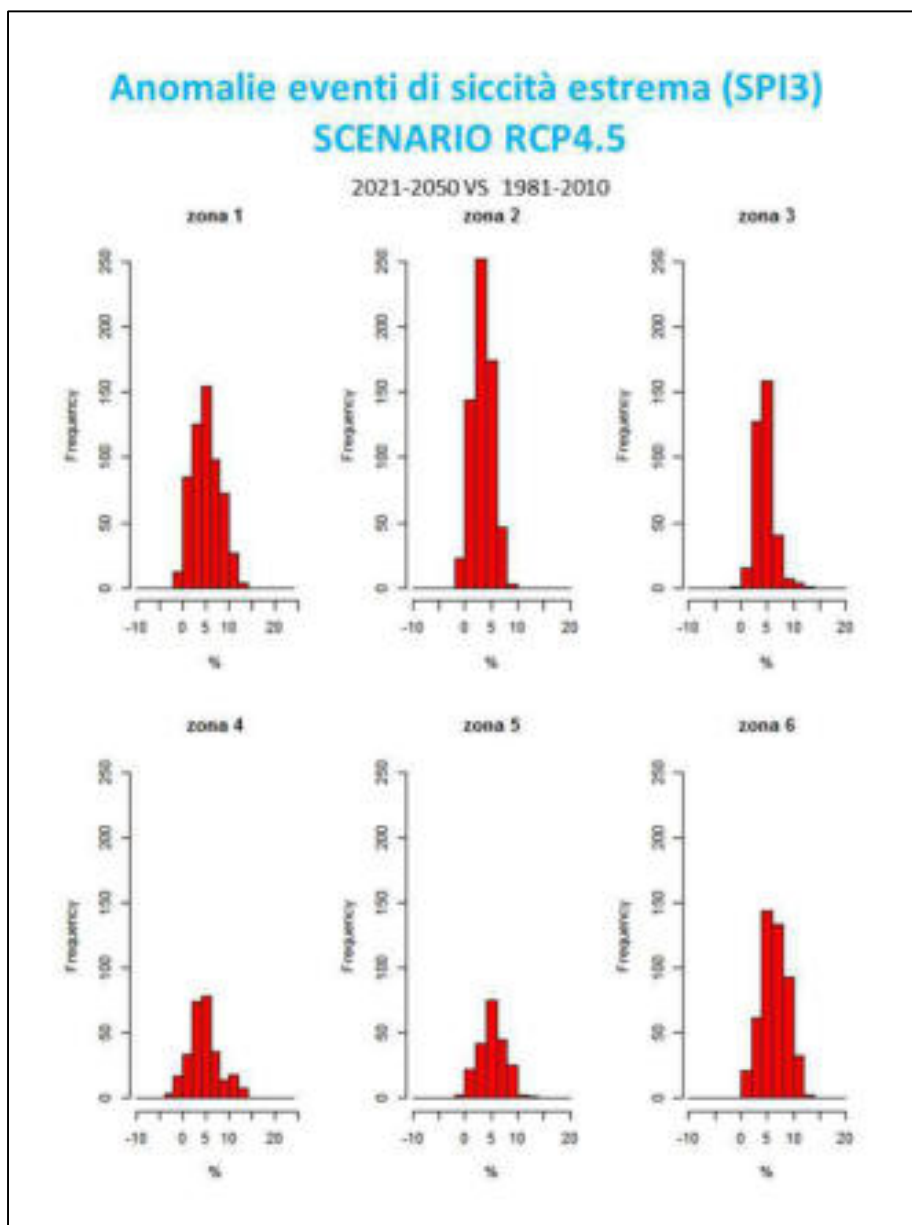


Figura 1-26: Frequenza delle anomalie del numero di eventi di siccità estrema per 3 mesi (SPI3) in riferimento allo scenario RCP4.5 nelle macroregione climatiche⁴⁶.

⁴⁶ Fonte: elaborazioni sui dati del modello CMCC-CLM, 2016.

Anomalie del numero di eventi della durata di 12 mesi (SPI-12)

Le mappe delle anomalie severa ed estrema della durata di 12 mesi evidenziano una distribuzione geografica con incrementi e diminuzioni di episodi di siccità (Figura 1-27).

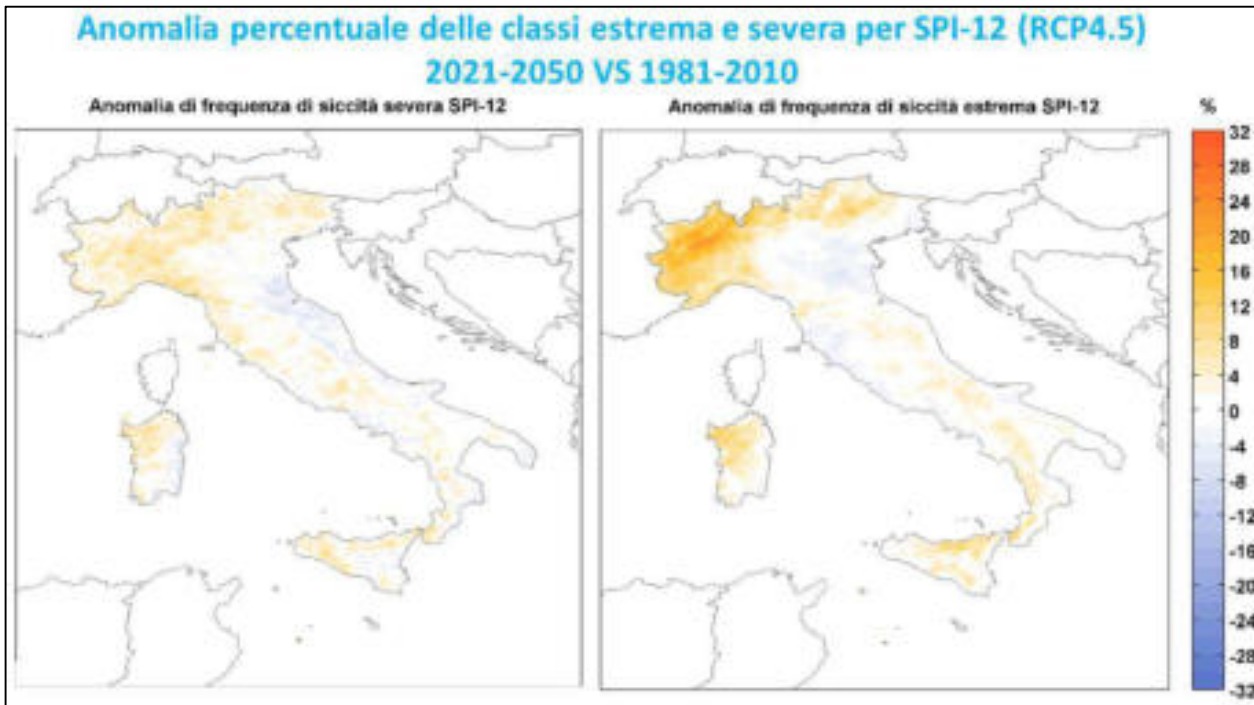


Figura 1-27: Anomalie dell'indice di siccità (SPI) per 12, mesi in riferimento allo scenario RCP4.5⁴⁷.

L'analisi della frequenza delle anomalie estreme per macroregione climatica (Figura 1-24) evidenzia che nelle macroregioni 1 e 2 numerose aree saranno soggette a siccità estrema. La Figura 1-28 indica anche la presenza di aree con diminuzione del numero di episodi della siccità estrema nelle macroregioni 1 e 2.

⁴⁷ Fonte: elaborazioni sui dati del modello CMCC-CLM, 2016.

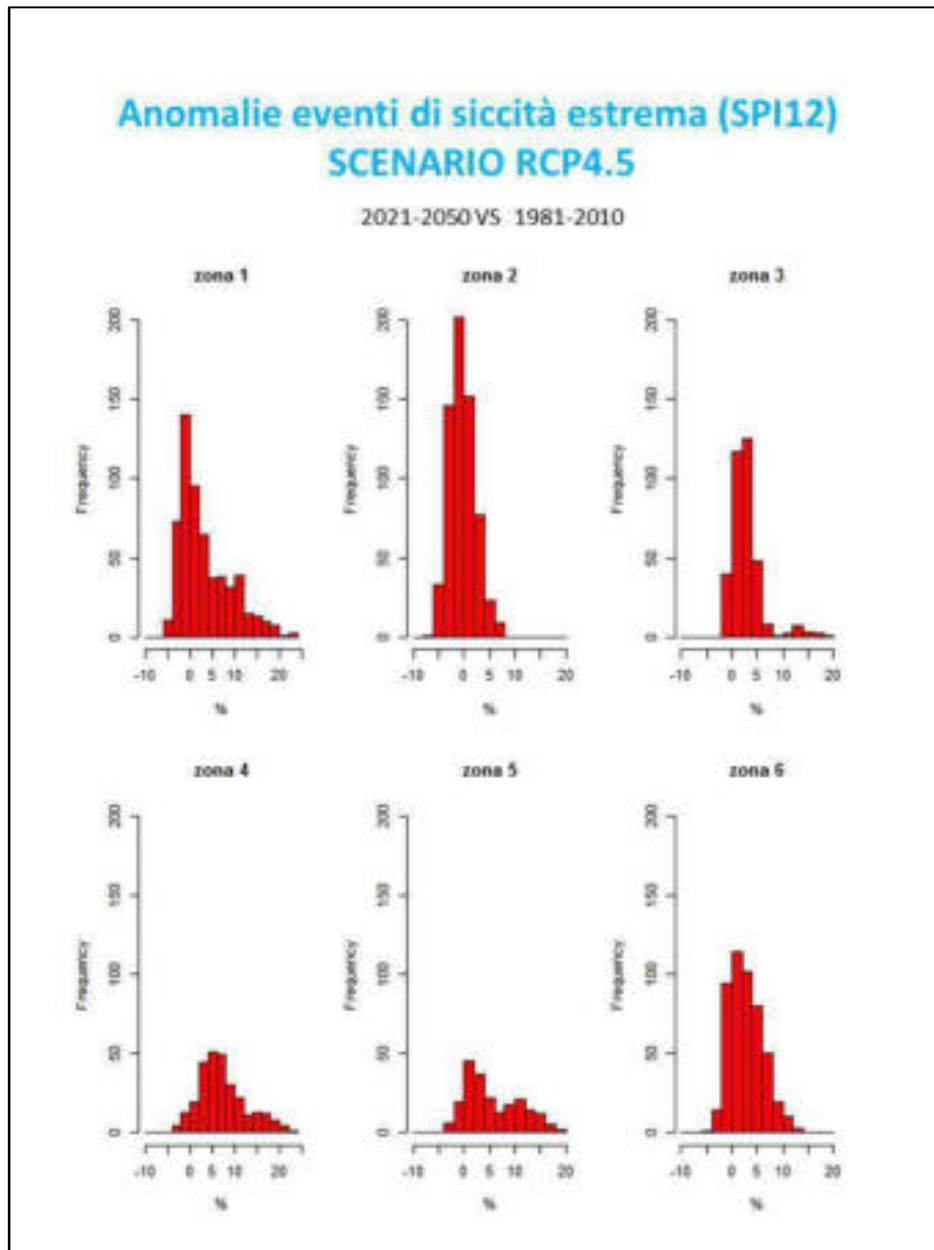


Figura 1-28: Frequenza delle anomalie del numero di eventi di siccità estrema per 12 mesi (SPI12) in riferimento allo scenario RCP4.5 nelle macroregioni climatiche⁴⁸.

Alcuni elementi di sintesi degli impatti dei cambiamenti climatici

Le attività umane e l'evoluzione delle condizioni climatiche hanno determinato le attuali condizioni di sensibilità del territorio a possibili cambiamenti climatici futuri.

In base ai dati presentati nei precedenti paragrafi, è molto probabile che i cambiamenti climatici avranno un forte impatto in termini di degrado del territorio in modo differenziato nelle aree con uso agricolo, forestale e pastorale. Le aree con diversi usi del suolo sono già oggi caratterizzate da processi di degrado specifici, che in futuro potranno generare impatti su vari tipi di servizi che gli ecosistemi forniscono attualmente. Gli impatti sui servizi degli ecosistemi, e in particolare sui servizi di fornitura, potranno essere generati dall'aumento delle condizioni medie di aridità e dall'incremento di eventi climatici estremi come gli eventi siccitosi descritti dagli scenari relativi agli indicatori di aridità e siccità precedentemente illustrati. I

⁴⁸ Fonte: elaborazioni sui dati del modello CMCC-CLM, 2016.

fenomeni climatici estremi, quali siccità e precipitazioni intense sono molto studiati nell'ambito della prevenzione dei rischi naturali ma non è ancora disponibile una proiezione dei loro impatti futuri in termini di processi di degrado del territorio. I cambiamenti climatici determineranno modifiche nella struttura e nelle funzioni degli ecosistemi agricoli, forestali e pastorali, influenzandone la composizione specifica, la produttività, la capacità di regolazione dei cicli biofisici e biochimici e le caratteristiche radiative dei suoli (UNCCD 2015). L'aumento della CO₂ 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 e 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 una più elevata domanda evapotraspirativa e una maggiore frequenza e intensità sia dei fenomeni siccitosi che degli stress termici (Centritto et al. 2010).

Incrementi di aridità e siccità influenzeranno 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 degrado attraverso meccanismi di retroazione del complesso sistema suolo-vegetazione-acqua. Ai fini della valutazione degli impatti in termini di desertificazione e del degrado del territorio, è stato proposto di focalizzare l'attenzione sui servizi forniti dagli ecosistemi e di quantificare gli impatti sulla base di indicatori statistici già in uso (Millenium Ecosystem Assessment 2005). 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, etc.), 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.

Le aree dedicate all'agricoltura (seminativi, zone agricole eterogenee e colture permanenti) rappresentano il sistema produttivo maggiormente esteso in quattro delle sei macroregioni climatiche e direttamente esposto agli impatti dei cambiamenti climatici.

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. È però significativo sottolineare che è in atto una tendenza evolutiva di progressiva diminuzione della popolazione residente nelle aree rurali su tutto il territorio nazionale.

I dati statistici relativi alla produzione di cibo, energia e altre materie sono attualmente disponibili su base provinciale, tuttavia non esistono ancora studi che correlino gli andamenti con i parametri climatici a scala nazionale.

Fra i principali impatti attesi dei cambiamenti climatici, c'è la riduzione della disponibilità delle risorse idriche e il possibile incremento dello squilibrio tra disponibilità e domanda. Nelle regioni attualmente "semi-aride" e "sub-umide-secche", appartenenti alla macroregione 6, questo impatto potrebbe superare le condizioni di soglia critica e causare in futuro l'abbandono di attività produttive o flussi migratori in assenza di interventi di adattamento specificamente concepiti.

Durante gli anni '90, l'Italia ha adottato le cosiddette "misure agro-ambientali" (Reg. CEE 2078/92) e successivamente le norme e le misure definite come "condizionalità ambientali" previste dalla Politica Comune Europea (regolamento (CE) n. 1782/2003 del Consiglio e regolamento n. 796/2004 della Commissione). 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.

La valutazione degli impatti sociali ed economici della desertificazione è 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. Gli impatti nelle macroregioni 6, 2 e 3 di Sicilia, Sardegna, Basilicata, Puglia, Calabria e Molise potranno essere amplificati a causa del 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% e 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 agricole delle regioni sensibili alla desertificazione potranno avere un'incidenza maggiore sulla povertà e sul bilancio delle regioni che maggiormente dipendono dall'agricoltura.

Da un punto di vista biofisico, i fenomeni di degrado del territorio più rilevanti sono l'erosione, la salinizzazione, l'aridificazione del suolo e la perdita di sostanza organica e i relativi impatti si rifletteranno direttamente in termini di produzioni agrarie, forestali e pastorali.

L'erosione idrica del suolo è il fenomeno di degrado maggiormente studiato e valutato a scala europea e nazionale (Panagos et al. 2015). Le valutazioni, effettuate utilizzando un modello multi parametrico, tengono conto dell'intensità della pioggia, dell'erodibilità del suolo, della copertura, della topografia e della gestione. Il fattore di erosione direttamente correlato ai cambiamenti climatici è l'intensità della pioggia.

L'erosione idrica, causa di perdita di sostanza organica dei suoli, contribuisce a rendere le attività agricole meno remunerative, è molto sensibile ai fattori climatici aridità e siccità. L'entità della perdita di suolo stimata attualmente, espressa in tonnellate di suolo/ha/anno, è rilevante su tutto il territorio nazionale e nelle macroregioni climatiche (Tabella 1-24) i valori della media ponderata riferiti alle condizioni climatiche e di copertura e uso del suolo attuali indicano le macroregioni climatiche 3 e 4 sono maggiormente affette da erosione idrica.

Tabella 1-24: Valori medi e deviazione standard dell'erosione idrica del suolo nelle macroregioni climatiche⁴⁹.

Macroregione climatica	Erosione Media ponderata (t/ha/anno)
1	11,2
2	8,0
3	13,7
4	19,1
5	14,2
6	9,0

La media pesata dei valori di erosione idrica per macroregione climatica fornisce una prima quantificazione dell'entità dei processi in atto. Il dato attuale di erosione idrica media fornisce una guida per valutare la possibile evoluzione dell'erosione in funzione delle future anomalie climatiche.

Attualmente le zone di erosione più elevata corrispondono a zone agricole e anche in futuro l'erosione avrà impatti più rilevanti nelle aree agricole collinari e sebbene non esistano attualmente stime quantitative di come nei futuri scenari di cambiamento climatico potrà variare l'erosione idrica, si presume che in analogia

⁴⁹ Elaborazione su dati di Panagos et al. 2015.

con quanto accade attualmente nelle zone con condizioni più secche, aumenterà l'intensità dei fenomeni di precipitazione e conseguentemente, l'erosione idrica.

La salinizzazione dei suoli interessa tutte le aree costiere Italiane come buona parte di quelle del Mediterraneo, giacché in varia misura affette dall'intrusione salina nelle falde. Il sovra-sfruttamento delle falde, dovuto a prelievi di quantitativi d'acqua superiore agli apporti di acqua dolce, è in genere considerata la causa principale dell'intrusione salina negli acquiferi.

I meccanismi di intrusione sono legati a:

- risalita dell'interfaccia acqua dolce/salata. L'acqua dolce, meno densa, flotta sull'acqua salata. Alla depressione del livello dell'acqua dolce prodotta dai pozzi in eduazione, corrisponde una risalita della regione d'interfaccia fra le due acque, il livello della quale può risalire fino alle pompe dei pozzi, che così emungono acqua sempre più salata;
- innalzamento relativo del livello del mare dovuto ai cambiamenti climatici e/o subsidenza.

La salinizzazione delle acque e dei suoli costieri è destinata perciò ad aumentare nelle condizioni climatiche future soprattutto nelle aree dove il fabbisogno irriguo viene soddisfatto utilizzando acque sotterranee e dove il livello relativo del mare aumenta per l'effetto combinato di fattori locali e globali. Il rischio di salinizzazione in Sicilia, Sardegna, Basilicata e Puglia (Napoli et al. 2011) interessa vaste aree agricole e richiede specifiche azioni per la tutela della produttività agraria.

Gli scenari di siccità e aridità per gli anni 2021-2050 (Figura 1-24, Figura 1-25, Figura 1-26, Figura 1-27, Figura 1-28), disaggregati nelle sei macroregioni climatiche pur non fornendo informazioni quantitative, possono dare molte informazioni utili ad orientare la gestione del territorio, al fine di ridurre i possibili impatti sull'erosione, salinizzazione, aridificazione e perdita di sostanza organica.

Le variazioni dei principali processi di degrado, precedentemente descritti, possono essere sinteticamente descritti intersecando le informazioni attualmente disponibili (Tabella 1-25).

Tabella 1-25: Possibile evoluzione dei processi di degrado nelle macroregioni climatiche in base allo scenario RCP4.5 per le anomalie di aridità e siccità.

	Processi di degrado			
Macroregioni climatiche	Erosione	Salinizzazione	Perdita di sostanza organica	Aridificazione
1	Incremento nelle zone agricole		Incremento nelle aree agricole	Riduzione dell'umidità dei suoli nelle aree agricole, forestali e pastorali
2		Incremento nelle aree agricole irrigue costiere	Incremento nelle aree agricole	Riduzione dell'umidità dei suoli nelle aree agricole, forestali e pastorali
3	Incremento nelle aree forestali in conseguenza di incendi causati da episodi di siccità		Incremento nelle aree agricole	Riduzione umidità dei suoli
4	Incremento nelle aree forestali in conseguenza di incendi causati da episodi di siccità		Incremento nelle aree forestali in conseguenza di maggiori incendi	Riduzione dell'umidità dei suoli nelle aree forestali e pastorali
5	Incremento nelle aree forestali in conseguenza di incendi causati da episodi di siccità		Incremento nelle aree forestali in conseguenza di maggiori incendi	Riduzione dell'umidità dei suoli nella aree forestali e pastorali

6	Incremento nelle aree agricole collinari	Incremento nelle aree agricole irrigue costiere	Incremento nelle aree agricole	Riduzione dell'umidità dei suoli

I fenomeni di degrado nelle macroregioni climatiche 1, 4, 5, sono correlati all'incremento di episodi di siccità severa ed estrema.

Nella macroregione 1 della regione Piemonte, dove le attività agricole occupano la maggiore estensione del territorio, gli impatti della siccità a 12 e 24 mesi potranno essere rilevanti, anche perché non solo le precipitazioni atmosferiche ma anche la disponibilità di risorse idriche superficiali e sotterranee, in base all'indice SPI12 e SPI24 precedentemente discussi, subiranno una notevole riduzione.

Le macroregioni climatiche 1, 2 del nord Italia pur all'interno della classe AI "umido" subiranno una riduzione dell'indice dell'ordine di 15%-20% con effetti sul contenuto di umidità e di sostanza organica del suolo, specialmente nelle zone agricole.

Le aree macroregioni climatiche 2, 3 e 6 avranno una tendenza ad un incremento dell'aridità ma con episodi di siccità di durata prevalentemente di 3 e 6 mesi il cui impatto sull'agricoltura e sulle risorse idriche superficiali e sotterranee sarà funzione della stagionalità degli episodi.

Le aree montane incluse nelle macroregioni climatiche 3, 4, 5, in cui si ha una prevalenza di zone forestali, saranno esposte ad impatti indotti da una riduzione della copertura vegetale dovuta ad incendi e un possibile incremento della riduzione delle attività agricole in aree marginali.

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI (SINERGIE, OPPORTUNITÀ, PROBLEMATICHE)

Il degrado del territorio può essere generato da numerosi processi, pertanto esistono forti connessioni tra questa tematica e tutte le politiche e le azioni che riguardano l'agricoltura, le foreste, le risorse idriche, il dissesto idrologico, la gestione dei rifiuti. In ambito non rurale, esistono importanti connessioni anche con le aree urbane e le infrastrutture, incluse le dighe.

È necessario che le politiche di ogni settore siano sviluppate nella piena consapevolezza delle implicazioni e delle sinergie con il degrado del territorio. Il settore agricoltura è il primo interlocutore dove politiche e azioni di protezione fisica e biologica del suolo devono essere potenziate per ridurre i livelli di erosione, salinizzazione e perdita di sostanza organica. L'introduzione di colture meno idro-esigenti potrà prevenire e limitare impatti e conseguenti fenomeni di degrado. L'agricoltura dovrà sviluppare sinergie con la ricerca scientifica per individuare nuove soluzioni e opportunità di sviluppo in un contesto climatico diverso dal presente.

L'attuale incremento della copertura forestale è un dato molto positivo dal punto di vista ambientale, che però non deve far sottovalutare i maggiori rischi che potrebbero derivare da fattori biotici e abiotici di degrado. Infatti, l'incremento della copertura forestale costituisce un'ottima protezione per il suolo e la rinaturalizzazione può favorire attività turistiche e ricreative, che però richiederanno una pianificazione a supporto affinché nuove modalità si sviluppino.

Il recepimento della Direttiva 2000/60/UE della Commissione Europea nel quadro normativo italiano è avvenuta ad opera del D. Lgs. 152/2006, il quale dedica l'intera parte III alle 'norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione'. La connessione fra la pianificazione delle risorse idriche e desertificazione riconosciuto a livello legislativo non ha trovato ancora sufficiente attuazione nell'attività di pianificazione dei distretti idrografici, come evidenziato nel paragrafo 1.1.1. I piani dei distretti idrografici potrebbero costituire un valido strumento di prevenzione del degrado del territorio e di attuazione di misure di recupero nelle aree affette. La carenza idrica, che costituisce uno degli aspetti principali della desertificazione, è esplicitamente considerata nella programmazione dei distretti idrografici. Gli scenari relativi alla disponibilità di risorse idriche, illustrati in dettaglio nel paragrafo 1.1.1, indicano che la zone climaticamente secche saranno esposte alla riduzione della disponibilità nei periodi maggior fabbisogno. Gli impatti della minore disponibilità per le attività produttive, agricole e industriali, e per il settore civile

dovranno essere affrontati mediante specifiche azioni di pianificazione delle emergenze dovute a condizioni di siccità, Gli impatti della minore disponibilità per le attività produttive, agricole e industriali, e per il settore civile dovranno essere affrontati mediante specifiche azioni di pianificazione delle emergenze dovute a condizioni di siccità, tenendo conto dei fenomeni di salinizzazione dei suoli che potrebbero essere provocati da un eccessivo sfruttamento delle falde idriche costiere. I possibili interventi di realizzazione di infrastrutture quali sistemi di trasferimento a lunga distanza della risorsa e/o impianti di dissalazione andranno presi in considerazione e valutati anche alla luce delle esperienze internazionali in corso in altri paesi del Mediterraneo.

NORMATIVE, PIANI E PROGRAMMI ESISTENTI PER L'ADATTAMENTO

Normative, piani e programmi a livello Europeo

Nel 2002, la Commissione Europea, sulla base delle indicazioni contenute nel 6° Programma d'Azione Ambientale (decisione n. 1600/2002/EC del Parlamento e del Consiglio Europeo), adottò la “Strategia Tematica per la protezione del Suolo” (COM(2006)231) e la “Proposta di direttiva che istituisce un quadro per la protezione del suolo” (COM(2006)232(SFD)). Tale Strategia Tematica individuava le principali minacce: l'erosione, il declino della materia organica e della biodiversità, la contaminazione, l'impermeabilizzazione, la compattazione, la salinizzazione, le frane e le alluvioni, includendo quindi fenomeni come erosione, declino di materia organica e di biodiversità, salinizzazione, prima enunciati come fortemente influenzati dalle variazioni delle condizioni climatiche. Successivamente, la Commissione, nel 2013, con la comunicazione (COM(2013)685) “Adeguatezza ed efficacia della regolamentazione (REFIT): Risultati e prossime tappe” ha reso noto l'intenzione di ritirare la proposta di direttiva e, infine, nel 2014 ha comunicato il proposito di presentare ex novo una nuova proposta legislativa.

La Commissione DG Ambiente ha ritenuto necessario, prima di procedere alla formulazione di una nuova iniziativa legislativa, aprire una ampia riflessione con gli Stati Membri ed ha costituito un Gruppo di Esperti designati dai singoli Stati Membri avviando in primo luogo uno studio per sviluppare un inventario degli strumenti di politica esistenti e futuri, vincolanti e non vincolanti, misure e obiettivi dei 28 Stati Membri, definire la loro “gap analysis” e conoscere l'eventuale aggiornamento di tali strumenti.

È in via di ultimazione una piattaforma web interattiva (WIKI) dedicata alla realizzazione di un inventario aggiornato e dettagliato delle politiche e delle misure esistenti a livello comunitario e dei singoli Stati Membri.

La piattaforma conterrà dunque gli strumenti legali in funzione e in cantiere, in particolare: leggi, regolamenti, decreti, strategie e piani di azione esistenti che affrontano esplicitamente minacce e/o funzioni del suolo, sia quelli che hanno impatto diretto sul suolo, sia considerando anche gli strumenti normativi che hanno impatti indiretti sul suolo. Ad esempio, il WIKI conterrà, tra l'altro, le misure e le politiche in materia di agricoltura connesse agli aspetti più rilevanti della Politica Agricola Comune (come quelle per la protezione e utilizzo sostenibile dei suoli agricoli, con regole della condizionalità indirizzate a erosione del suolo, diminuzione della materia organica e compattazione agricoltura biologica), aspetti rilevanti su direttiva quadro sulle acque, sulle acque sotterranee e sui nitrati, gli strumenti attuativi delle direttive alluvioni, Habitat e Uccelli nonché le misure previste nelle politiche collegate alle funzioni del suolo, come filtraggio e stoccaggio dell'acqua, sequestro del carbonio, ciclo dei nutrienti e tutela della biodiversità; uso, impermeabilizzazione e consumo del suolo.

L'analisi successiva, sulla base delle informazioni disponibili, sarà mirata a definire il livello con cui gli strumenti esistenti contribuiscono a prevenire le minacce e/o a recuperare le funzioni del suolo, prendendo inoltre in considerazione i differenti *drivers* e includendo il ruolo dei differenti settori, il regime di proprietà e le attività che hanno impatti sui suoli. Già ora, a seguito delle indicazioni degli Stati Membri, acidificazione e desertificazione sono state incluse nella lista delle minacce considerate.

Normative, piani e programmi a livello nazionale

L'azione di programmazione e pianificazione contro la desertificazione in Italia è stata avviata all'inizio del 2000 attraverso il Programma di Azione Nazionale di Lotta alla Desertificazione (PAN) (CIPE 229/99)⁵⁰ basato su un sistema di azioni a livello nazionale e regionale, che attribuisce a Regioni e Autorità di Bacino l'elaborazione e l'attuazione di misure specifiche di carattere agronomico, forestale, civile e sociale, accompagnate e sostenute da specifici piani di informazione, formazione ed educazione, nei settori prioritari:

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

In seguito all'approvazione del PAN sono state attuate da parte delle Regioni azioni finalizzate a migliorare il quadro conoscitivo e la programmazione di interventi. In continuità con quanto realizzato dal 2000 al 2008 e in attuazione degli impegni dell'Italia nell'ambito della UNCCD è attualmente necessario un aggiornamento e allineamento del PAN alle nuove linee strategiche della Convenzione e alle sue decisioni; pertanto dovrà includere modalità e strumenti per il raggiungimento del target LDN al 2030⁵¹.

La Strategia attualmente in vigore, la cosiddetta Strategia Decennale (*Ten Years Strategy*) copre l'arco temporale 2008 – 2018. Le decisioni prese dall'ultima COP (Ankara, 2015) introducono la centralità nelle azioni dei Paesi del rispetto dell'Agenda 2030 e il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile – SDG delle Nazioni Unite, in particolare del target 15.3, in riferimento al raggiungimento della *Land Degradation Neutrality*⁵².

Affinché vengano incorporate all'interno della programmazione dei settori che maggiormente possono contribuire a ridurre il degrado del territorio, sarà necessario creare le necessarie sinergie con altre politiche nazionali, attuando quanto previsto dalla legge 152/2006 che attribuisce ai Distretti Idrografici il compito di individuare le aree a rischio e dunque di definire le priorità a livello territoriale e inserendo l'adattamento alla desertificazione fra gli obiettivi di Sviluppo Sostenibile nella Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile.

Tali azioni possono essere:

- incremento della copertura vegetale nelle zone aride o degradate;
- riforestazione dei terreni degradati e soggetti ad erosione e interventi diffusi di rinaturalizzazione;
- ripristino di un adeguato contenuto di sostanza organica nei suoli;
- limitazione del ricorso a concimi inorganici;
- aumento dell'uso di concimi organici e compost, ovvero utilizzazione di biomasse di rifiuto e scarto, eliminazione o riduzione accentuata dei fertilizzanti chimici sostituiti con compost certificato da scarto organico e utilizzo massivo del compost per ripristinare l'equilibrio chimico-fisico del terreno (contribuendo inoltre alla cattura della CO₂);
- riduzione del sovra sfruttamento delle risorse idriche superficiali e sotterranee;
- riduzione della contaminazione delle acque superficiali e sotterranee;
- ricerca e sviluppo di tecnologie e di metodi innovativi per il recupero delle aree degradate, tenendo conto dell'uso innovativo delle conoscenze locali e dei caratteri propri delle aree e dei problemi.

⁵⁰ Il Programma è stato predisposto in relazione agli obblighi derivanti dalla ratifica della Convenzione delle Nazioni Unite per combattere la Desertificazione e gli Effetti della Siccità – UNCCD con la Legge 170/77.

⁵¹ Secondo le decisioni approvate dall'ultima COP tenutasi ad Ankara ad ottobre 2015, la COP 12.

⁵² Proprio in tale direzione va la scelta di prevedere che la nuova strategia, in via di preparazione, copra il periodo 2018 - 2030, rispettando dunque la scadenza prevista per gli SDG.

A livello regionale sarà necessario integrare negli strumenti di programmazione regionale, Piani di Tutela delle Acque, Piani di Gestione del Distretto Idrografico, Piani di Assetto Idrogeologico, Programmi di Sviluppo Rurale, Piani Paesaggistici, gli obiettivi e le strategie del PAN affinché la loro attuazione possa essere condivisa e avviata all'interno della normativa esistente.

Le azioni di natura politica dovranno essere affiancate da iniziative finalizzate a sensibilizzare e migliorare la conoscenza e la consapevolezza attraverso azioni di educazione, formazione, per promuovere nuove iniziative di contrasto degli impatti dei cambiamenti climatici e del degrado del territorio.

Il PAN richiederà per la verifica dei progressi l'attivazione di una rete per il monitoraggio dei fenomeni di degrado del territorio e dei servizi ecosistemici sulla base di indicatori a scala nazionale, regionale e di bacino idrografico.

A livello tecnico e operativo le azioni necessarie dovranno prevedere l'impiego di tecnologie e metodi innovativi per la riduzione delle pressioni, il recupero delle aree degradate, miglioramenti della copertura vegetale e protezione del suolo.

ECOSISTEMI TERRESTRI

SINTESI

In questo capitolo vengono trattati gli impatti dei cambiamenti climatici per i principali ecosistemi terrestri, funzionali all'individuazione e alla definizione delle azioni di adattamento, a partire dai risultati del lavoro svolto nella Strategia Nazionale per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

INTRODUZIONE

Il presente rapporto ha per oggetto l'aggiornamento della letteratura scientifica relativa all'impatto, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici in Italia degli ecosistemi terrestri e delle loro componenti. Il precedente rapporto (Castellari et al. 2014a) analizzava la letteratura scientifica fino al periodo 2012/2013. Ai fini di questo rapporto sono stati presi in considerazione i dati relativi al periodo 2013/2016, e le ricerche nei data-base bibliometrici internazionali (ISI e SCOPUS) hanno avuto come riferimento tale intervallo temporale.

Il clima è il fattore ambientale che ha maggior influenza sui sistemi naturali, determinandone dinamica, struttura, composizione e produttività. Nel momento attuale è poi riconosciuto che l'uomo e le sue attività concorrono col clima nell'indirizzare i cambiamenti a ecosistemi e biodiversità, anche modificando il clima stesso. Non a caso il concetto di Antropocene, ossia un'epoca geologica dominata dall'uomo (Crutzen 2002) è ora riconosciuto in via ufficiale mondo nella comunità scientifica (Maslin and Lewis 2015).

I cambiamenti climatici sono stati individuati anche a scala europea come un elemento rilevante nello spiegare la crisi della biodiversità (UNEP/UNECE, 2016).

Come illustrato nel rapporto del 2014 si possono individuare, per quanto riguarda gli ecosistemi terrestri, quattro tipologie di impatto dei cambiamenti climatici:

- Impatti sulla fisiologia e sul comportamento di piante e animali;
- Impatti sul ciclo vitale e sulla fenologia;
- Impatti sulla distribuzione geografica;
- Impatti sulle interazioni delle specie nelle comunità ecologiche.

Nel loro insieme questi impatti generano le cosiddette "sorprese ambientali", ossia eventi non facilmente prevedibili derivanti da sinergie, trends, discontinuità e feed-back positivi (Bright 2000).

In questo contesto la grande discontinuità sempre presente è il modificarsi delle condizioni climatiche, che può favorire la dispersione di organismi introdotti accidentalmente sul territorio nazionale i quali, oltretutto, possono essere portatori di agenti patogeni per l'uomo, per la fauna o per la vegetazione. Nel periodo 2014-2016 sono stati rilevati diversi esempi di questa dinamica.

La penisola italiana è interessata da tre delle nove regioni biogeografiche definite a livello comunitario ai fini della conservazione della biodiversità: Alpina, Continentale e Mediterranea. Si tratta di ambiti territoriali con caratteristiche fisiografiche, climatiche e vegetazionali omogenee, ciascuno dei quali ospita una grande varietà di ecosistemi terrestri e a cui quindi, nel complesso, corrisponde un elevato livello di biodiversità.

L'Italia può essere considerata un hot-spot di biodiversità, sia per gli animali che le piante. Sono state stimate 6.711 specie vegetali (piante superiori), di cui il 15% endemiche e 58.000 specie di animali, con alcuni gruppi che hanno elevati contingenti di endemismi (i.e. Anfibi, il 31,8% del totale).

Il Primo rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia (Comitato Capitale Naturale 2017) rimarca che i cambiamenti climatici sono in grado di modificare la capacità degli ecosistemi di fornire servizi.

Flora e vegetazione

Tendenze dei cambiamenti climatici

I cambiamenti osservati hanno già indotto importanti effetti sugli ecosistemi terrestri in tutte le regioni biogeografiche e particolarmente, per quanto riguarda l'Italia, in quella Alpina e Mediterranea (Castellari et al. 2014a). Gli ulteriori cambiamenti che potranno verificarsi durante il XXI secolo, la cui entità e grado di probabilità stimati variano in funzione dello scenario di emissione (*representative concentration pathways*, RCP, Moss et al., 2008; van Vuuren et al., 2011), più o meno pessimistico, considerato nella modellizzazione (IPCC 2014b), potranno determinare effetti sugli ecosistemi che si manifesteranno ai diversi livelli dello spettro biologico e nelle interazioni tra questi. Lévesque et al. (2014) indicano che per alcune specie arboree edificatrici di ecosistemi forestali e sensibili alla siccità, quali l'abete rosso (*Picea abies* L.), il larice (*Larix decidua* L.) e il pino silvestre (*Pinus sylvestris*), le capacità di crescita e sopravvivenza potrebbero essere compromesse in stazioni già caratterizzate da maggiore aridità. Le modellizzazioni di Ruiz-Labourdette et al. (2013), sembrano indicare la possibilità che anche le zone pedemontane e di bassa montagna, oltre agli ambienti boreali e a quelli sub-alpini di alta e media montagna della regione mediterranea possano essere interessate da cambiamenti della vegetazione in relazione a deficit idrici più elevati. Non solo la composizione, ma anche la struttura della vegetazione potrebbe subire modifiche (per esempio i rapporti tra le coperture degli strati arboreo/arbustivo/erbaceo, l'incidenza di soluzioni di continuità della copertura, le caratteristiche degli ecotoni, le caratteristiche della necromassa) tali da influenzarne l'idoneità di habitat (Braunisch et al. 2014). Anche le modificazioni in senso termofilo delle vegetazioni al limite superiore della vegetazione nelle montagne alpine e appenniniche in relazione all'avanzamento del limite della presenza di specie arboree (limite degli arbusti contorti Krumholz), quali il pino mugo (*Pinus mugo* Turra) in connessione con l'andamento del clima oltre che dei cambiamenti dell'uso del suolo, potrebbero risultare sfavorevoli per molte specie endemiche (cf. Palombo et al., 2013). Sempre più evidente pertanto si manifesta anche la necessità di comprendere l'effetto combinato del cambiamento climatico e delle attività antropiche sulla vegetazione in particolare nella regione mediterranea (Henne et al. 2013; Mairota et al. 2013), dal momento che non si dispone di conoscenze circa la loro composizione e struttura in assenza di disturbi legati a queste ultime. Studi paleoecologici, del resto, informano come cambiamenti significativi del paesaggio vegetale si siano già verificati in tempi relativamente recenti, in relazione non solo al cambiamento climatico ma anche all'espansione/declino di attività umane a loro volta condizionate dal clima (di Pasquale et al., 2014a, 2014b; Sadori et al., 2016).

Modifiche di fisiologia, produttività e abbondanza

Lo svolgimento dei processi fisiologici (fotosintesi, respirazione, uso dell'acqua) da parte degli organismi autotrofi che regolano il funzionamento degli ecosistemi e dei paesaggi dipendono dalle condizioni ambientali e possono essere influenzati dai cambiamenti nel sistema climatico. Per esempio, il verificarsi di condizioni atmosferiche che determinano la minore durata della permanenza della neve al suolo è di particolare interesse per la regione biogeografica alpina, anche per le sue ricadute socio-economiche. Lo scioglimento anticipato della neve dovuto al generale incremento previsto della temperatura media infatti influisce sul bilancio idrologico a scala di bacino idrografico e sui processi ecologici e idrodinamici dei sistemi fluviali (cf. Dedieu et al., 2014). Inoltre, la combinazione di un anticipo dello scioglimento e di un ritardo nella deposizione della neve al suolo ha un effetto sull'allungamento della stagione vegetativa, che come osservato da Galvagno et al. (2013), può arrivare anche a due mesi. In conseguenza di ciò possono verificarsi alterazioni nella risposta della vegetazione di prateria alpina in termini di tasso di assorbimento di carbonio. Questo sembra dovuto a modifiche di caratteri strutturali e fisiologici (quali la diminuzione dell'indice di area fogliare e del contenuto di clorofilla) della copertura vegetale indotte dall'anticipato

scioglimento della neve e in grado di controbilanciare la maggiore quantità netta di carbonio assorbito durante la stagione vegetativa più lunga.

Anche eventi estremi a livello regionale, come per esempio le ondate di calore con associate anomalie termiche significative (anche dell'ordine di 4-5°C), determinano impatti sugli ecosistemi legati soprattutto alla disponibilità di acqua. Questi impatti tuttavia si esplicano in maniera diversa sui diversi ecosistemi in funzione dell'efficienza nell'uso dell'acqua (cf. Galvagno et al., 2015) degli organismi vegetali che li compongono.

Molte specie vegetali della regione mediterranea presentano adattamenti per superare lo stress estivo causato dalla concomitanza di elevate temperature dell'aria e di limitata disponibilità di acqua. Tra questi, a livello fisiologico, l'aumentata efficienza nell'uso dell'acqua sembrerebbe essere l'adattamento chiave nel superamento dello stress consentendo a questi organismi di accrescersi (ovvero di mantenere un saldo di carbonio positivo). Gea-Izquierdo et al. (2013) e (Battipaglia et al. 2014) hanno osservato rispettivamente una diminuzione della crescita in vegetazioni dell'isola d'Elba e l'assenza di relazione tra efficienza nell'uso dell'acqua e accrescimento delle piante in una popolazione di erica arborea (*Erica arborea*). A livello di bioma, quindi a scala continentale, è stata invece osservata (Ponce Campos et al. 2013) la capacità di resilienza alla variabilità inter-annuale del regime delle precipitazioni, ovvero la capacità delle vegetazioni (dalle praterie alle foreste) di superare anni con basse precipitazioni e di rispondere a successivi periodi di bilancio idrico favorevole. Non si conoscono invece i valori soglia dell'efficienza nell'uso dell'acqua che se superate potrebbero compromettere tale capacità.

Il crescente aumento della frequenza di eventi estremi ha un effetto diretto sull'aumento della variabilità delle condizioni climatiche che, molto più delle condizioni medie del clima, sembra influenzare le risposte fisiologica e fenologica delle piante a livello di specie (Reyer et al. 2013) soprattutto in termini di relazioni acqua-pianta. Queste a loro volta possono determinare effetti a livello di comunità di specie vegetali, attraverso la dinamica di popolazione e la persistenza delle specie (competizione interspecifica, biologia della germinazione, esclusione competitiva) (cf. Reyher et al. 2013). Rita et al. (2016) per esempio hanno dimostrato, per due popolazioni coesistenti di roverella (*Quercus pubescens* Willd.) e di cerro (*Q. cerris* L.) di una stazione arida, l'esistenza di una relazione tra una particolare caratteristica xilematica, la conduttività idraulica, e l'occorrenza di estremi di precipitazione, e quindi la probabilità che il cambiamento del regime degli eventi estremi possa superare la soglia di adattabilità di questa caratteristica fondamentale per la funzionalità xilematica. Il ruolo cruciale della funzionalità xilematica per la acclimatazione di specie vegetali alle future condizioni climatiche è stato anche dimostrato da uno studio comparato su popolazioni di agrifoglio (*Ilex aquifolium*) vegetanti in condizioni climatiche contrastanti (soprattutto relativamente alla disponibilità idrica estiva), nel quale si evidenzia la maggiore influenza del clima sui tratti funzionali anatomici rispetto alla crescita radiale (Rita et al. 2015). Le caratteristiche idrauliche dello xilema, e in particolare la vulnerabilità alla cavitazione e alla formazione di emboli, in condizioni di stress idrico rivestono una grande importanza anche per la prevenzione e la gestione della mortalità degli esemplari arborei di parchi, giardini e alberature urbane (Savi et al. 2014).

Riguardo alle relazioni tra produttività primaria netta, clima e variazioni nella concentrazione di gas in atmosfera (in particolare la concentrazione di CO₂, di azoto e di ozono atmosferico), per alcune specie arboree forestali (*Quercus cerris*, *Q. ilex* e *Fagus sylvatica*) è stata osservata una variazione specie-specifica che potrebbe essere causata dalla combinazione degli effetti di tali variabili ambientali (De Marco et al., 2013). In altre parole sembra che alcuni fattori limitanti (alte temperature, inquinamento) possano agire in modo sinergico o antagonista su particolari processi fisiologici (scambi gassosi, conduttività stomatica). Inoltre, la qualità dell'inquinante (per esempio le forme ossidate e quelle ridotte dell'azoto) può avere un effetto differente (positivo o negativo) sulla produttività del leccio in funzione delle condizioni microclimatiche e stagionali (De Marco et al., 2013).

Modifiche del ciclo di vita

Gli effetti dei cambiamenti climatici possono riguardare anche alcune delle fenofasi, quali la fioritura, che caratterizzano sia l'andamento della natalità delle popolazioni di specie vegetali, sia il rischio per la salute umana, per esempio l'esposizione agli allergeni (Ugolotti et al. 2015). Relazioni causali tra alcune variabili climatiche rappresentative del regime termico, idrotermico e idrologico della stagione precedente e corrente e la fioritura e fruttificazione di *Vaccinium myrtillus* (Ericaceae), per esempio, sono state dimostrate da Selås et al. (2015) e da Gerdol et al. (2012). Tali variabili sarebbero infatti in grado di influenzare direttamente processi fisiologici ed eventi fenologici chiave quali l'epoca di inizio della fioritura, l'indurimento invernale dei tessuti, la resistenza alle gelate tardive e alla siccità estiva. Per specie a fioritura invernale, come per esempio il tasso (*Taxus baccata*), l'anticipo dell'inizio e il posticipo della fine del periodo di produzione di polline (fioritura maschile) sembrano essere rispettivamente influenzati dalle basse e dalle alte temperature autunnali (Mercuri et al. 2012).

Con riferimento alla fioritura di alcune specie erbacee tipiche del limite superiore della vegetazione, Petraglia et al. (2014) hanno messo in evidenza come un anticipo nello scioglimento della neve al suolo (un fattore che controlla la temperatura del suolo) induca una fioritura anticipata di molte specie (in particolare quelle a fioritura precoce), anche se ciò non sembra avere effetti sulla sopravvivenza delle strutture riproduttive alle gelate primaverili. Julitta et al. (2014) segnalano come fattori giaciturali (microtopografia) collegati a quelli compositivi della comunità vegetale, possano interagire con l'andamento dei determinanti climatici (nel caso specifico la presenza/assenza della neve nell'indurre l'inizio della stagione vegetativa).

Un'importante conseguenza dell'effetto dell'interazione clima - fattori giaciturali sulle variazioni della fenologia delle specie e delle comunità vegetali, a scale geografiche più piccole potrebbe essere quello di determinare andamenti fenologici differenziati spazialmente, e quindi alterare le caratteristiche e la configurazione degli habitat idonei, lungo le rotte migratorie di specie ornitiche. Ciò potrebbe compromettere la capacità degli uccelli di adattare la programmazione e la progressione della migrazione, con potenziali ripercussioni sul loro successo riproduttivo e conseguente declino delle popolazioni (Emmenegger et al. 2016).

Anche nel caso della fenologia, si conferma la sensibilità di alcuni processi agli eventi climatici estremi. In uno studio sperimentale che ha riguardato 53 specie vegetali di alta quota dell'Appennino settentrionale, Orsenigo et al. (2015) hanno messo in evidenza come le ondate di calore potranno determinare effetti sulla fenologia della germinazione dei semi, in particolare di quelle specie adattate alla dormienza autunno/invernale del seme. Uno degli effetti osservati nella metà delle specie studiate è stato quello dello spostamento della germinazione dalla primavera all'autunno che, a sua volta, ha determinato una minore sopravvivenza dei semenzali durante una stagione alle cui caratteristiche termiche e idriche essi non sono adattati. In questo stesso studio è stato anche dimostrato come la combinazione tra aumento della temperatura e aumento dell'aridità determini un decremento della germinabilità dei semi. Oltre a ciò è stato anche osservato (Mondoni et al. 2014) come la longevità dei semi, almeno di quella di specie alpine euriecie (per esempio la *Silene vulgaris*, Moench, Garcke), pur essendo controllata geneticamente, possa presentare dei margini di adattabilità transgenerazionale. Almeno per tale categoria di specie questa caratteristica potrebbe consentire la persistenza delle popolazioni nel caso di cambiamenti ambientali imprevedibili, ed essere potenzialmente interessante per la conservazione ex-situ. Queste osservazioni indicano come eventi estremi, o comunque un cambiamento climatico in senso caldo-arido, potranno determinare variazioni della dimensione delle popolazioni e della struttura delle comunità vegetali.

Modifiche nella distribuzione delle specie

La composizione tassonomica, la struttura e la dinamica di comunità di specie vegetali nel prossimo futuro dipenderà dalla loro capacità di resistenza, resilienza e adattamento al cambiamento climatico, la cui azione

si esplica nella maggior parte dei casi in sinergia con i cambiamenti dell'uso del suolo e del regime dei disturbi dovuti alle azioni umane. Parmesan (2006) riconfermano le evidenze a proposito delle risposte individuali e secondo tempi differenziati delle diverse specie rispetto a questi cambiamenti. Svenning and Sandel (2013) illustrano i meccanismi che possono determinare ritardi nella sincronizzazione tra specie diverse dello spostamento dei limiti (margini di avanzamento e di retroguardia) degli areali di distribuzione rispetto al cambiamento delle condizioni ambientali. Garbarino et al. (2015), inoltre, indicano come per specie dioiche, come per esempio il tasso (*Taxus baccata*), differenze di tolleranza allo stress idrico e a condizioni di ridotta disponibilità di risorse trofiche nei due generi, possano essere alla base delle differenti modalità di occupazione dello spazio (tendenzialmente distribuita per gli individui maschili e aggregata per quelli femminili). Ovvero, per questa specie, la disponibilità di siti più favorevoli in cui possa verificarsi la presenza degli individui in grado di disseminare, è potenzialmente in grado di influire sulla capacità di modificazione dei limiti dell'areale. A questo riguardo, di una certa importanza appare anche la dimostrazione (Patsiou et al. 2014) del probabile ruolo di microrifugi determinati da condizioni micro-stazionali, definite su base sia topografica sia climatica, per la persistenza e successiva ri-espansione degli areali di specie rare ed endemiche (Kyrkou et al. 2015).

Ciò che sembra quindi probabile, e come del resto osservato da una vasta letteratura (Williams and Jackson 2007; Allegranza et al. 2013; Bonafede et al. 2014; Cannone and Pignatti 2014; Castellari et al. 2014a) sulle dinamiche della vegetazione (per esempio) al limite superiore del bosco e dell'albero e in orizzonti superiori di ambiente alpino (come in ambito mediterraneo), è che si verifichino cambiamenti nella struttura tassonomica e spaziale delle comunità vegetali. Una delle possibili conseguenze, anticipate anche da studi sulle invasioni biologiche (Pearse and Altermatt 2013) e testimoniato da quelli sulle interazioni biotiche del passato (Blois et al. 2013), potrebbe essere il determinarsi di nuovi ambienti competitivi, con conseguenti "nuove interazioni" (*novel interactions*, sensu Alexander et al. (2016) tra specie residenti (che ancora non hanno spostato i limiti dei propri areali di distribuzione) e specie di nuova introduzione (Urban et al. 2011), e quindi nuove traiettorie co-evolutive (sensu Levin, 1992) o fenomeni di estinzione o coesistenza (sensu Chesson, 2000; MacDougall et al., 2009).

Variazioni nella dinamica di competizione interspecifica, tuttavia, sembrano probabili anche nel caso di comunità che temporaneamente rimangano inalterate nella composizione (ma non necessariamente nella struttura) per effetto di relativa sincronizzazione delle risposte migratorie al cambiamento climatico delle specie che le compongono (Alexander et al. 2016) (Yang and Rudolf 2010), in relazione alle risposte, anch'esse individuali, fisiologiche e fenologiche di ciascuna specie.

La questione dei cambiamenti degli areali di specie, oltre a porre l'attenzione sulle (per es. cf Grinde and Niemi, 2016; Scalercio et al., 2014) conseguenze dei cambiamenti degli habitat sulle specie e comunità animali, pone il tema della efficacia degli attuali orientamenti e strumenti di protezione della biodiversità in contesti ambientali mutati (cf Wiens et al., 2011). Prisco et al. (2013), per esempio, sulla base di studi di modellizzazione, evidenziano che se la rete di aree protette costiere è attualmente sostanzialmente corrispondente alla distribuzione di habitat dunali di interesse comunitario (1210 Vegetazione annua delle linee di deposito marine, 2110 Dune embrionali mobili, 2230 Dune con prati dei *Malcolmietalia*, 2210 Dune fisse del litorale (*Crucianellion maritimae*), 2250* Dune costiere con *Juniperus*), tale efficacia potrebbe venire meno in uno scenario di cambiamento climatico in senso caldo-arido, particolarmente per gli habitat delle dune mobili (2110) e delle dune fisse (2210).

Fauna

Nella fauna terrestre gli studi di questi anni confermano in parte quanto descritto in precedenza. Oramai il cambiamento climatico è riconosciuto come il principale elemento che altera fenologia, distribuzione e successo riproduttivo della fauna, anche a scala europea (Santangeli and Lehikoinen 2017).

Nelle Alpi occidentali uno studio su diversi taxa (Viterbi et al. 2013) individua negli invertebrati il gruppo tassonomico maggiormente sensibile ai cambiamenti climatici, in modo particolare alle variazioni microclimatiche. Molto spesso gli studi evidenziano dei trend contrastanti. Per esempio, se generalmente gli inverni più miti possono avvantaggiare alcune specie, queste stesse potrebbero poi risultare sfavorite da estati più piovose.

Uno studio di Chamberlain et al. (2016) evidenzia come il clima da solo non modifichi la distribuzione di alcune specie di uccelli lungo un gradiente altitudinale, ma in combinazione con le trasformazioni degli habitat si comprende buona parte dei possibili cambiamenti nel *range* altitudinale di presenza degli uccelli. L'aumento previsto delle temperature medie rappresenta una minaccia per la diffusione di specie aliene. Le condizioni climatiche rappresentano infatti la variabile principale che può determinare se una specie, introdotta accidentalmente, ha la possibilità o meno di divenire invasiva. È il caso delle tartarughe acquatiche (in particolare tra quelle che risultano essere potenzialmente commerciabili), per le quali è stato osservato come già nella situazione attuale diverse specie esotiche abbiano trovato nel territorio nazionale un clima favorevole con una conseguente diffusione di massa (Masin et al. 2014) pericolosa per l'equilibrio acquatico esistente. Uno studio condotto in Toscana su alcuni uccelli da compagnia che, liberati intenzionalmente o involontariamente, si stabiliscono nei centri urbani, ha evidenziato come, delle otto specie presenti, due (*Psittacula krameri* e *Myiopsitta monachus*) abbiano una distribuzione nella quale il clima gioca un ruolo rilevante (Di Febbraro and Mori 2015).

Uno studio recentissimo (Brambilla et al. 2017) evidenzia come il riscaldamento globale imponga anche un ripensamento delle strategie di conservazione della biodiversità. Infatti gli autori, analizzano prima la presenza e la probabilità di presenza di alcune specie di uccelli rappresentativi di habitat differenti. Obiettivo del lavoro è quello di proporre dei modelli di idoneità presente e futura per individuare le aree focali che saranno idonee anche in futuro, le aree idonee in futuro (e non ora) e le aree di connessione presente e futura. Il risultato del modello mostra un declino complessivo della connettività ecologica per tutte le specie esaminate e ribadisce l'importanza di considerare i cambiamenti climatici nei modelli di pianificazione territoriale (reti ecologiche o e aree protette).

Modifiche nella fisiologia, produttività e abbondanza

L'analisi di serie storiche assieme alle osservazioni mirate degli anni recenti, evidenziano che diverse specie possono vedere la loro fisiologia, il successo riproduttivo e la consistenza alterate dai cambiamenti climatici. Si può rilevare un andamento contrastante in cui alcuni cambiamenti risultano positivi, e altri negativi. Nel complesso gli scenari prospettati dai vari autori sono negativi.

Contrastanti sono gli effetti sul fagiano di monte (*Tetrao tetrix*): positivi per quello che riguarda i cambiamenti nel periodo invernale e negativi per l'incremento delle precipitazioni nel periodo estivo (Viterbi et al. 2015). Il saldo complessivo osserva però un declino costante delle popolazioni. Gli autori concludono il loro studio individuando proprio nel clima uno dei fattori chiave di cui tener conto per le future azioni di gestione della popolazione.

Studiando gli anfibi urodeli in tutta Europa è stato osservato come il clima contribuisca a modificare la morfologia di queste specie (Ficetola et al., 2016). In particolare il numero delle vertebre toraciche (che negli anfibi può variare anche all'interno della stessa specie) è risultato dipendente da variabili climatiche per 16 delle 22 specie esaminate. Di fatto è possibile affermare che il clima agisce come elemento selettivo per la variabilità intraspecifica e che l'aumento previsto delle temperature medie può indirizzare delle risposte evolutive di queste specie. Lo studio riporta anche i cambiamenti attesi nella variazione intraspecifica per diverse specie presenti sul territorio italiano (*Hydromantes ambrosii*, *Hydromantes imperialis*, *Hydromantes italicus*, *Salamandra atra*, *Salamandra salamandra*, *Lissotriton italicus*, *Lissotriton vulgaris*, *Hemidactylus alpestris*, *Triturus carnifex*). Constatare che l'evoluzione di una specie può essere guidata anche dalle variazioni climatiche pone delle sfide importanti nella conservazione di questi anfibi

(molti dei quali sono di grande interesse conservazionistico): infatti spesso le azioni mirate di gestione delle popolazioni esistenti, attraverso interventi di rinforzo, dovrebbero considerare le unità evolutive presenti e le possibili future trasformazioni.

Modifiche nel ciclo vitale

Il ciclo vitale di svariate specie animali è legato al clima. L'aumento delle temperature, l'anticipo della stagione primaverile, l'accorciamento dell'inverno, la presenza di periodi prolungati di siccità e l'aumento di eventi estremi possono modificare i ritmi del ciclo vitale. Infatti diverse attività (riproduzione, schiusa di uova, successo riproduttivo) sono regolate da questi eventi. L'effetto di questi eventi può essere considerato contrastante. Alcuni eventi comportano senza dubbio un impatto negativo (ad esempio la siccità può ridurre il successo riproduttivo perché le uova di alcuni animali si disseccano). È stato anche osservato che per alcune specie la riduzione e il minor rigore invernale rappresenta un vantaggio. Non sono poi da dimenticare gli effetti indiretti. La modificazione del ciclo vitale di una specie (i.e. anticipo della schiusa delle uova) può rappresentare poi un impatto indiretto per altre specie in quanto contribuisce a realizzare uno sfasamento ecologico (si veda il paragrafo di interazioni ecologiche).

Un recente studio, condotto in UK ha evidenziato lo sfasamento che avviene nei diversi livelli trofici, con il conseguenti rischi per diverse specie (Thackeray *et al.*, 2016). Una ricerca sull'allocco (*Strix aluco*) evidenzia che questo uccello risponde alle condizioni di aridità riducendo il proprio successo riproduttivo (Fanfani *et al.*, 2015).

Effetti contrastanti sono stati riscontrati sulle pernici (*Lagopus lagopus*): queste specie si avvantaggiano dello scioglimento prematuro della neve a primavera, ma invece il ritardo delle nevicate autunnali risulta essere svantaggioso (Imperio *et al.*, 2013). L'effetto poi congiunto di cambiamento climatico e interferenze antropiche locali spinge gli autori a prevedere degli scenari molto negativi per questa specie.

Modifiche nella distribuzione delle specie

I pattern di distribuzione delle specie vengono modificati secondo due direttrici principali. Le specie termofile vedono facilmente espandere il loro areale verso nord o verso quote più elevate, come l'istrice che in poco tempo ha espanso il suo areale verso nord (Mori *et al.*, 2013). Le specie legate a climi o ad habitat più freddi possono osservare una contrazione degli areali. Non di rado si osserva un effetto congiunto e contrastante, come ad esempio nel caso della pernice rossa (*Alectoris rufa*), che sta modificando il proprio areale, espandendosi nel Monferrato occidentale, ma restringendosi nelle Langhe e lungo il margine alpino, e gli autori attribuiscono tale dinamismo dell'areale proprio alle modificazioni a scala locale del clima (Tizzani *et al.*, 2013).

Uno dei principali fattori che portano a modificare la distribuzione delle specie è il cambiamento delle temperature invernali. In Toscana gli inverni meno rigidi, in diverse località hanno permesso l'insediarsi di popolazioni di rospo smeraldino (*Bufo viridis*) e gecko comune (*Tarentola mauritanica*) laddove prima non era presente (Cantini *et al.*, 2013).

La distribuzione delle specie è anche segnata da diversi episodi di estinzioni locali. Ad esempio lo stesso studio di Cantini e collaboratori (2013) segnala l'estinzione locale di ululone appenninico (*Bombina pachypus*).

Nei piccoli corpi idrici presenti nel bacino del Tevere la persistenza delle rane *Pelophylax bergeri* e l'ibrido *Pelophylax kl. hispanicus*, è messa in dubbio dalle modificazioni del regime delle precipitazioni (Ludovisi *et al.*, 2014) che con un effetto ritardato possono abbassare la sopravvivenza dei girini e il successo riproduttivo degli adulti.

Fattorini e Salvati evidenziano un cambiamento nella distribuzione nel Lazio dei coleotteri tenebrionidi, insetti che in genere possono essere considerati come indicatori di climi aridi: le specie termofile sono

rimaste stabili sul gradiente altitudinale, quelle mesofile si spostano verso le aree più elevate, espandono il loro areale le specie fossorie, mentre quelle legate alle foreste si ritraggono in aree più elevate (Fattorini & Salvati, 2014).

Interazioni ecologiche e funzionamento degli ecosistemi

A livello di interazioni tra popolazioni diverse e di funzionamento complessivo degli ecosistemi si possono segnalare fondamentalmente tre tipologie di impatto correlate ai cambiamenti climatici.

Il primo è lo sfasamento per una popolazione (ad esempio i tempi di riproduzione di un uccello e di disponibilità degli insetti con cui vengono nutriti i pulcini non coincidono più). Il secondo è quando si espande l'areale di qualche specie vettrice di agenti patogeni per altre specie animali o vegetali. Questo secondo aspetto è stato ampiamente osservato negli ultimi anni, e una parte della letteratura scientifica oggetto di questa analisi. Ultimo esempio di interazione e cambiamento nel funzionamento degli ecosistemi è quando una specie invasiva viene liberata accidentalmente o intenzionalmente e le future modificazioni del clima rendono il territorio sempre più idoneo all'espansione di questa specie.

Lo sfasamento ecologico è stato descritto nelle popolazioni nidificanti di *Luscinia megarinchos*, ed particolarmente elevato nelle popolazioni presenti in Europa Occidentale (Emmenegger *et al.*, 2016).

Vi sono poi altre interazioni possibili, che alla fine producono un effetto sugli ecosistemi terrestri e sulle specie che li ospitano. In particolare la riduzione di habitat sommitali e cacuminali, periglaciali e valli nivali risulta negativa per piante e animali ad essi legati. Altri ambienti (torbiere, prati a sfalcio, boschi mesoigrofili, fontanili e aree circostanti) si modificano, per una differente pressione antropica. Il cambiamento del clima agisce su questi ambienti in modo sinergico, amplificando un effetto causato primariamente dalla diretta azione antropica.

Un aspetto importante è la sinergia che si viene a creare tra modificazioni del clima e diffusione di agenti patogeni. Ad esempio le popolazioni di ululone appenninico (*Bombina plachypus*), in costante declino dagli anni '90 del XX secolo, sono attaccate dal fungo *Batrachochytrium dendrobatidis*. La chitridiomicosi è riconosciuta a livello globale come una delle principali cause di declino degli anfibii (Daszak *et al.* 2003) ma in un lavoro del 2013 gli autori (Canestrelli *et al.* 2013) osservano che il fungo è presente in Italia fin dagli anni '70 e vi è quindi uno sfasamento tra diffusione del fungo e inizio del declino delle popolazioni. Una delle concause ipotizzate (assieme alla diversità genetica delle popolazioni di ululone) è proprio il cambiamento climatico. Un altro studio dello stesso gruppo di ricerca (Zampiglia *et al.* 2013) estende l'analisi della presenza del fungo alle popolazioni di *Rana italica*, *Salamandra salamandra giglioli*, *Mesotriton alpestris apuanus*. In questo studio si osserva che le popolazioni sono meno attaccate dal fungo rispetto all'ululone, ma si individua nel cambiamento climatico la sinergia principale per i trend futuri, con una prospettiva di declino, e si raccomanda il monitoraggio a lungo termine.

Nei complessi rapporti tra insetti infestanti e alberi una ricerca sull'effetto che *Lymantria dispar* L. può avere su *Quercus pubescens* ha evidenziato invece che questo parassita non verrà influenzato dai cambiamenti climatici (Backhaus *et al.* 2014), rendendo quindi necessarie altre misure di contenimento.

Una ricerca sull'aleurodide del tabacco (*Bemisia tabaci*), oggi presente nelle zone mediterranee, fa presupporre come uno scenario di aumento delle temperature di uno o due gradi porterebbe a una espansione dell'areale di questo insetto dannoso per l'agricoltura (Gilioli *et al.* 2014).

La lingua blu, o febbre catarrale dei ruminanti, è un virus trasmesso dai moscerini ematofagi del genere *Culices*, e in Italia in particolare la specie *Culices imicola* è il vettore più importante. L'espansione del vettore è stata strettamente collegata al riscaldamento globale (Mardulyn *et al.* 2013).

Il modificarsi del clima ha poi favorito l'ingresso di specie invasive che possono danneggiare le specie arboree in tutta Europa. Secondo Rassati *et al.* 2016 l'Italia, la Francia e la Spagna sono le nazioni più a rischio, nelle quali è stato documentato l'arrivo di ben 34 specie invasive.

Un altro studio (Pellizzari and Porcelli 2014) evidenzia come diversi Emitteri coccoidei siano arrivati in Italia anche grazie alla crescente commercializzazione di piante esotiche. Molto spesso questi parassiti non possono e non riescono ad acclimatarsi fuori dalle serre, ma già per due specie è stato provato che si siano acclimate: *Fiorinia pinicola* (Maskell) in Liguria e *Lepidosaphes pinnaeformis* (Bouché) in sud Italia.

Un parassita, che attaccando il castagno ha generato negli anni scorsi numerosi allarmi, è *Dryocosmus kuriphilus*, il quale ha provocato consistenti perdite in Italia centrale nella produzione di frutti e in misura minore anche nella produzione legnosa (Vannini et al. 2017). In Puglia è stata rilevata la presenza di *Drosophila suzukii* (Matsumura), che attacca la frutta fresca (ciliegie, pesche, nettarine, albicocche, uva, more, ribes e mirtilli) (Baser et al. 2015) (Ioriatti et al. 2015).

Va poi osservato che alcuni di questi insetti vettori possono avere un impatto anche per la salute umana. In modo particolare la zanzara tigre (Fischer et al. 2013), che si è stabilita in diverse zone d'Italia ed è vettore per il dengue (Rezza 2014).

Il virus del Nilo occidentale è ora endemico in un'area estesa nel bacino Mediterraneo. Secondo Fanny and Barbara (2015) i cambiamenti climatici attesi aumenteranno di molto l'areale delle zanzare *Culex* che sono i vettori di questo virus.

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI

Un importante fattore di trasformazione del territorio italiano è l'incremento della superficie forestale, che in parte i cambiamenti climatici favoriscono (si veda capitolo Foreste). Questo fenomeno, che pure è da giudicarsi positivamente per molti aspetti (stoccaggio di carbonio, stabilizzazione di versanti montani) richiede una gestione attenta al mantenimento di ambienti ecotonali aperti, nei quali possono persistere popolazioni, spesso di grande interesse conservazionistico, come evidenziato da diversi studi (Laiolo et al. 2004)(Brambilla and Pedrini 2016).

Occorre anche predisporre il controllo delle popolazioni di ungulati selvatici, i quali favoriti dall'espansione delle foreste possono poi recare danno a fitocenosi e zoocenosi (Ficetola et al. 2014), o popolazioni di grandi carnivori, che poi possono generare conflitti con le popolazioni umane, in modo particolare nelle aree di montagna.

La possibilità di diffusione di specie parassite, patogene e invasive, che è favorita dai cambiamenti climatici, implica anche il coinvolgimento dei settori agricoltura e salute umana.

Anche il settore turistico si intreccia con gli ecosistemi terrestri. Ad esempio, i cambiamenti climatici riducono da una parte gli areali delle specie di uccelli che vivono alle quote maggiori, e l'espansione delle attività sciistiche aggrava notevolmente la situazione (Brambilla et al. 2016).

FORESTE

SINTESI

I boschi italiani svolgono un importante ruolo multifunzionale capace di erogare, a vantaggio della collettività, benefici sia di tipo economico che di tipo ambientale. La funzione storicamente assolta dai nostri boschi è quella produttiva: nel nostro Paese l'81,3% della superficie forestale totale risulta disponibile al prelievo legnoso per una massa ritraibile annualmente di circa 35,5 milioni di m³ (INFC 2005). Tuttavia, la massa legnosa effettivamente asportata annualmente con le operazioni selvicolturali ammonta tra il 25% e il 38% dell'incremento annuo, rispetto alla media dei Paesi dell'UE-28 che si attesta intorno al 65% dell'incremento totale annuo (MCPFE 2015). 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, delle infrastrutture e delle attività dell'uomo da pericoli naturali, la tutela idrogeologica, la regolazione del ciclo dell'acqua, la conservazione del paesaggio e della biodiversità, la capacità di assorbimento del carbonio nell'ottica della riduzione della concentrazione di gas di serra in atmosfera, compresi i nuovi utilizzi delle foreste legati alle attività turistico-ricreative, sportive, di didattica ambientale, di valorizzazione dei prodotti non legnosi e culturali (musei e concerti in foresta).

L'offerta di questo ampio spettro di servizi pubblici è attualmente minacciata dall'azione simultanea degli impatti dei cambiamenti climatici in atto e futuri e dei processi di abbandono gestionale, spesso associati a fenomeni di diminuzione della stabilità degli ecosistemi forestali e alla loro maggiore vulnerabilità agli incendi, agli eventi meteorologici avversi e agli attacchi parassitari. Infatti, secondo i dati dell'Inventario Forestale Nazionale (INFC 2015) solo il 15% circa dei boschi italiani (1,3 milioni di ettari) è sottoposto ad una pianificazione di dettaglio. La risposta degli ecosistemi forestali ai cambiamenti climatici si sta traducendo in alterazioni dei tassi di crescita e della produttività, 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 patogeni, alterazione del ciclo dell'acqua e del carbonio. Queste alterazioni sono tali da determinare significative modificazioni del patrimonio forestale italiano, compromettendone la funzionalità e i servizi ecosistemici che esso offre e sono destinate ad aumentare in risposta anche agli scenari climatici futuri.

INTRODUZIONE

Il patrimonio forestale italiano

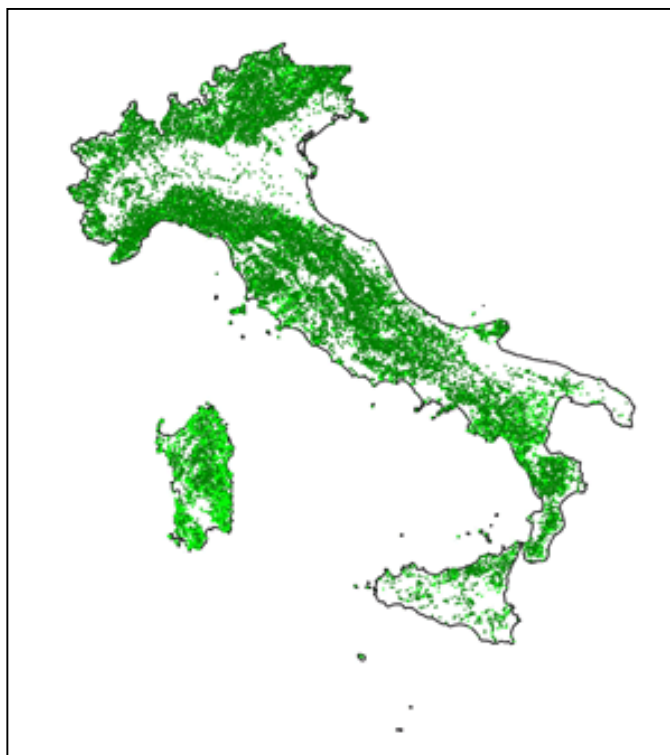
Secondo le stime dell'ultimo inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio (INFC 2015) la superficie forestale nazionale, in accordo con la definizione internazionale adottata dal *Global Forest Resources Assessments* (FRA)⁵³, raggiunge i 10.982.013 ettari (34% del territorio nazionale), con un incremento rispetto ai 10.345.282 ettari stimati nel precedente inventario (INFC 2005), ma con una superficie triplicata negli ultimi sessanta anni, principalmente a seguito del progressivo spopolamento delle aree montane e dell'abbandono delle pratiche agrosilvopastorali.

La superficie forestale nel suo complesso è costituita dalla macrocategoria Bosco, circa l'84% del totale e il 29% del territorio nazionale, e dalla macrocategoria Altre terre boscate (Tabella 1-26), che rappresenta la restante porzione, composta perlopiù da arbusteti e macchia mediterranea (Figura 1-29).

⁵³ <http://www.fao.org/forestry/fra/en/>

Tabella 1-26: Definizione della superficie forestale⁵⁴.

Bosco	Impianti di arboricoltura	Pioppeti artificiali Piantagioni di altre latifoglie da legno Piantagioni di conifere
	Boschi alti	Boschi di larice e cembro Boschi di abete rosso Boschi di abete bianco Pinete di pino silvestre e montano Pinete di pino nero, laricio e loricato Pinete di pini mediterranei Altri boschi di conifere, pure o miste Faggete Querceti a rovere, roverella e farnia Cerrete, boschi di farnetto, fragno, vallonea Castagneti Ostrieti, carpineti Boschi igrofil Altri boschi caducifogli Leccete Sugherete Altri boschi di latifoglie sempreverdi
	Aree temporaneamente prive di soprassuolo	
	Altre terre boscate Boschi bassi, Boschi radi, Boscaglie	
	Arbusteti	Arbusteti subalpini Arbusteti di clima temperato Macchia, arbusteti mediterranei Aree boscate inaccessibili o non classificate

**Figura 1-29: Distribuzione della superficie forestale in Italia (Bosco in verde scuro e Altre terre boscate in verde chiaro)⁵⁵.**⁵⁴ Fonte: INFC, 2015.

I boschi italiani sono in grado di assorbire annualmente dall'atmosfera circa 34 Mt CO₂/anno (IT NIR, 2016), al netto dei prelievi legnosi applicati e delle perdite dovute a incendi e altri fattori biotici e abiotici. La macrocategoria Bosco è costituita 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 (INFC 2005).

Secondo i dati INFC (2005), ben l'81,3% della superficie forestale totale del nostro Paese risulta disponibile al prelievo legnoso per una massa ritraibile annualmente di circa 35,5 milioni di m³. Tuttavia, la massa legnosa effettivamente asportata annualmente con le operazioni selvicolturali ammonta a meno di 9 milioni di m³ (di cui oltre il 60% è rappresentato da legna per uso energetico) secondo i dati ufficiali disponibili di FAOSTAT, e intorno a 13,5 milioni di m³ 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-28 che si attesta al 65% dell'incremento totale annuo (MCPFE 2015).

Funzione produttiva e servizi ecosistemici

I boschi svolgono un importante ruolo multifunzionale capace di erogare, a vantaggio della collettività, benefici sia di tipo economico, che di tipo ambientale. La funzione produttiva dei boschi italiani è alla base del sistema industriale foresta-legno italiano che conta più di 78.000 imprese (MIPAAF, Piano della filiera legno 2012-14) e include tre comparti tra loro integrati in una logica di filiera: (i) le utilizzazioni forestali (fase di raccolta) effettuate da imprese e aziende di utilizzazione boschiva e agro-forestale; (ii) la prima trasformazione che comprende la produzione di materiali semilavorati, le imprese del comparto dei pannelli a base di legno e dell'imballaggio, segherie, aziende di carpenteria; (iii) la seconda lavorazione, formata dall'industria della carta, del mobile, e altre produzioni in legno. Nel comparto che produce carta, cartoni e paste per carta operano 139 aziende con una produzione annua pari a circa 9,5 milioni di tonnellate, un terzo delle quali destinate all'export (dati Assocarta⁵⁶). Vi è inoltre l'importante segmento relativo all'utilizzo della biomassa per fini energetici. Tuttavia, a livello nazionale si osserva un'insufficiente offerta locale di legname, che copre soltanto un decimo del fabbisogno, nonostante i nostri boschi offrano una quantità di biomassa disponibile al prelievo di gran lunga superiore alla quota utilizzata (solo il 30% circa dell'incremento viene oggi utilizzato), con una conseguente dipendenza dall'estero nell'import.

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), la tutela idrogeologica, la regolazione del ciclo

⁵⁵ Fonte INFC 2005.

⁵⁶ <http://www.assocarta.it/>

dell'acqua, la conservazione del paesaggio e della biodiversità, la riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera. Va inoltre registrata 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. 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 Ramsar⁵⁷, siti NATURA2000⁵⁸). Tali aree nel loro insieme ricoprono circa il 10% della superficie nazionale e includono più di un quarto (28%) della superficie forestale nazionale totale (INFC 2005). I boschi delle aree naturali protette in Italia costituiscono un'importante fonte economica per il territorio e per il settore turistico nazionale: si stimano infatti 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 e 102.000 posti di lavoro attivati (Unioncamere 2012).

L'offerta di questo ampio spettro di servizi pubblici è attualmente minacciata dall'azione simultanea degli impatti dei cambiamenti climatici in atto e futuri e dei processi di abbandono gestionale, spesso associati a fenomeni di diminuzione della stabilità degli ecosistemi forestali e alla loro maggiore vulnerabilità agli incendi, agli eventi meteorologici avversi e agli attacchi parassitari.

Infatti, secondo i dati dell'Inventario Forestale Nazionale (INFC 2015) solo il 15% circa della categoria Boschi (1,3 milioni di ettari) è sottoposto ad una pianificazione di dettaglio con la redazione di uno specifico Piano di Gestione e Assestamento Forestale (PGAF). Dal momento che il 33,9% dei boschi è 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). Tuttavia, 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. 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 Zps⁵⁹).

Alla ridotta gestione attiva del territorio (solamente il 15% circa della superficie forestale nazionale è gestito sulla base di un Piano di Gestione e Assestamento Forestale e l'utilizzazione è pari solamente a circa il 30% dell'incremento annuo, contro una media UE del 65%), consegue l'impossibilità di garantire il mantenimento dei caratteri strutturali e funzionali del patrimonio boschivo, con ripercussioni negative sia sulla biodiversità, sulla produttività e in generale sullo stato di salute delle foreste, che sull'assetto idrogeologico e la stabilità del territorio, causando ripercussioni anche nello sviluppo socioeconomico di molte realtà locali. La mancanza di una gestione attiva e sostenibile delle foreste, come l'invecchiamento delle formazioni in aree a forte pendenza o l'abbandono delle sistemazioni idraulico-forestali tradizionali e dei terrazzamenti, è spesso direttamente correlata anche all'innescio di fenomeni di instabilità dei versanti (delle circa 700.000 frane censite nel 2015 in UE, 530.000 sono in Italia).

La gestione, tutela e valorizzazione del bosco e dei settori produttivi ad esso legati, secondo i principi di una gestione forestale sostenibile, è dunque un tema d'interesse strategico per l'Italia e trasversale a molti settori da un punto di vista economico, ambientale, sociale e culturale, soprattutto in considerazione degli impegni internazionali sottoscritti dal Governo italiano in materia di clima, ambiente e paesaggio, degli

⁵⁷ <http://www.minambiente.it/pagina/zone-umide-di-importanza-internazionale-ai-sensi-della-convenzione-di-ramsar>

⁵⁸ <http://www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000>

⁵⁹ <http://www.minambiente.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia>

obblighi e indicazioni comunitarie in materia di foreste (Strategia forestale dell'UE 2013), ambiente (Dir. 92/43/CEE e Dir. 79/409/CEE), energia (Dir. 2009/28/CE 5 giugno 2009), sviluppo rurale e agricoltura (PAC 2014-2020) e commercializzazione dei prodotti legnosi (Reg. UE n. 995 recepito con Decreto legge 27 dicembre 2012).

Un piano di adattamento ai cambiamenti climatici deve dunque avere obiettivi intimamente legati all'applicazione di una gestione sostenibile delle foreste, volta ad aumentarne la resilienza e la loro capacità di adattamento a eventi climatici estremi.

Gli incendi boschivi in Italia

Gli incendi boschivi rappresentano una delle principali minacce per il comparto forestale europeo, in particolare per l'Europa meridionale. Il Sud Europa incide per circa il 75% del numero degli incendi e per il 90% della superficie percorsa in tutta Europa (Schmuck et al. 2015). In Italia le aree che storicamente hanno subito i danni più rilevanti in termini di superficie bruciata sono localizzate principalmente in Italia meridionale, nelle isole maggiori e nella fascia costiera ligure e toscana (Bacciu et al. 2014; Corpo forestale dello Stato 2015; Schmuck et al. 2015).

Secondo i dati raccolti da Corpo forestale dello Stato (dal 1970 ad oggi), il numero annuo degli incendi è cresciuto progressivamente fino alla fine degli anni '70 (11.000 incendi nel 1978); negli anni 80 e 90 il numero annuo degli incendi ha addirittura superato tali soglie. Dal 2000 al 2007 la media degli incendi è calata di un terzo rispetto a quella dei due decenni precedenti (Corpo forestale dello Stato 2015). La superficie boscata percorsa da incendi è consistente già a partire dai primi anni '70 e si mantiene al di sopra dei 50.000 ettari come valore medio nei tre decenni, scendendo sotto i 40.000 ettari solo negli ultimi anni a partire dal 2000. Il numero di incendi per km² e la percentuale di area bruciata sul territorio regionale per gli anni 2013, 2014, 2015 sono riportati in Figura 1-30.

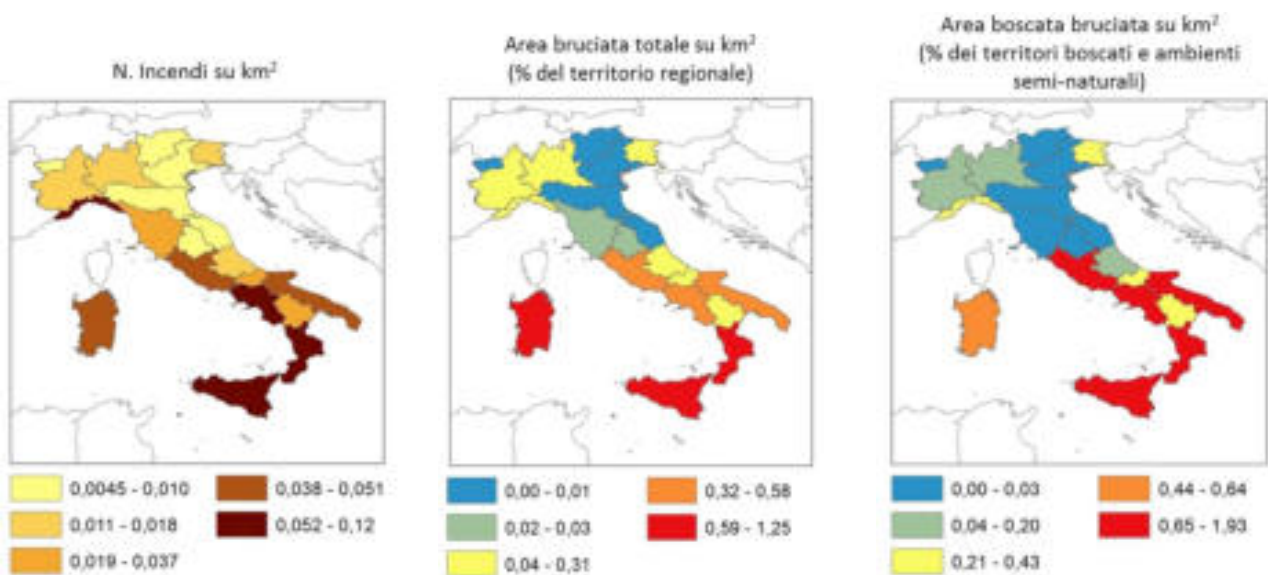


Figura 1-30: A sinistra, numero di incendi per km²⁶⁰.

La variabilità spaziale del numero degli incendi e delle superfici percorse da incendio è legata principalmente alle condizioni meteo-climatiche e allo stato idrico del combustibile. La maggior parte delle

⁶⁰ Elaborazione su dati del Corpo Forestale dello Stato, fonte: www.corpoforestale.it/AIB, anni: 2013-2014-2015; al centro, percentuale di area bruciata sul territorio regionale; a destra, percentuale di area boscata bruciata su territori boscati e ambienti semi-naturali.

superfici bruciate e i conseguenti danni ambientali ed economici provocati dagli incendi sono ascrivibili a pochi eventi di grandi dimensioni, che si sviluppano in giornate con condizioni meteorologiche predisponenti la propagazione (venti molto intensi, temperature elevate, bassa umidità atmosferica) e la disidratazione della vegetazione, e che presentano comportamento estremo (salti di fuoco, fuochi di chioma, intensità e velocità di avanzamento molto elevate) (Salis et al. 2013; Cardil et al. 2014; Nudda et al. 2016). A ciò va aggiunto il fatto che, nel corso degli ultimi anni, l'Italia e molte altre regioni del Bacino del Mediterraneo hanno subito un notevole processo di abbandono delle aree rurali e dei boschi, con una profonda modifica della struttura e delle caratteristiche della vegetazione rurale e forestale, e l'incremento di combustibile non gestito e altamente infiammabile (Ruiz-Mirazo et al. 2012; Fernandes et al. 2014; Salis et al. 2016).

La combinazione di cambiamenti climatici e abbandono delle aree rurali e forestali, se non affrontato correttamente, potrà esacerbare la problematica degli incendi e provocare eventi sempre più intensi e significativi, in grado di determinare ingenti perdite economiche, ambientali e sociali (Raftoyannis, Y et al. 2014; Salis et al. 2016). L'insieme di questi fattori ha contribuito a rendere gli incendi boschivi oggetto di preoccupazione da parte dei decisori competenti, ricercatori, enti preposti alla lotta e cittadini. Birot and Mavsar (2009) segnalano che i paesi del Sud Europa investono circa 2,5 miliardi di euro ogni anno nella gestione degli incendi, e in particolar modo nei sistemi di rilevamento ed estinzione, mentre solo una piccola quota è dedicata alle azioni preventive (Fernandes 2013). Queste politiche hanno portato come risultato ad un successo nelle azioni di estinzione degli incendi di bassa e media intensità, diversamente da quanto succede in caso di incendi di elevata intensità (Castellnou 2011; San-Miguel-Ayanz et al. 2013; Tedim et al. 2013; Fernandes et al. 2016). Come evidenziato da numerosi lavori, le azioni di lotta attiva (compresa quella effettuata con i mezzi aerei) non sono efficienti in caso di incendi estremi, che si propagano con elevate velocità e intensità, o di incendi multipli in condizioni di estrema pericolosità. Per usare le parole di (San-Miguel-Ayanz et al. 2013) "per affrontare i mega-incendi, l'aumento delle attività di prevenzione è preferibile all'aumento delle attività di estinzione".

È necessario pertanto che la comunità scientifica e i decisori politici nazionali e internazionali diano un nuovo impulso alle politiche indirizzate verso la prevenzione e la gestione forestale e del territorio, tenendo in considerazione l'adattamento ai cambiamenti futuri, in funzione di una riduzione del rischio incendi boschivi.

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I cambiamenti climatici in atto e quelli potenziali previsti dai modelli negli scenari climatici futuri comportano un aumento generale della temperatura media e della siccità estiva e l'amplificazione, in intensità e frequenza, dei fenomeni estremi. Tali condizioni saranno tendenzialmente ricorrenti in tutte le 6 macroregioni climatiche omogenee individuate nel paragrafo 1.1.1, seppur con differenze nei diversi cluster di anomalie e con maggior severità nello scenario RCP 8.5 rispetto al 4.5.

La risposta degli ecosistemi forestali ai cambiamenti climatici si sta traducendo e si tradurrà in futuro in un'alterazione dei tassi di crescita e della produttività (Sabaté et al. 2002; Rodolfi et al. 2007; Giuggiola et al. 2010; Lindner et al. 2010; Bertini et al. 2011) e in cambiamenti nella distribuzione delle specie e *shift* altitudinali e latitudinali (Parolo and 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 altri patogeni, alterazione del ciclo dell'acqua e del carbonio.

Le alterazioni causate dai cambiamenti climatici in atto e futuri sono tali da determinare significative modificazioni del patrimonio forestale italiano, compromettendone la funzionalità e i servizi ecosistemici che esso offre e sono destinate ad aumentare in risposta anche agli scenari climatici futuri.

Specifiche azioni di adattamento sono dunque necessarie al fine di tutelare le funzioni più importanti che le nostre foreste sono attualmente 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.

Impatti sulla produttività e sullo stato di salute dei boschi

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. 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.

I cambiamenti climatici in atto e previsti in futuro (aumento della temperatura media annua, siccità prolungate e ripetute, aumento della concentrazione atmosferica di CO₂) potrebbero avere delle ripercussioni significative sulla crescita delle foreste. Proiezioni future infatti 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 o attacchi di patogeni, favoriti in futuro da episodi di siccità ricorrenti (Santini et al. 2014). Tuttavia, nonostante le condizioni climatiche future sembrino meno favorevoli per la vegetazione mediterranea, la produttività primaria netta è destinata ad aumentare per effetto della potenziale fertilizzazione dovuta all'aumento della CO₂ in atmosfera (Santini et al. 2014).

Non sono inoltre da trascurare effetti indiretti negativi dovuti all'aumento delle temperature e alla variazione del regime pluviometrico (Martinez-Vilalta et al. 2011), 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). 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).

Impatti sulla distribuzione delle specie forestali

Di seguito è fornito un quadro della potenziale distribuzione futura e degli *shift* delle principali formazioni forestali al 2050 rispetto alla distribuzione attuale (derivante da Köble and Seufert (2001). Tale analisi è stata condotta a livello di macroregioni climatiche omogenee (identificate nel paragrafo 1.1.1), secondo i due scenari RCP 4.5 e 8.5 (IPCC 2013) e sulla base delle proiezioni delle anomalie climatiche dei principali indicatori individuati nel paragrafo 1.1.1 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, degli indici di aridità di Thornwhite e Hargreaves (sviluppati nel capitolo "Desertificazione") e dei parametrici topografici e loro elaborazioni (altitudine, latitudine, pendenza), utilizzando il modello BIOMOD (Thuiller et al. 2009). L'analisi prende in considerazione le principali formazioni forestali, nello specifico: i boschi di larice e cembro, i boschi di abete rosso, i boschi di abete bianco, le pinete di pino silvestre e montano, le pinete di pino nero, le pinete di pini mediterranei (pino d'Aleppo e pino marittimo), le faggete, i castagneti, i boschi a rovere e farnia, le cerrete e boschi di roverella e la vegetazione sclerofilla sempreverde, che include la macchia mediterranea e le formazioni forestali costituite dalle latifoglie sempreverdi, quali sugherete e leccete.

La potenziale distribuzione futura è stata valutata per le principali tipologie forestali individuate nell'ambito dell'Inventario Forestale Nazionale (INFC 2005) e indica la vocazionalità di una zona ad ospitare o meno le

specie forestali in funzione del clima previsto e delle anomalie attese. L'effettiva presenza o assenza di una tipologia forestale potrà dipendere, oltre che dal clima, anche dall'azione antropica o dalla presenza di barriere fisiche che possono, ad esempio, impedire la diffusione o l'avanzamento di una specie forestale nonostante il clima previsto sia favorevole alla sua presenza. Tuttavia, le indicazioni relative alla potenziale distribuzione futura e agli *shift* delle principali formazioni forestali, rappresentano un utile strumento di indirizzo per le azioni di gestione del territorio e forniscono un'indicazione sulle specie da favorire nelle aree vocate e su quelle da proteggere nelle aree in cui le condizioni climatiche ne metteranno a rischio la presenza.

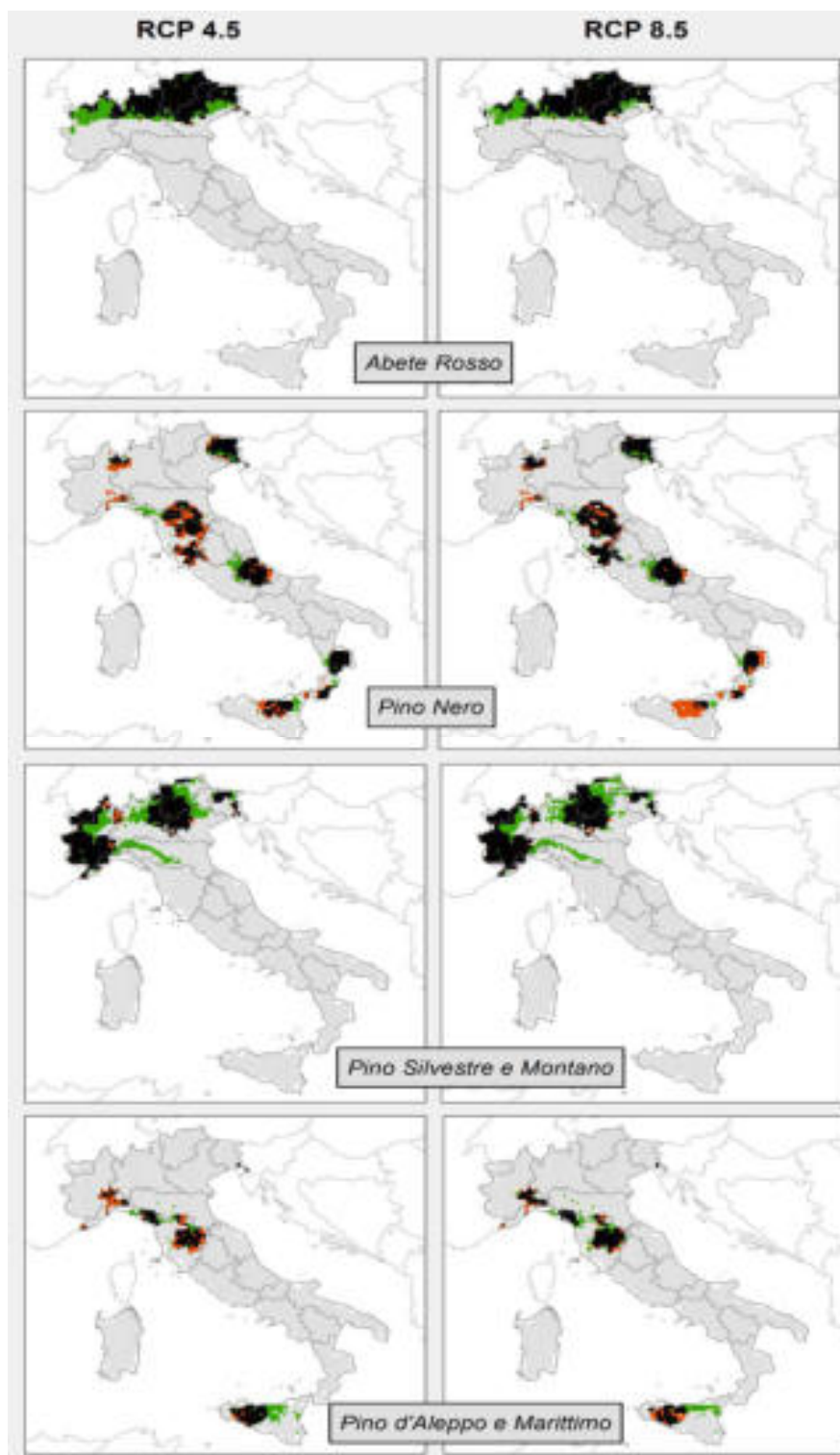


Figura 1-31 Distribuzione potenziale delle principali formazioni forestali al 2050 rispetto alla distribuzione attuale (JRC, 2001), secondo i due scenari RCP 4.5 e 8.5 (IPCC, 2013) e sulla base delle proiezioni delle anomalie climatiche dei principali indicatori individuati nel paragrafo 1.1.1 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, degli indici di aridità di Thornwhite e Hargreaves (sviluppati nel capitolo Desertificazione) e dei parametrici topografici e loro elaborazioni (altitudine, latitudine, pendenza)⁶¹.

Superficie forestale costante
 Superficie forestale in aumento
 Superficie forestale in riduzione

⁶¹ Le aree in nero indicano la potenziale permanenza della formazione forestale, quelle in rosso la potenziale scomparsa e quelle verdi la potenziale comparsa.

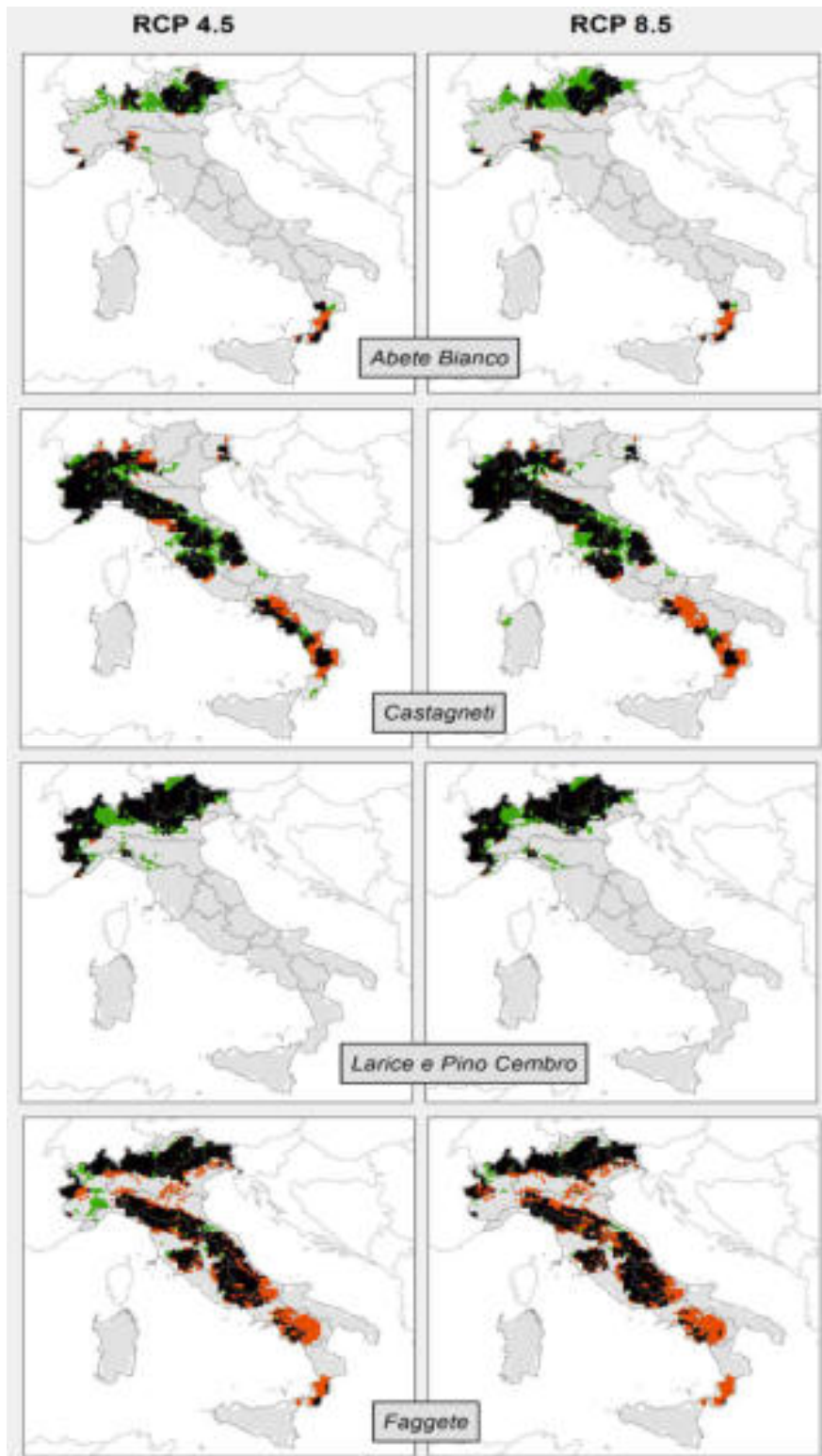
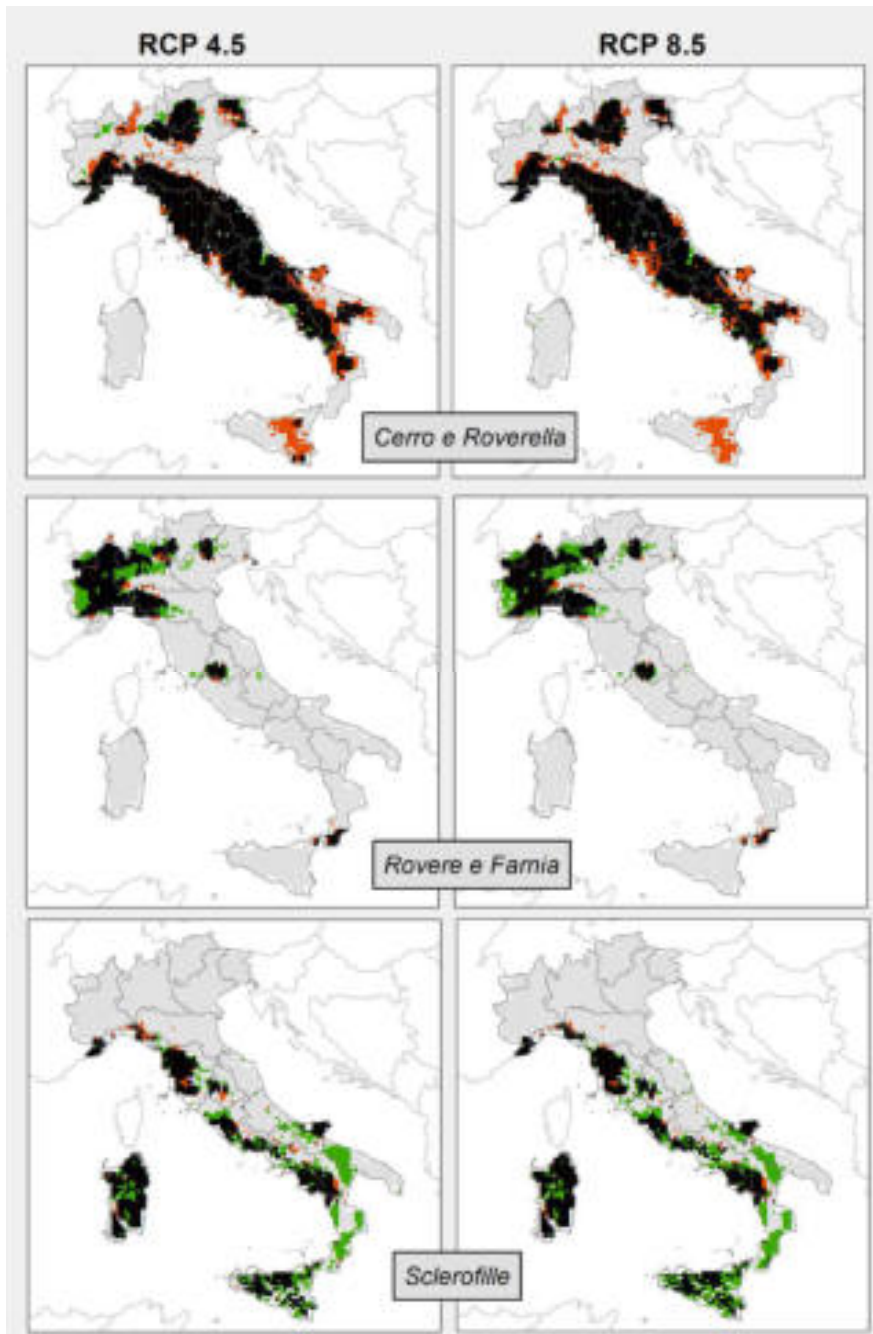


Figura 1-31 – Continua

Figura 1-31 – Continua



Le proiezioni (Figura 1-31; Tabella 1-27) indicano a livello nazionale, per entrambi gli scenari RCP 4.5 e 8.5, una contrazione al 2050 rispetto alla distribuzione attuale delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la presenza delle cerrete e dei boschi di roverella, delle faggete e delle pinete di pino nero. Al contrario, si osserva un possibile incremento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione dei boschi di abete rosso, di larice e cembro, di abete bianco, delle pinete di pino silvestre e montano, dei boschi a rovere e farnia e della vegetazione sclerofilla sempreverde. I castagneti tendono invece a spostare la loro distribuzione potenziale dall'estremo sud d'Italia e dall'Appennino centro-meridionale verso la zona dell'Appennino settentrionale, mentre al contrario le pinete di pino d'Aleppo e marittimo tenderanno a spostarsi leggermente verso le aree insulari e l'estremo sud dell'Italia. In entrambe le zone delle Prealpi e dell'Appennino settentrionale (macroregione climatica 1) e della pianura Padana, l'alto versante adriatico e le aree costiere dell'Italia centro-meridionale (macroregione climatica 2) si osserva al 2050 un probabile incremento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione dei boschi di abete rosso, di larice e cembro, di abete bianco, dei boschi a rovere e farnia e una riduzione delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione delle faggete e delle cerrete e boschi di roverella, con valori più marcati nello scenario RCP 8.5 rispetto al 4.5. Anche le pinete di pino d'Aleppo e marittimo e quelle di pino nero subiranno una probabile contrazione delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali alla loro distribuzione, ma con valori più accentuati nello scenario RCP 4.5 rispetto all'8.5. Le pinete di pino silvestre e montano e i castagneti troveranno un incremento della superficie con condizioni potenziali per la loro presenza nella macroregione climatica 1, mentre le aree con condizioni ideali alla loro distribuzione nella macroregione climatica 2 rimarranno pressoché costanti nello scenario RCP 4.5 e addirittura subiranno una contrazione nello scenario 8.5. Inoltre, in entrambe le macroregioni climatiche 1 e 2, seppur in maniera più marcata nella macroregione climatica 2, si stima un sostanziale incremento delle aree vocate ad ospitare la vegetazione sclerofilla sempreverde.

Nella zona dell'Appennino centro-meridionale (macroregione climatica 3) si osserva un possibile incremento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione dei boschi a rovere e farnia, dei boschi di abete bianco, delle pinete di pino nero e, in misura più contenuta, anche delle pinete di pino silvestre e montano e dei boschi di larice e cembro. Subiranno invece una probabile contrazione le aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la presenza delle pinete di pino d'Aleppo e marittimo, delle faggete, così come, seppur in misura minore, delle cerrete e dei boschi di roverella e dei castagneti, con contrazioni maggiori generalmente nello scenario 8.5 rispetto al 4.5. La vegetazione sclerofilla sempreverde vedrà un aumento delle aree vocate alla sua presenza, soprattutto nello scenario 8.5.

Nell'area alpina (macroregione climatica 4) si osserva un generale aumento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione di quasi tutte le specie, ad eccezione dei castagneti e delle pinete di pino nero. Un particolare dato in controtendenza rispetto alle altre macroregioni climatiche italiane è il possibile aumento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione delle faggete (in entrambi gli scenari 4.5 e 8.5) e delle cerrete e dei boschi di roverella (nel solo scenario 4.5) che invece tendono a scomparire nel resto d'Italia.

In Italia settentrionale in generale (macroregione climatica 5) si osserva un probabile aumento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione di quasi tutte le specie, ad eccezione delle cerrete e dei boschi di roverella e della vegetazione sclerofilla sempreverde della macchia e degli arbusteti mediterranei che, in controtendenza rispetto al resto d'Italia, vedrà una probabile riduzione delle aree vocate, in entrambi gli scenari 4.5 e 8.5. Particolare è il comportamento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione delle faggete, per le quali si prevede un leggero aumento nello scenario 4.5 e una leggera diminuzione nello scenario 8.5.

Le aree insulari e l'estremo sud dell'Italia (macroregione climatica 6) sono le zone d'Italia che maggiormente subiranno una contrazione in generale della superficie con condizioni potenziali per la

presenza delle principali specie, che interesserà quasi tutte le formazioni forestali ad eccezione delle pinete di pino d'Aleppo e marittimo e della vegetazione sclerofilla che tenderà invece ad aumentare in entrambi gli scenari 4.5 e 8.5.

Tabella 1-27: Variazione percentuale della distribuzione delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione delle principali formazioni forestali per zone climatiche omogenee al 2050 rispetto alla distribuzione attuale negli scenari RCP 4.5 e 8.5.

	Macroregioni						Italia
	1	2	3	4	5	6	
>25% 25-50% 50-75% >75% Riduzione Aumento ↔ Sup. costante							
Formazioni forestali	4.5-8.5	4.5-8.5	4.5-8.5	4.5-8.5	4.5-8.5	4.5-8.5	4.5-8.5
Boschi di larice e cembro	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	↑↑
Boschi di abete rosso	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	-	↑↑
Boschi di abete bianco	↑↑	-	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↑↑
Pinete di pino silvestre e montano	↑↑	↔	↑↑	↑↑	↑↑	-	↑↑
Pinete di pino nero	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↑↑	↓↓	↓↓
Pinete di pini mediterranei (pino d'Aleppo e pino marittimo)	↓↓	↓↓	↓↓	-	↑↑	↑↑	↓↓
Faggete	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓
Castagneti	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↑↑
Boschi a rovere e farnia	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↑↑
Cerrete e boschi di roverella	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↓↓	↓↓
Veg. sclerofilla sempreverde	↑↑	↑↑	↑↑	-	↓↓	↑↑	↑↑

Macroregione 1: Prealpi e Appennino settentrionale; Macroregione 2: pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale; Macroregione 3: Appennino centro-meridionale; Macroregione 4: area alpina; Macroregione 5: Italia settentrionale; Macroregione 6: aree insulari ed estremo sud dell'Italia

Impatti sulla biodiversità

I cambiamenti climatici sono in grado di influenzare potenzialmente 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. Alcuni studi 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). Impatti consistenti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità delle biocenosi forestali italiane sono ipotizzabili soprattutto nelle zone mediterranee (Resco de Dios et al. 2006) e negli ambienti di alta quota (Motta and Nola 2001). 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 (Paola et al. 2012).

Dall'analisi condotta relativamente alla distribuzione potenziale futura delle principali tipologie forestali, è possibile valutare anche la potenziale concentrazione di biodiversità relativamente alla presenza di condizioni ideali per ospitare più specie forestali contemporaneamente (da nessuna a nove specie), al 2050, secondo i due scenari RCP 4.5 e 8.5 (IPCC 2013) e sulla base delle proiezioni delle anomalie climatiche dei principali indicatori individuati nel paragrafo 1.1.1 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, degli indici di aridità di Thornwhite e Hargreaves (sviluppati nel capitolo Desertificazione) e dei parametrici topografici, utilizzando il modello BIOMOD (Thuiller et al. 2009).

La Figura 1-32 mostra come, a livello nazionale, nello scenario RCP 4.5 si verifichi una riduzione del numero di specie co-presenti per unità di superficie, con un andamento della distribuzione delle superfici che si sposta mostrando un picco di superficie in grado di ospitare potenzialmente solo 2 tipologie forestali contemporaneamente al 2050, rispetto al picco di superficie in grado di ospitare potenzialmente 3 tipologie forestali contemporaneamente nello scenario attuale. Tale condizione è esacerbata nello scenario RCP 8.5 in cui l'andamento della distribuzione delle superfici si sposta con un picco di superficie in grado di ospitare potenzialmente solo una tipologia forestale al 2050. Tuttavia, in entrambi gli scenari RCP 4.5 e 8.5 si verifica una riduzione in generale delle aree ad oggi caratterizzate dalla presenza di nessuna tipologia forestale e un aumento del numero massimo delle tipologie presenti contemporaneamente che passa da 8 a 9. Tali dati confermano una ridistribuzione delle formazioni forestali, con cambiamenti nella composizione delle specie presenti e spostamento degli habitat forestali con conseguente perdita locale di biodiversità in alcuni casi e aumento del numero di specie in altri.

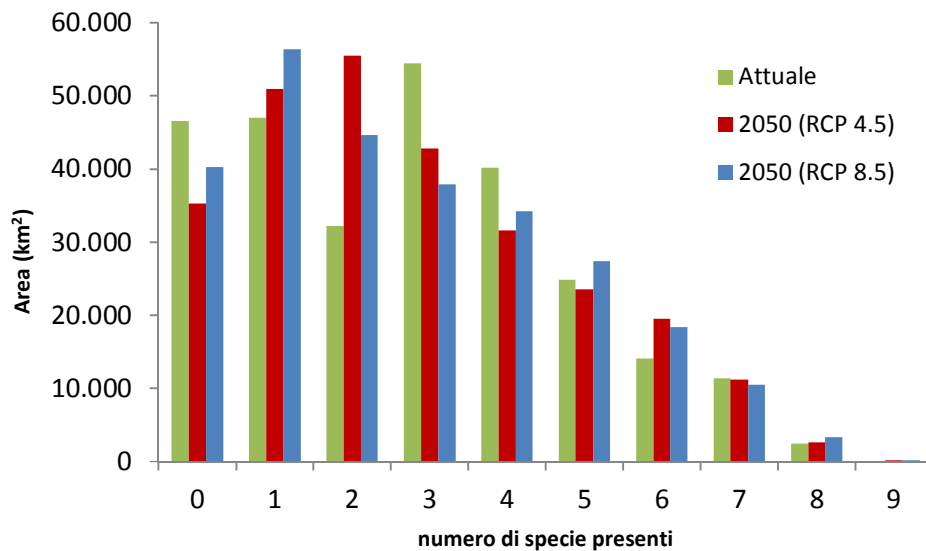


Figura 1-32. Distribuzione a livello nazionale delle superfici caratterizzate da condizioni potenzialmente ideali ospitare più specie forestali (da nessuna a nove specie) al 2050 rispetto alla distribuzione attuale, secondo i due scenari RCP 4.5 e 8.5 (IPCC, 2013) e sulla base delle proiezioni delle anomalie climatiche dei principali indicatori individuati nel paragrafo 1.1.1 per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, degli indici di aridità di Thornwhite e Hargreaves (sviluppati nel capitolo Desertificazione) e dei parametri topografici.

In Figura 1-33 è riportato l'andamento della distribuzione delle superfici in grado di ospitare più specie contemporaneamente, per macroregioni climatiche.

La situazione più critica si evince nella macroregione climatica 3 dove si prevede un maggior rischio di perdita locale di biodiversità, con un andamento della distribuzione delle superfici che si sposta mostrando un picco di superficie in grado di ospitare potenzialmente solo 1 o 2 tipologie forestali contemporaneamente al 2050, rispetto al picco di superficie in grado di ospitare potenzialmente 3 o 4 tipologie forestali contemporaneamente nello scenario attuale.

Nelle macroregioni climatiche 2 e 6 non si rilevano particolari variazioni nella distribuzione delle superfici relativamente alla composizione specifica e alla concentrazione di biodiversità, mentre nelle restanti macroregioni climatiche 1, 4 e 5 si possono registrare, in linea generale, incrementi al 2050 delle superfici in grado di ospitare un maggior numero di tipologie forestali contemporaneamente, in entrambi gli scenari 4.5 e 8.5.

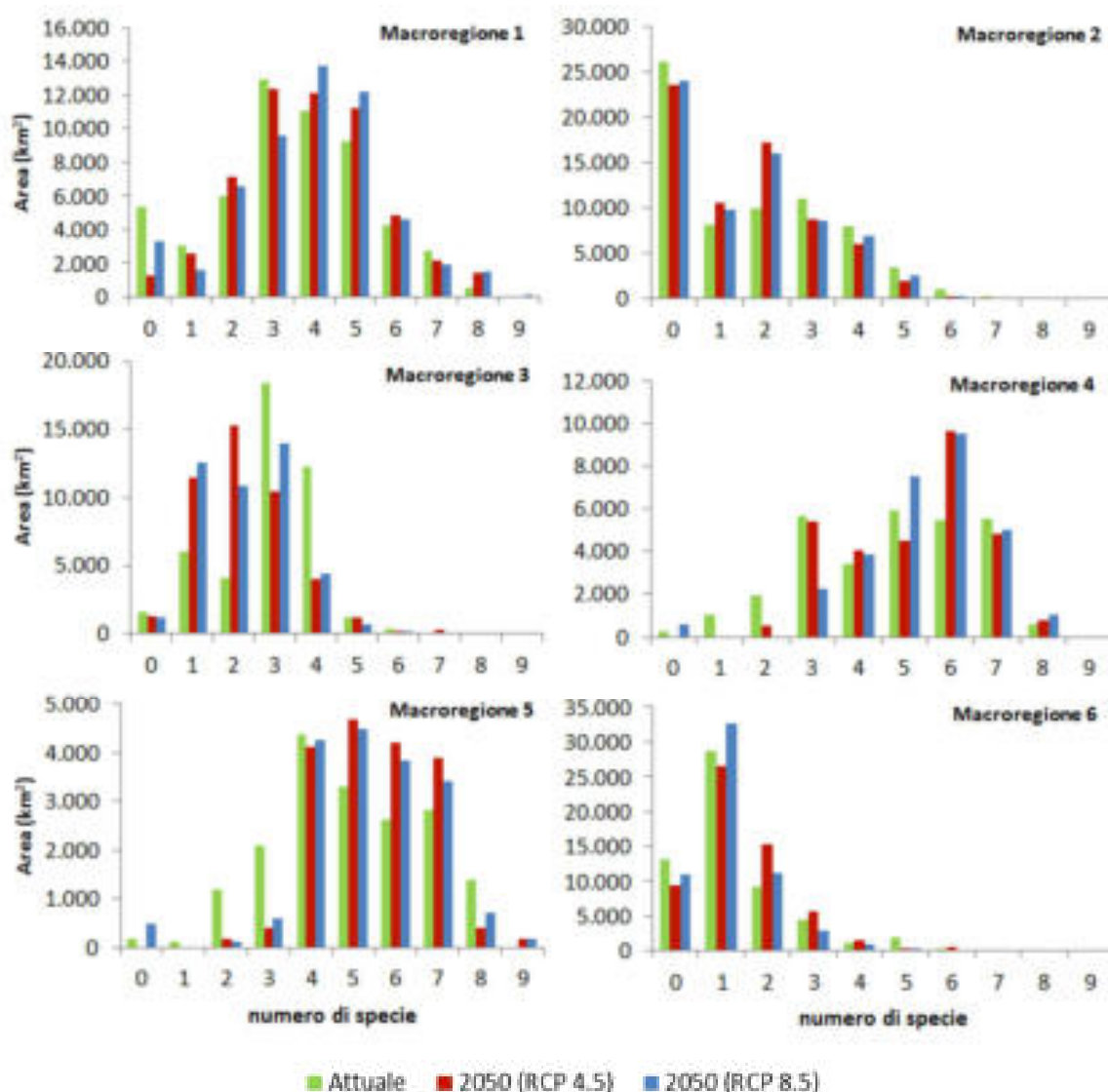


Figura 1-33: Distribuzione delle superfici in grado di ospitare più specie contemporaneamente per macroregioni climatiche.

Impatti sul regime degli incendi

L'incremento delle temperature e delle ondate di calore, unitamente al calo delle precipitazioni previsto per il Sud Europa, potrà avere un impatto rilevante sul regime degli incendi (Bedia et al. 2013; Kovats et al. 2014; Santini et al. 2014; Seidl et al. 2014; Turco et al. 2014; Kalabokidis et al. 2015). In particolare è altamente probabile un incremento dei valori medi e massimi di pericolosità di incendio. La pericolosità di incendio (FWI, Fire Weather Index, Van Wagner (1987)) deve essere intesa come un indicatore della facilità di ignizione della vegetazione, della difficoltà al controllo di un incendio e del danno potenziale associato all'incendio. Sirca (2014) individua, per l'intera area Euro-Mediterranea, un incremento dei valori medi annuali della pericolosità potenziale di incendio nelle aree a sud-ovest dell'Europa, mentre osserva un trend contrario nell'Europa del nord e dell'est. Le aree dove storicamente gli incendi si susseguono anno dopo anno, come l'Italia, insieme con il sud della Francia, la penisola Iberica e il nord ovest dell'Africa, mostrano ulteriori incrementi significativi della pericolosità potenziale di incendio boschivo. Salis et al. (2014) e Lozano et al. (2016), focalizzando l'analisi a scala nazionale, identificano attraverso un nuovo approccio modellistico le aree che più di altre verranno interessate da una maggiore probabilità di occorrenza e con maggiore intensità potenziale. Nell'ambito di questo studio, la Sardegna si caratterizza

per i valori più elevati di intensità potenziale, a causa della combinazione fra tipologie di combustibile di tipo arbustivo, che nel periodo estivo sono molto infiammabili e in grado di originare incendi di notevole intensità, e venti di forte intensità che alimentano la propagazione degli incendi e ne incrementano le lunghezze di fiamma. Anche altri sotto-codici dell'indice FWI, che vengono utilizzati come indicatori dell'umidità del combustibile, indicano un forte impatto dei cambiamenti climatici sullo stato idrico della vegetazione (Herrera et al. 2013; Bedia et al. 2013; Pellizzaro et al. 2014). È altamente probabile che la stagione degli incendi si allunghi, soprattutto nel centro-sud Italia. Potenziali problemi di stress idrico o disseccamento possono influire sull'infiammabilità della vegetazione, che sarà quindi più suscettibile agli incendi di chioma e a sostenere incendi di grande intensità (Navarra and Tubiana 2013; Kovats et al. 2014). I lavori scientifici convergono su un aumento potenziale delle superfici percorse, delle emissioni di gas serra (Kovats et al. 2014; Bacciu et al. 2015) e dei crescenti pericoli nelle aree di interfaccia urbano-rurale e urbano-forestale, qualora non gestite in modo adeguato (Kalabokidis et al. 2015; Mitsopoulos et al. 2015; Salis et al. 2016). Questo quadro generale si traduce anche in significative ripercussioni sul recupero post-incendio della vegetazione arbustiva e forestale e sulla biodiversità, e potrebbe potenzialmente provocare un arretramento degli areali di diverse specie e uno spostamento verso nord e verso le aree montane di tipologie forestali più resistenti agli incendi (Moreira et al. 2011; Brotons et al. 2013; Kovats et al. 2014; Pellizzaro et al. 2014).

Di seguito è riportato un quadro della potenziale pericolosità di incendio (calcolata attraverso l'indice FWI) in termini di anomalie medie stagionali. Nello specifico è stato considerato il periodo di riferimento (1981-2010) e il trentennio futuro 2021-2050, secondo i due scenari di concentrazione di gas climalteranti RCP4.5 e RCP8.5 (IPCC, 2013) e sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione. Le stagioni sono indicate con la seguente nomenclatura: DJF per indicare l'inverno (*December-January-February*), MAM per indicare la primavera (*March-April-May*), JJA per indicare l'estate (*June-July-August*), e SON per indicare l'autunno (*September-October-November*).

Il valore medio annuo di FWI per il trentennio di riferimento oscilla fra 0.08 e 10.15, con un incremento fino a 10.43 e 10.93 (RCP4.5 e RCP8.5, rispettivamente) registrati nella macroregione climatica 6 (aree insulari ed estremo sud dell'Italia).

Le proiezioni di FWI secondo lo scenario RCP 4.5 indicano un generale aumento dei valori dell'indice FWI, specialmente per il periodo primaverile ed estivo, ma con un'interessante dicotomia fra nord e sud del paese (Figura 1-34). Infatti in primavera le regioni più interessate da questo aumento sono la Sardegna e la Puglia (macroregione 6, cluster delle anomalie C e D) e l'area antistante il Golfo di Taranto (macroregione 2, cluster delle anomalie C), seguite poi da Sicilia, zone centro-occidentali e nord occidentali (in particolare, Prealpi, bassa e alta pianura Padana - macroregione 1, cluster delle anomalie A). In estate, invece, l'aumento dei valori FWI è più marcato proprio in queste aree della macroregione 1 e nel centro Italia (che ricade principalmente nel cluster delle anomalie D). In particolare nella zona nord occidentali la media estiva di FWI è di 8.7 rispetto a 7.4 del periodo di riferimento 1981-2010, con un aumento medio del 37%. Questi trend rispecchiano sia l'importante incremento estivo delle temperature nel nord-ovest sia la riduzione delle precipitazioni primaverili ed estive. L'autunno è invece caratterizzato da una diminuzione, seppur lieve dei valori di FWI specialmente al sud, a causa dell'aumento fino al 60% delle precipitazioni in alcune aree del meridione.

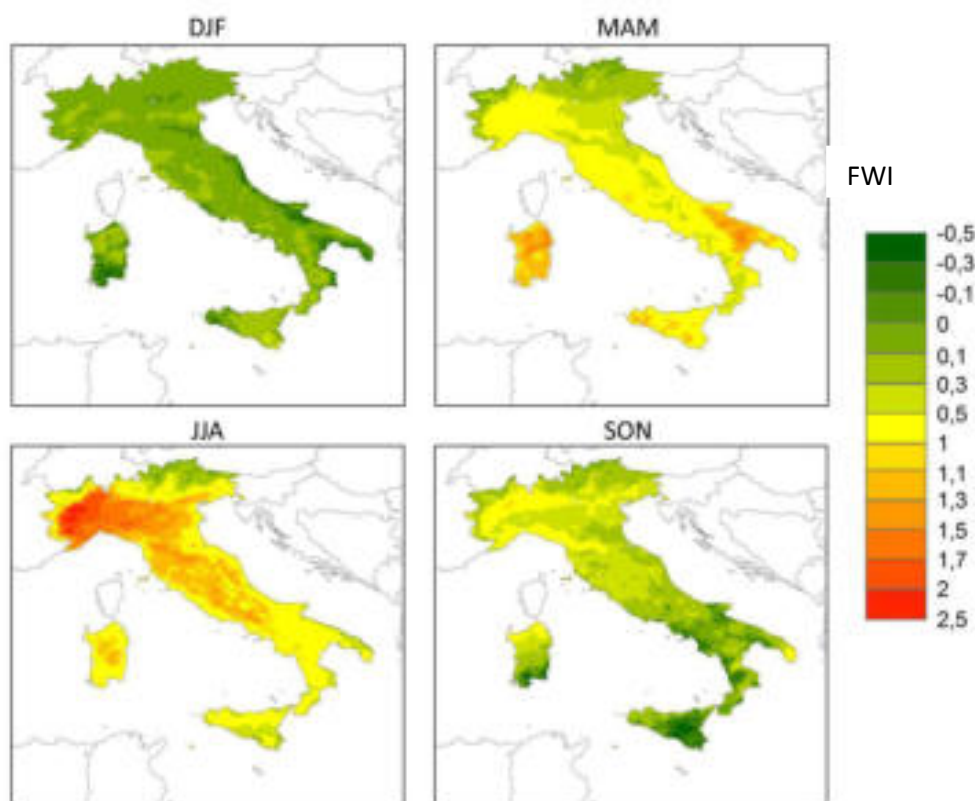


Figura 1-34: Differenza fra il valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 2021-2050 rispetto allo stesso valore per il periodo di riferimento 1981-2010, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione, per lo scenario RCP4.5.

Sulla base dello scenario RCP 8.5, il potenziale incremento dei valori medi stagionali rispetto al periodo di riferimento si osserva soprattutto durante il periodo primaverile e specialmente nel sud del paese (Puglia e Basilicata, Sicilia e versanti meridionali e orientali della Sardegna – macroregioni 6 e 2 e cluster delle anomalie C e D) (Figura 1-35). Per questa stagione i modelli climatici proiettano infatti una diminuzione delle precipitazioni sul Sud Italia fino al 40%. Tale andamento si riflette sui valori medi primaverili di FWI con un aumento di circa il 32% rispetto al periodo di riferimento 1981-2010. Durante il periodo estivo, l'incremento dei valori di FWI è meno marcato rispetto a quanto viene proiettato per lo scenario RCP4.5 e si concentra specialmente nelle Prealpi nord occidentali che ricadono nella macroregione 1 e cluster delle anomalie E. Anche questo trend sembra rispecchiare le proiezioni climatiche che sottolineano un accentuato aumento delle precipitazioni in Puglia (oltre 60%) e in alcune aree della Sardegna, e una riduzione altrove.

Il valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 1981-2010 e la variazione percentuale stagionale al 2021-2050 sono riportati in Tabella 1-28 suddivisi per macroregioni climatiche omogenee e scenari RCP 4.5 e 8.5. La variazione percentuale è stata espressa adottando un segno grafico che possa intuitivamente restituire la direzione e magnitudo della variazione fra periodo futuro e periodo di riferimento. L'analisi sottolinea che, in termini percentuali, seppur con le importanti variazioni stagionali, l'incremento sarà principalmente avvertito nelle macroregioni climatiche 4 (Area alpina) e 5 (Area dell'Italia settentrionale).

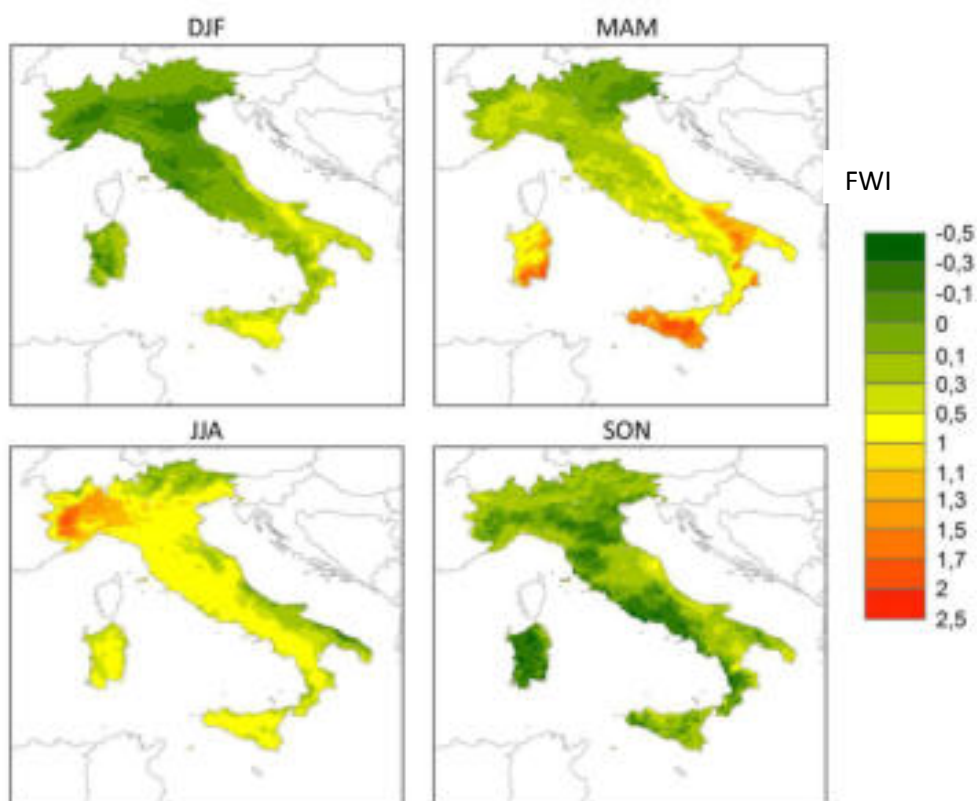


Figura 1-35: Differenza fra il valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 2021-2050 rispetto allo stesso valore per il periodo di riferimento 1981-2010, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione, per lo scenario RCP8.5.

Tabella 1-28: Valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 1981-2010 e variazione percentuale al 2021-2050, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione, per macroregioni climatiche omogenee negli scenari RCP 4.5 e 8.5⁶².

		Macroregioni					
		1	2	3	4	5	6
1981-2010	DJF	0.45	1.03	0.46	0.07	0.16	1.79
	MAM	1.69	2.90	1.69	0.19	0.59	3.80
	JJA	7.37	10.59	9.42	1.20	3.74	12.86
	SON	4.19	5.87	5.06	0.82	2.02	7.09
		0-10% 10-20% 20-30% 30-50% 50-100% >100%					
		4.5 – 8.5 4.5 – 8.5 4.5 – 8.5 4.5 – 8.5 4.5 – 8.5 4.5 – 8.5					
2021-2050	DJF	 	 	 	 	 	 
	MAM	 	 	 	 	 	 
	JJA	 	 	 	 	 	 
	SON	 	 	 	 	 	 

Macroregione 1: Prealpi e Appennino settentrionale; Macroregione 2: pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale; Macroregione 3: Appennino centro-meridionale; Macroregione 4: area alpina; Macroregione 5: Italia settentrionale; Macroregione 6: aree insulari ed estremo sud dell'Italia

Sintesi degli impatti attesi per le produzioni vegetali e animali nelle macroregioni climatiche identificate

La Tabella 1-29 riassume i principali impatti attesi dei cambiamenti climatici per ciascuna macroregione climatica omogenea nel periodo 2021-2050, evidenziando possibili opportunità e rischi.

⁶² La variazione media percentuale è espressa attraverso i colori e le direzioni delle frecce.

Tabella 1-29: Principali impatti attesi per le 6 macroregioni climatiche per il periodo 2021-2050 con gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

Macroregioni climatiche	Impatti attesi per il 2021-2050 RCP 4.5	Impatti attesi per il 2021-2050 RCP 8.5
Macroregione 1	• Probabile incremento (>50%) delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione dei boschi di abete rosso, di larice e cembro, di pino silvestre e montano, di abete bianco, dei boschi a rovere e farnia • Riduzione delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione delle faggete, delle cerrete e boschi di roverella, delle pinete di pino nero e dei pini mediterranei • Incremento delle aree con condizioni potenziali per i castagneti • Incremento delle aree vocate ad ospitare la vegetazione sclerofilla sempreverde • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo primaverile (+37%)	• Probabile incremento delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione dei boschi di abete rosso, di larice e cembro, di abete bianco di pino silvestre e montano, dei boschi a rovere e farnia • Riduzione marcata delle aree caratterizzate dalla presenza di condizioni potenzialmente ideali per la diffusione delle faggete e, in misura minore, delle cerrete e boschi di roverella, delle pinete di pino nero e delle pinete di pini mediterranei (pino d'Aleppo e pino marittimo). • Incremento delle aree con condizioni potenziali per i castagneti • Incremento delle aree vocate ad ospitare la vegetazione sclerofilla sempreverde • Probabile aumento della biodiversità • Possibile decremento della pericolosità di incendi boschivi nel periodo invernale e incremento nel periodo primaverile ed estivo (+14/15%)
Macroregione 2	• Leggero incremento per i castagneti e i boschi a rovere e farnia • Incremento delle aree vocate ad ospitare i boschi di larice e abete rosso. • Incremento delle aree vocate ad ospitare la vegetazione sclerofilla sempreverde • Contrazione delle aree vocate ad ospitare le pinete di pini mediterranei, di pino nero e le faggete • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo primaverile (+27%)	• Contrazione delle aree con condizioni potenziali per pinete di pini mediterranei, di pino silvestre e montano e di pino nero, così come per le faggete • Leggera contrazione dei castagneti e dei boschi a rovere e farnia, e in maniera più consistente delle cerrete e boschi di roverella • Incremento delle aree vocate ad ospitare i boschi di larice e abete rosso. • Incremento delle aree vocate ad ospitare la vegetazione sclerofilla sempreverde • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo primaverile (+17%)
Macroregione 3	• Incremento delle aree potenzialmente ideali per rovere e farnia, abete bianco e, in misura più contenuta, anche pino nero, pino silvestre e montano, larice e cembro e della vegetazione sclerofilla sempreverde • Contrazione delle aree potenzialmente ideali per le faggete, per le pinete di pini mediterranei e, in misura minore, dei castagneti, delle cerrete e dei boschi di roverella • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo primaverile (+43%) seguito da quello invernale (+26%)	• Contrazione delle aree potenzialmente ideali per pino d'Aleppo e marittimo, faggete, cerrete e boschi di roverella e castagneti • Probabile incremento di rovere e farnia, abete bianco, della vegetazione sclerofilla sempreverde e, in misura più contenuta, anche pino nero, pino silvestre e montano, larice e cembro • Possibile perdita locale di biodiversità • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo invernale e primaverile (+22 e 32%)

Tabella 1-29: Continua

Macroregioni climatiche	Impatti attesi per il 2021-2050 RCP 4.5	Impatti attesi per il 2021-2050 RCP 8.5
Macroregione 4	• Probabile aumento delle condizioni ideali per quasi tutte le specie, compreso faggio, cerro e roverella • Possibili criticità per pinete di pino nero e castagneti • Aumento della biodiversità • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi durante tutto l'anno (da 30 a 36%) e specialmente nel periodo primaverile	• Probabile aumento delle condizioni ideali per quasi tutte le specie, compreso faggio • Possibili criticità per pinete di pino nero, castagneti, cerrete e boschi di roverella • Aumento della biodiversità • Possibile generale aumento della pericolosità di incendi boschivi durante tutto l'anno con maggior incremento nel periodo primaverile (+32%)
Macroregione 5	• Possibile aumento delle condizioni ideali per quasi tutte le specie, tranne cerro, roverella e vegetazione sclerofilla sempreverde • Leggero aumento delle superfici potenzialmente ideali per il faggio • Aumento della biodiversità • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo primaverile (>50%)	• Possibile aumento delle condizioni ideali per quasi tutte le specie, tranne faggio, cerro, roverella e vegetazione sclerofilla sempreverde • Leggera diminuzione delle superfici potenzialmente ideali per il faggio • Aumento della biodiversità • Possibile generale aumento della pericolosità di incendi boschivi durante tutto l'anno tranne nel periodo invernale
Macroregione 6	• Contrazione degli areali potenziali di tutte le formazioni forestali ad eccezione del pino d'Aleppo e marittimo • Possibile incremento degli areali potenziali per la vegetazione sclerofilla • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo primaverile (+28%)	• Forte contrazione degli areali potenziali di tutte le formazioni forestali ad eccezione del pino d'Aleppo e marittimo • Possibile incremento degli areali potenziali per la vegetazione sclerofilla • Possibile incremento della pericolosità di incendi boschivi specialmente nel periodo primaverile (+32%)

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI

Gli effetti dei cambiamenti climatici sulle foreste sono strettamente collegati anche ad altri settori, con effetti a cascata sul dissesto idrogeologico e degrado del territorio, sul turismo fino a ripercussioni sulla salute umana.

Il ruolo della vegetazione forestale nella regimazione dei deflussi superficiali e nel contrastare i fenomeni di erosione e dissesto, soprattutto nel contesto attuale dei cambiamenti climatici, è ormai ampiamente riconosciuto (Alila et al. 2009; Preti et al. 2011; Hümann et al. 2011). L'intercettazione delle acque superficiali da parte dell'apparato vegetale, l'evapotraspirazione e la maggiore infiltrazione comportano una significativa riduzione nella concentrazione dei deflussi e una generale riduzione delle velocità di scorrimento superficiale con conseguente riduzione dei fenomeni di trasporto solido e di dissesto idrogeologico in generale. Tuttavia, l'efficienza funzionale della capacità protettiva della vegetazione è intimamente legata alla gestione ottimale del bosco. A tal proposito, sono infatti 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 e incentivano una gestione attiva della vegetazione e del bosco specificatamente indirizzata alla riduzione del dissesto idrogeologico e alla prevenzione e gestione dei rischi.

Il cambiamento climatico, attraverso l'insorgenza di eventi particolarmente estremi, come incendi, inondazioni e forti venti, può comportare la perdita totale o parziale della copertura forestale con impatti significativi sulla stabilità dei suoli e dei versanti. Le conseguenze della perdita del soprassuolo vegetale, che ha una funzione di protezione dalle piogge intense, soprattutto in aree a forte pendenza topografica, si manifestano spesso con una intensificazione dei fenomeni erosivi e di dissesto idro-geologico. Anche gli incendi in particolare inducono un rilevante rischio di innescare processi idrologici, come l'erosione idrica superficiale e il trasporto dei sedimenti (e.g. Andreu et al. 2001; Parise and Cannon 2011; Moody et al. 2013). La produzione di sedimento fine e grossolano a seguito di incendi influisce inoltre sulle dinamiche idromorfologiche degli alvei fluviali che, a loro volta, influenzano gli habitat fluviali. Inoltre gli incendi possono avere degli impatti significativi sullo strato organico del suolo, soprattutto quando si caratterizzano da intensità lineari molto elevate o tempi di residenza lunghi. In queste situazioni, gli incendi determinano forti alterazioni che incidono negativamente sulle proprietà chimiche, fisiche e biologiche dei suoli (Rulli et al. 2013). Tra le più importanti, si ricordano la notevole perdita della componente organica e azotata del suolo, l'immediata disponibilità di elementi nutritivi quali Ca, Mg, P, K, l'aumento del pH, la forte riduzione della plasticità e del potere cementante, la formazione di uno strato idrorepellente, la morte dei micro-organismi del suolo.

Un ulteriore rischio connesso agli effetti dei cambiamenti climatici sulle foreste è quello di ripercussioni negative sul comparto ricreazionale e turistico. Le ricadute negative sui flussi turistici e sulle economie locali sono infatti maggiori in aree esposte a eventi catastrofici, incendi boschivi o nelle quali ci siano state situazioni che hanno portato a perdite di vite umane e beni antropici. È pertanto fondamentale che si lavori a rafforzare la sicurezza e l'autoprotezione delle aree a maggiore presenza turistica dai maggiori rischi correlati al cambiamento climatico (es. rischio incendi, fitopatie, etc.).

La perdita del patrimonio forestale, potrebbe comportare degli effetti negativi anche a livello della salute, venendo meno una delle più importanti funzioni dei nostri boschi di purificazione e mantenimento della qualità dell'aria. Inoltre al verificarsi di condizioni di maggiore rischio di incendi per il futuro, l'aumento del numero di eventi e delle superfici percorse potrebbero influire negativamente sia sul budget atmosferico a livello locale e regionale, sia sulle condizioni generali della qualità dell'aria a causa dell'aumento di concentrazione di monossido e diossido di carbonio e di particolati legati alle emissioni della combustione (Bacciu et al. 2015), sia con impatti più diretti come intossicazioni, ustioni, e morti. Inoltre, la qualità delle acque potrebbe essere intaccata dalla maggiore frequenza di incendi in grado di interessare superfici più estese.

NORMATIVE, PIANI E PROGRAMMI ESISTENTI PER L'ADATTAMENTO

Le normative, i piani e i programmi esistenti per l'adattamento del settore forestale ai cambiamenti climatici sono intimamente correlati ai criteri di Gestione Forestale Sostenibile (GFS) concordati nel processo intergovernativo pan-europeo MCPFE - Conferenze Ministeriali sulla Protezione delle Foreste in Europa, oggi denominato Forest Europe⁶³, e richiamati in tutti i principali strumenti internazionali che affrontano le tematiche ambientali connesse allo sviluppo sostenibile, quali la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), la Convenzione sulla biodiversità (CBD) e la Convenzione per la lotta alla desertificazione (UNCCD), che riconoscono alle foreste un ruolo di fondamentale importanza nel contesto dei cambiamenti climatici.

Il processo pan-europeo Forest Europe (ex MCPFE)

I criteri di Gestione Forestale Sostenibile (GFS) sono definiti a livello europeo dal processo intergovernativo pan-europeo oggi denominato Forest Europe, e precedentemente noto come "Conferenze Ministeriali per la Protezione delle Foreste in Europa" (MCPFE)⁶⁴, che rappresenta il più importante anello di congiunzione tra le politiche forestali internazionali e quelle UE e nazionali. Si tratta di un processo volontario ma di alto livello che coinvolge 46 Paesi europei firmatari e numerose organizzazioni internazionali attive per le foreste nonché la Commissione europea. L'ultimo report "State of Europe's Forests 2015"⁶⁵ riporta le informazioni sullo stato delle foreste europee e sui trend attesi, come base per la politica di sviluppo del settore e come piattaforma di discussione sulle future sfide e opportunità a cui le foreste sono sottoposte, soprattutto nel contesto dei cambiamenti climatici.

I criteri e gli indicatori della gestione forestale sostenibile individuati dal processo Forest Europe e riportati nel 4° report "State of Europe's Forests 2015"⁶⁶, rappresentano uno strumento utile e necessario per garantire e monitorare lo stato e l'evoluzione delle foreste, con particolare riguardo all'adattamento al cambiamento climatico.

La Politica Agricola Comune 2014-2020: il Greening e i Programmi di Sviluppo Rurale

Il principale strumento operativo per il finanziamento di azioni per il settore forestale è rappresentato dalla Politica Agricola Comunitaria. In particolare, gli interventi per il settore forestale proposti dal Regolamento UE n. 1305/2013 mirano a incentivare la gestione pianificata e sostenibile delle risorse al fine di mitigare il cambiamento climatico, migliorare le capacità ambientali dei territori e aumentare la resilienza e la capacità di adattamento degli ecosistemi ai relativi impatti provocati dai cambiamenti climatici. La nuova programmazione della PAC per il periodo 2014-2020 riserva una maggiore importanza alle misure climatico-ambientali, con l'obiettivo di promuovere la sostenibilità e combattere i cambiamenti climatici, attraverso misure specifiche indirizzate alla mitigazione, all'adattamento, alla conservazione della biodiversità, del suolo e delle acque.

Tra le misure previste dal "primo pilastro" della PAC, il *Greening* riveste un ruolo particolarmente importante per il settore forestale nel contesto dell'adattamento ai cambiamenti climatici. Il *Greening*

⁶³ http://www.foresteuropa.org/ministerial_conferences/helsinki1993

⁶⁴ http://www.foresteuropa.org/ministerial_conferences/helsinki1993

⁶⁵ <http://www.foresteuropa.org/docs/fullsoef2015.pdf>

⁶⁶ Criterio 1 - Mantenimento e appropriato miglioramento delle risorse forestali e loro contributo al ciclo globale del carbonio

Criterio 2 - Mantenimento della salute e vitalità degli ecosistemi forestali

Criterio 3 - Mantenimento e sviluppo delle funzioni produttive nella gestione forestale (prodotti legnosi e non legnosi)

Criterio 4 - Mantenimento, conservazione e appropriato miglioramento della diversità biologica negli ecosistemi forestali

Criterio 5 - Mantenimento e appropriato miglioramento delle funzioni protettive nella gestione forestale, con specifica attenzione alla difesa del suolo e alla regimazione delle acque

Criterio 6 - Mantenimento delle altre funzioni e delle condizioni e socio-economiche

prevede infatti un sostegno economico con pagamento diretto in particolare per le aziende agricole che si impegnano ad effettuare pratiche agricole migliorative per il clima e l'ambiente, tra cui il mantenimento o la creazione di aree di interesse ecologico (Ecological Focus Area – EFA). In tali aree, di particolare interesse per il settore forestale, possono essere realizzate zone di ripopolamento per la fauna selvatica, filari alberati, fasce tampone e superfici agroforestali con boschetti che aumentano il livello di biodiversità, la fissazione del carbonio e la protezione del suolo.

Il "secondo pilastro" della PAC, rappresentato dai programmi di sviluppo rurale (PSR), è finanziato dal Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR) con una dotazione di cento miliardi di euro per i 28 stati membri per il periodo 2014-2020 e con una quota pari a più di 10 miliardi di euro per l'Italia e risponde agli obiettivi strategici a lungo termine degli Stati membri. Nell'ambito del PSR, le regioni elaborano i rispettivi programmi di sviluppo rurale in funzione dei bisogni dei loro territori e tenendo conto delle seguenti sei priorità comuni dell'UE in materia di sviluppo rurale:

- promuovere il trasferimento di conoscenze e l'innovazione nel settore agricolo e forestale e nelle zone rurali;
- potenziare la redditività e la competitività di tutti i tipi di agricoltura e promuovere tecnologie innovative per le aziende agricole e una gestione sostenibile delle foreste;
- favorire l'organizzazione della filiera alimentare, il benessere degli animali e la gestione dei rischi nel settore agricolo;
- preservare, ripristinare e valorizzare gli ecosistemi relativi all'agricoltura e alle foreste;
- incoraggiare l'uso efficiente delle risorse e il passaggio a un'economia a basse emissioni di CO₂ e resiliente al clima nel settore agroalimentare e forestale;
- promuovere l'inclusione sociale, la riduzione della povertà e lo sviluppo economico nelle zone rurali.

Le azioni e gli interventi a favore del settore forestale, potenzialmente attivabili sul territorio nazionale dai singoli PSR regionali nell'ambito delle Misure previste dal Reg. UE n. 1305/2013, trovano nella gestione e tutela attiva del patrimonio forestale la via principale per favorire l'adattamento ai cambiamenti climatici (Tabella 1-30).

Tabella 1-30: Principali misure attinenti al settore forestale del Piano di Sviluppo Rurale 2014-2020.

	Articoli del Reg. UE n 1305/2013
Misure forestali	
Investimenti nello sviluppo delle aree forestali e nel miglioramento della redditività delle foreste	Mis. 8 (Art. 21)
Sostegno alla forestazione e all'imboschimento	Mis. 8.1 (Art. 22)
Sostegno per l'impianto e il mantenimento di sistemi agroforestali	Mis. 8.2 (Art. 23)
Sostegno alla prevenzione dei danni arrecati alle foreste da incendi, calamità naturali ed eventi catastrofici	Mis. 8.3 (Art. 24)
Sostegno al ripristino dei danni arrecati alle foreste da incendi, calamità naturali ed eventi catastrofici	Mis. 8.4 (Art. 24)
Aiuti agli investimenti destinati ad accrescere la resilienza e il pregio ambientale degli ecosistemi forestali	Mis. 8.5 (Art. 25)
Sostegno agli investimenti in tecnologie silvicole e nella trasformazione, mobilitazione e commercializzazione dei prodotti delle foreste	Mis. 8.6 (Art. 26)
Altre misure forestali	
Indennità Natura 2000 e indennità connesse alla direttiva quadro sull'acqua	Mis. 12 (Art. 30)
Servizi silvo-climatici ambientali e salvaguardia delle foreste	Mis. 15 (Art. 34)
Altre Misure di interesse forestale	
Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione	Mis. 1 (Art. 14)
Servizi di consulenza, di sostituzione e di assistenza alla gestione delle aziende agricole	Mis. 2 (Art. 15)
Investimenti in immobilizzazioni materiali	Mis. 4 (Art. 17)
Sviluppo delle aziende agricole e delle imprese	Mis. 6 (Art. 19)
Servizi di base e rinnovamento dei villaggi nelle zone rurali	Mis. 7 (Art. 20)
Costituzione di associazioni e organizzazioni di produttori	Mis. 9 (Art. 27)
Cooperazione	Mis. 16 (Art. 35)

Il quadro normativo nazionale

L'impegno del nostro Paese alla gestione sostenibile delle risorse forestali è sancito dal D.Lgs. 18 maggio 2001, n. 227 "Orientamento e modernizzazione del settore forestale", che detta le norme quadro per il settore. 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. Anche sotto il profilo dell'antincendio boschivo con la Legge 353/2000, 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.

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.

Inoltre, il D.Lgs. 227/2001 attribuisce alle Regioni il compito di definire linee di tutela, conservazione e valorizzazione del settore forestale attraverso la predisposizione (o revisione) di 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 criteri di Gestione Forestale Sostenibile (GFS) concordati nel processo intergovernativo pan-europeo MCPFE - Conferenze Ministeriali sulla Protezione delle Foreste in Europa, oggi denominato Forest Europe⁶⁷, e sottoscritti dal nostro paese. La GFS è un elemento fondamentale richiamato anche in altri strumenti internazionali che affrontano le tematiche ambientali connesse allo sviluppo sostenibile, quali la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), la Convenzione sulla biodiversità (CBD) e la Convenzione per la lotta alla desertificazione (UNCCD), che riconoscono alle foreste un ruolo di fondamentale importanza nel contesto dei cambiamenti climatici.

⁶⁷ http://www.foresteurope.org/ministerial_conferences/helsinki1993

Tabella 1-31: Contesto normativo per il settore forestale a livello regionale.

REGIONI	Legge forestale	Programmazione Forestale	Piano Anti Incendio Boschivo
Piemonte	l.r. n. 4 del 2009.	-	Reg - D.G.R. n. 35-2152 del 2011
Valle d'Aosta	In itinere Testo Quadro di settore	l. r. n. 3/2010 e LR 67/1992	D.P.G n.465 del 2006
Lombardia	l.r. n. 31 del 2008	Linee guida di politica forestale regionale D.G.R. n. 5410 del 2001	D.G.R. n. 3949 del 2006 aggiornato con D.G.R. N. X/967 del 2013
P.A. di Bolzano	l.p. n. 21 del 1996	In Itinere	Carta Infrastrutture antincendio in scala 1:10.000
P.A. di Trento	l.p. n. 11 del 2007	Delibera 2792 del 20 novembre 2009	Delibera 2618 del 19/11/2010
Veneto	l.r., n. 52 del 1978; modificato dalla l.r. n. 5 del 2005	D.G.R. n. 3604 del 2006	D.C.R. n. 43 del 1999
Friuli V. Giulia	l.r. n. 9 del 2007	D.G.R. n. 3604 del 2006	D.G.R n. 3604 del 2006
Liguria	l.r. n. 4 del 1999	D.C.R. n. 17 del 2007	D.G.R. n. 1402 del 2002 Aggiornato con D.G.R. n. 1526 del 2006 e D.G.R. n. 461 del 2008
Emilia Romagna	l.r. n. 30 del 1981	Del. A.L n. 90 del 2006	Del. A.L. 114 del 2007
Toscana	l.r. n. 39 del 2000	Delib.C.R. n. 3 del 24 Gen. 2012	D.G.R.50 del 2014
Umbria	l.r. n. 28 del 2001	D.C.R. n. 652 del 1999	D.G.R. n. 1040 del 2006 Primo Piano adeguato alla l. 353 del 2000 approvato con DGR n. 808 del 2002
Marche	l.r. n. 6 del 2005	D.A. N. 114/2009, Piano forestale regionale	D.G.R. n. 1462 del 2001
Lazio	l.r. n. 39 del 2002	DGR n. 666 del 3 agosto 2007 e DGR n. 126 del 2005	D.G.R. n. 627 del 2005
Abruzzo	l.r. n.. 28 del 1994 e s.m.i	Linee guida	-
Molise	l.r. n. 6 del 2000	D.C.R. n. 285 del 2003	D.G.R. n. 728 del 2004
Campania	L.R. n. 11/96 e ss.mm.ii modificata dalla L.R. n. 14/06	PFG 2009/2013 approvato con DGR n°44 del 28/01/2010 prorogato con DGR n° 587 del 17/12/2013	Piano AIB approvato con DGR n° 299 del 05/08/2013
Puglia	l.r. n. 12 del 2012	D.G.R. 450 del 2010 proroga linee guida – D. G. R. 2485 del 2013 presa d'atto studio forestale	D.G.R. 674/2012
Basilicata	l.r. n. 42 del 1998 modificata dalla l.r. n. 11 del 2004	D.G.R. n. 956 del 2004. dCR n. 137 del 2006	Piano triennale antincendio + Piano annuale attuativo
Calabria	l.r. n. 45 del 2012	D.G.R. n. 701 del 2011	D.G.R. n. 211 del 2013
Sicilia	l.r. n. 16 del 1996 modificata dalla l.r. n. 14 del 2006	Piano Forestale Regionale 2009/2013 approvato con D.P. 158/5.6/S.G del 10 aprile 2012	Piano Regionale Antincendio Boschivo apprezzato con delibera di giunta 242 del 13.07.2012 redatto in base della L.R. 16/96
Sardegna	l.r. n.8 del 27/04/2016	D.G.R. n. 53/9 del 2007 D.G.R. n. 53/14 2008 Avvio della Pianificazione Forestale Territoriale	Piano regionale di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2014-2016. Aggiornamento 2016. D.G.R n. 33/22 del 2016

In conclusione, il complessivo quadro normativo in materia di boschi e foreste, costituito dalle norme regionali e nazionali, recepisce le indicazioni fornite dalla Strategia Forestale Europea (COM(2013)0659), e riconosce nella gestione attiva del patrimonio forestale il principale strumento operativo per la salvaguardia dei boschi, la valorizzazione del settore forestale e l'adattamento al cambiamento climatico tutelando l'insieme di servizi ecosistemici che le foreste offrono quali: biodiversità, tutela dell'assetto idrogeologico, produzione di energia rinnovabile, lotta al cambiamento climatico e sviluppo socioeconomico delle aree montane e rurali del Paese attraverso occupazione e turismo.

Programma Quadro per il Settore Forestale

Il Programma Quadro per il Settore Forestale (PQSF-2009) costituisce il quadro strategico nazionale di riferimento, indirizzo e coordinamento per il settore forestale, con validità decennale. Il PQSF, proposto dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali (MIPAF) e dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM) alla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano, è stato redatto nel rispetto delle competenze istituzionali e sulla base degli strumenti di pianificazione regionale esistenti sulla base di quanto previsto dal D.lgs n. 227/2001, le successive Linee Guida in materia forestale⁶⁸, e in aderenza alla Strategia forestale e al Piano d'Azione per le foreste dell'UE.

L'obiettivo del PQSF è quello di incentivare la gestione forestale sostenibile al fine di garantire la valorizzazione e la tutela della risorsa forestale italiana e del territorio in generale, contenere il cambiamento climatico, attivando e rafforzando la filiera forestale dalla sua base produttiva e garantendo, nel lungo termine, la multifunzionalità e la diversità delle risorse forestali.

A tale scopo, Il PQSF definisce quattro Obiettivi prioritari nazionali a cui corrispondono delle specifiche Azioni Chiave (Tabella 1-32) da attuare sulla base delle caratteristiche territoriali, ecologiche e socio economiche del territorio, attraverso il sostegno finanziario nelle risorse messe a disposizione dai Fondi comunitari e, in particolare, dal Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR).

Tabella 1-32: Obiettivi prioritari nazionali e rispettive Azioni Chiave del Programma Quadro per il Settore Forestale.

OBIETTIVO	AZIONI CHIAVE del PQSF
A. SVILUPPARE UN'ECONOMIA FORESTALE EFFICIENTE E INNOVATIVA	A.1. Incrementare la gestione attiva e pianificata, con forme sostenibili, valorizzando anche le aree marginali e a macchiatico negativo
	A.2. Incentivare la creazione e lo sviluppo della filiera foresta-legno valorizzando l'efficienza nelle e tra le differenti fasi, dall'utilizzazione alla trasformazione e l'accordo tra gli attori pubblici e privati della filiera nonché le reti d'impresa
	A.3. Stimolare la ricerca applicata e lo sviluppo tecnologico nel settore
	A.4. Incentivare la diversificazione dei beni e dei servizi della filiera forestale diversi dal legno
	A.5. Promuovere e ottimizzare la produzione e l'utilizzo sostenibile delle biomasse forestali
	A.6. Promuovere forme di gestione innovative nella cooperazione tra proprietari dei boschi e operatori del settore
	A.7. Incentivare la formazione e l'informazione in ambito forestale, su gestione, ambiente, controllo e sicurezza, marketing
	A.8. Migliorare la qualità dei prodotti forestali nazionali, legnosi e non, e incentivarne l'impiego
B. TUTELARE IL TERRITORIO E L'AMBIENTE	B.1. Salvaguardare l'integrità territoriale, la superficie, la struttura e la salute del patrimonio forestale nazionale
	B.2. Contribuire alla mitigazione e adattamenti agli effetti dei cambiamenti climatici, migliorando il contributo forestale al ciclo del carbonio
	B.3. Tutelare la diversità biologica degli ecosistemi forestali e valorizzarne la connettività ecologica
	B.4. Tutelare la diversità e complessità paesaggistica
	B.5. Mantenere e valorizzare la funzione di difesa delle formazioni forestali, in particolare per assetto idrogeologico e tutela acque

⁶⁸ Decreto Ministeriale 16 giugno 2005 (GU N. 255 del 2 novembre 2005)

	B.6. Ricostituire il potenziale forestale danneggiato da disastri naturali, fitopatie e incendi, promuovere azioni di monitoraggio e prevenzione coordinati e continui e attività di sorveglianza delle foreste
C. GARANTIRE LE PRESTAZIONI D'INTERESSE PUBBLICO E SOCIALE	C.1. Promuovere e divulgare l'educazione e la formazione al rispetto degli ecosistemi forestali, promuovendo una nuova cultura forestale
	C.2. Favorire l'uso ricreativo responsabile e il turismo sostenibile delle foreste
	C.3. Mantenere e valorizzare i boschi urbani, periurbani e di pianura
	C.4. Valorizzare e riconoscere i servizi di interesse pubblico e sociale forniti dalla corretta gestione forestale
D. FAVORIRE IL COORDINAMENTO E LA COMUNICAZIONE	D.1. Incentivare e promuovere, tra le Istituzioni competenti in materia, il coordinamento, lo scambio di informazione
	D.2. Migliorare lo scambio di informazioni e la comunicazione diffondendo e trasferendo esperienze, buone prassi e innovazioni
	D.3. Promuovere il coordinamento della ricerca in ambito forestale
	D.4. Incentivare la partecipazione pubblica e sociale nella formulazione di politiche, strategie e programmi
	D.5. Incentivare l'armonizzazione delle informazioni e delle statistiche del settore forestale
	D.6. Promuovere l'armonizzazione della normativa e degli atti di programmazione in ambito forestale e ambientale per la semplificazione delle procedure
	D.7. Sensibilizzare la società sul ruolo della gestione attiva in foresta come strumento di tutela e sviluppo

Le azioni di adattamento al cambiamento climatico ad oggi attuate coprono in parte alcuni servizi ecosistemici che le foreste offrono e non sono completamente armonizzate nell'ottica di una politica nazionale di adattamento che permetta di conservare la funzionalità delle foreste italiane.

Gli interventi di adattamento proposti nel presente Piano si individuano nell'ambito dei principi di Gestione Forestale Sostenibile (Forest Europe, 2015), richiamati anche dal Programma quadro nazionale per il settore forestale (PQSF), e mirano in generale alla gestione sostenibile delle foreste e della rete di aree sottoposte a regime di tutela, al fine di aumentare la capacità di adattamento dei boschi al cambiamento climatico e migliorarne la stabilità nei confronti di eventi atmosferici estremi, incendi e attacco di parassiti, favorendo in linea generale la loro funzione di sequestro di carbonio e di difesa idrogeologica. La gestione attiva e multifunzionale della foresta, indicata dal PQSF e attuata in Italia attraverso le politiche forestali di sviluppo rurale regionali, può rappresentare uno strumento idoneo per valorizzare la capacità di rispondere in tempi medio lunghi alle problematiche dei cambiamenti climatici favorendo azioni di adattamento per il settore forestale.

UOMO (ATTIVITÀ ANTROPICHE)

AGRICOLTURA E PRODUZIONE ALIMENTARE

SINTESI

Le variazioni climatiche attese per le prossime decadi influenzeranno fortemente lo sviluppo del settore agricolo e le sue dinamiche produttive, soprattutto in areali altamente vulnerabili come quello mediterraneo (Bindi and Olesen 2010). Nello specifico, gli agrosistemi saranno soggetti a variazioni in termini di durata del ciclo fenologico, produttività e potenziale spostamento degli areali di coltivazione tipici (verso nord e quote più elevate), con risposte differenti in intensità e segnale a seconda della specie e delle aree geografiche di riferimento (Moriondo et al. 2013a) (Moriondo et al. 2013b). In generale, le colture risentiranno dell'incremento di temperatura riducendo la lunghezza del ciclo di crescita con conseguente minore accumulo di biomassa e quindi riduzione della resa (Lobell and Field 2007) (Lobell et al. 2011). Le maggiori riduzioni di resa sono previste per le colture a ciclo primaverile-estivo (mais, girasole, soia), specialmente quelle non irrigate come il girasole. Tuttavia, colture classificate come C3, come ad esempio il frumento, il riso, l'orzo, potranno in parte compensare gli impatti negativi delle mutate condizioni climatiche in quanto capaci di rispondere più efficientemente agli effetti diretti dell'aumento della concentrazione atmosferica di CO₂ rispetto alle specie C4 (es. mais, sorgo, miglio, etc.) (Qian et al. 2010). Per le colture arboree, come ad esempio vite e olivo, la variazione del regime delle precipitazioni e l'aumento della temperatura potranno determinare una riduzione qualitativa e quantitativa delle produzioni nelle aree del sud Italia e potenziali spostamenti degli areali di coltivazione verso regioni più settentrionali o altitudini maggiori.

Il cambiamento climatico rappresenta un fattore di rischio anche per il bestiame allevato, con conseguenze che possono riguardare il loro benessere e la loro produttività (Notenbaert et al. 2017). Le temperature elevate, che già caratterizzano le estati italiane e che gli scenari climatici futuri prevedono in aumento, hanno un impatto negativo diretto sui processi fisiologici e comportamentali dell'animale come la termoregolazione, l'ingestione di alimenti e la risposta immunitaria. A questi effetti diretti si aggiungono inoltre gli effetti indiretti che i cambiamenti climatici possono avere ad esempio sugli alimenti (contaminazione da micotossine, qualità e disponibilità alimenti) e sulle dinamiche ecologiche e biologiche dei patogeni e dei loro vettori (Kipling et al. 2016). Ulteriori impatti indiretti possono distinguersi tra impatti su allevamenti estensivi o intensivi. Per quanto riguarda i primi, gli impatti principali sono prevalentemente associati alla disponibilità foraggera e alla qualità degli alimenti a causa di probabili riduzione e modifiche delle specie presenti sulle superfici destinabili a pascolamento a seguito di fenomeni di desertificazione, salinizzazione delle falde o di avanzamento della macchia foresta nelle aree prative e pascolive. Per quanto riguarda gli allevamenti intensivi in stalla, le problematiche principali sono invece maggiormente associate a fattori che possono mettere a rischio attività imprenditoriali di alto valore aggiunto su cui le imprese agricole sono particolarmente esposte dal punto di vista finanziario (ad esempio impatti di eventi come alluvioni su fabbricati e attrezzature).

Nonostante in alcune aree e per alcune colture si possano avere anche ripercussioni potenzialmente positive, il settore agricolo e, conseguentemente, quello agro-alimentare saranno soggetti ad un generale calo delle capacità produttive, accompagnato da una probabile diminuzione delle caratteristiche qualitative dei prodotti.

La riduzione di questi impatti negativi e, quando possibile, lo sfruttamento di quelli positivi, potranno essere ottenuti solo mediante l'applicazione di adeguate azioni di adattamento.

Sia per le produzioni vegetali sia per quelle animali sono attualmente disponibili diverse soluzioni che possono aumentare il grado di adattamento ai cambiamenti climatici. Tali soluzioni comprendono ad

esempio la realizzazione di interventi strutturali, l'implementazione di adeguate pratiche di gestione colturale e aziendale, la selezione genetica e l'adozione di atteggiamenti proattivi.

I programmi di sviluppo rurale, implementati su scala nazionale e regionale, hanno tra i loro obiettivi l'adattamento ai cambiamenti climatici e diverse misure sono state programmate in questo senso.

Tra le azioni di adattamento preferenziali ci sono quelle che includono anche obiettivi di mitigazione e quindi tutte le misure che seguono i principi della *Climate Smart Agriculture* (FAO 2013) che unisce gli obiettivi della sostenibilità delle produzioni alle necessità di adattamento ai cambiamenti climatici e di mantenimento dei livelli di reddito. Un aumento della resilienza dei sistemi produttivi potrebbe allo stesso tempo concorrere all'aumento del sequestro del carbonio nei suoli e quindi alla riduzione delle emissioni derivanti dal comparto agricolo.

Questo capitolo, riprende i principali elementi contenuti nel relativo capitolo della SNAC (Castellari et al. 2014a) e aggiorna le informazioni, proponendo una sintesi dei principali impatti e della sensibilità del settore agricolo ai cambiamenti climatici in Italia con una trattazione differenziata per le 6 macroregioni climatiche omogenee identificate dal PNACC. Il capitolo offre anche un quadro delle principali normative, piani e programmi esistenti, dando quindi un'indicazione della capacità di adattamento del settore.

INTRODUZIONE

Il settore agricolo italiano, come descritto dai dati del 6° Censimento Generale dell'Agricoltura, conta la presenza di circa 1,6 milioni di aziende agricole, in netta diminuzione rispetto ai valori del censimento del 2000 (-32%), per un totale di superficie agricola utilizzata (SAU)⁶⁹ pari a 12,9 milioni di ettari (-2.5% rispetto al censimento del 2000) su un totale di oltre 17 milioni di ettari di area agricola (ISTAT 2013).

La dimensione media aziendale a livello nazionale è di circa 7,9 ha, sebbene oltre il 50% delle aziende agricole sia caratterizzato da piccole dimensioni, con superfici inferiori ai 2 ha gestite con sistemi di conduzione tipicamente familiare. Circa 1,5 milioni di aziende agricole italiane (95,4% del totale delle aziende agricole) che detengono una SAU pari a circa 11 milioni di ettari (82,8% del totale), è a conduzione diretta da parte di imprenditori agricoli. La distribuzione territoriale delle aziende agricole mostra una maggioranza di aziende localizzate nel Sud Italia rispetto al Nord, con quattro regioni (Puglia, Campania, Calabria e Sicilia) che ospitano quasi il 48% del totale delle aziende agricole nazionali, con Puglia e Sicilia che detengono oltre il 20% della SAU nazionale (Figura 1-36).

⁶⁹ Superficie agricola utilizzata (SAU): Insieme dei terreni investiti a seminativi, coltivazioni legnose agrarie, orti familiari, prati permanenti e pascoli e castagneti da frutto. Essa costituisce la superficie effettivamente utilizzata in coltivazioni propriamente agricole (<http://www.istat.it/it/files/2014/03/Atlante-dellagricoltura-italiana.-6%C2%B0-Censimento-generale-dellagricoltura.pdf>)



Figura 1-36: Percentuale di SAU per Regione rispetto alla superficie del territorio⁷⁰.

Oltre la metà della SAU è occupata da seminativi (54,5 %), seguono i prati permanenti e i pascoli (26,7 %), e le colture legnose agrarie (18,5 %). La rimanente quota è rappresentata dagli orti familiari. Le regioni più vocate per la coltivazione dei seminativi sono l'Emilia-Romagna, la Lombardia, la Sicilia e la Puglia. Tra i seminativi, i cereali sono le colture più diffuse (28,2% della SAU), con i valori più alti soprattutto in Veneto e Lombardia.

Per quanto riguarda le colture arboree, le superfici coltivate sono maggiormente diffuse nelle regioni del Sud (Puglia, Calabria) e nelle Isole (Sicilia). L'olivo è la specie più diffusa (8,4% della SAU), seguita dalla vite (5,2%).

In Figura 1-37 sono riportate, a livello nazionale, le distribuzioni delle superfici coltivate a cereali (sinistra) e a colture arboree (destra), in base alle rilevazioni del 6° Censimento dell'Agricoltura.

In regioni del Nord come la Valle d'Aosta sono particolarmente diffusi i prati permanenti e i pascoli, anche se la Sardegna è la regione che riporta la maggiore estensione di SAU con tale utilizzo.

⁷⁰ ISTAT 2013.

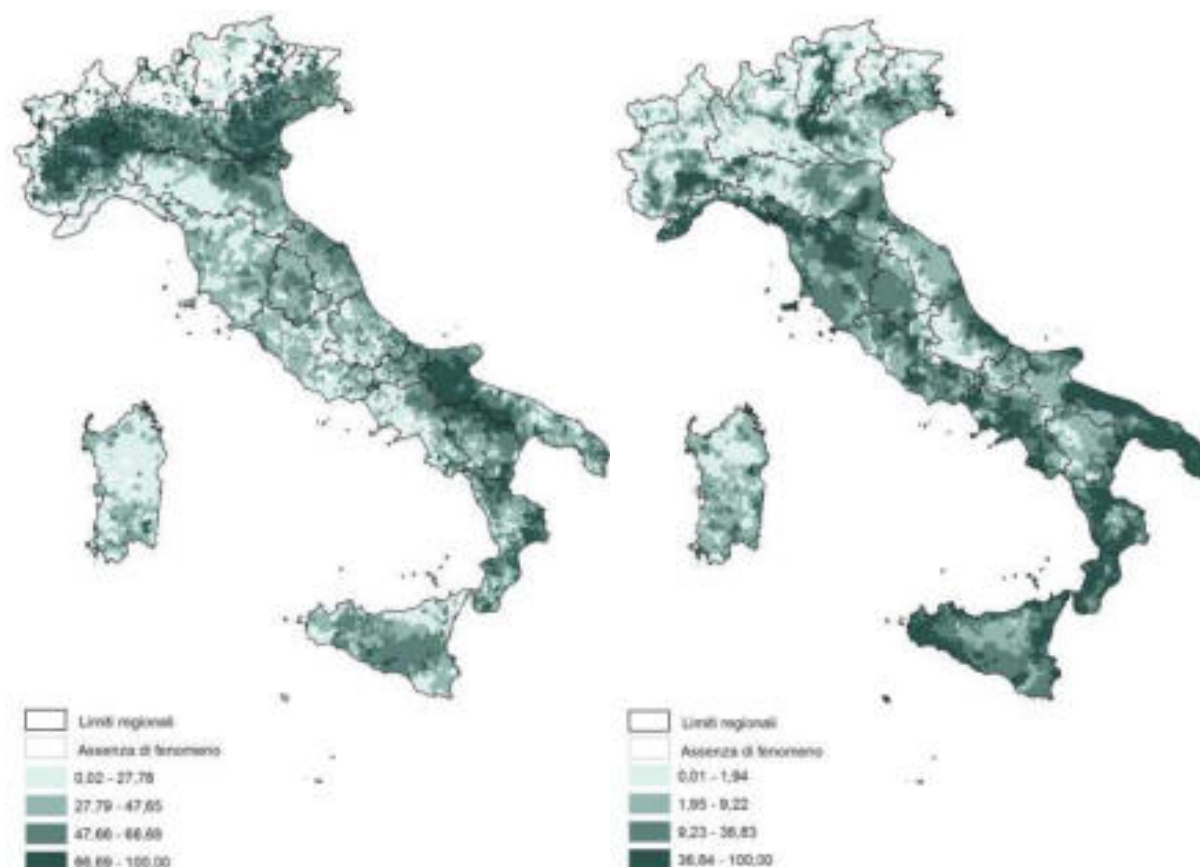


Figura 1-37: Superficie a cereali per comune (% su superficie a seminativi) a sinistra e superfici a coltivazioni legnose agrarie per comune (% su SAU) a destra⁷¹.

La SAU irrigata risulta essere il 19,3 % della SAU totale, occupata principalmente da colture come il mais da granella (21,5 % del totale della superficie irrigata), le foraggere avvicendate (15,6 %), il riso (10,2%), le ortive (9,5 %), i fruttiferi (8 %), la vite (7,3 %), l'olivo (5,4 %) e gli agrumi (4,7 %).

La zootecnia Italiana è concentrata principalmente nella pianura Padana e nelle aree pianeggianti del centro e sud Italia (isole comprese). La pianura Padana è un'area altamente vocata per l'allevamento bovino, suino e avicolo e ospita circa il 63% della consistenza zootecnica totale allevata in Italia, mentre la quota restante di animali è allevata nelle altre zone pianeggianti e collinari della penisola (centro, sud e isole). Fanno eccezione gli ovi-caprini e i bufalini che sono allevati principalmente nel centro-sud e nelle isole e le popolazioni animali marginali tipiche delle zone collinari e montane presenti su tutto il territorio nazionale.

Oltre 43 mila aziende (diffuse principalmente nelle regioni dell'Italia centrale) praticano agricoltura biologica (6,1% di SAU biologica su SAU totale) e appena il 3,9% delle aziende zootecniche, sul totale delle aziende, è condotto con metodo biologico.

Nel 2013, il valore del prodotto per il settore agricolo, forestale e la pesca è incrementato del 3.3%, raggiungendo i 56,1 miliardi di euro (incluse le attività secondarie). Nello specifico le colture vegetali hanno influenzato il valore totale del 49,5%, l'allevamento del 31,3%, le attività di supporto all'agricoltura del 12%, e la produzione dei comparti forestali e pesca per il 5% (INEA 2014).

La Politica Agricola Comune (PAC) ha svolto un ruolo fondamentale nel determinare l'evoluzione del settore agricolo italiano, definendo le modalità di intervento a favore degli agricoltori e determinando forti rimodulazioni nei piani di investimento, al fine di integrare le problematiche di protezione dell'ambiente rurale nella politica e nella gestione agricola.

⁷¹ ISTAT 2013

Il settore, oltre che dagli aspetti di natura politico-economica, è stato fortemente influenzato in queste ultime decadi anche dalle mutazioni climatiche in atto che causano effetti sulla quantità e la qualità delle produzioni, sulla scelta delle specie e delle varietà da coltivare e sulle tecniche di coltivazione da adottare, con conseguenze dirette sugli agricoltori e sulle industrie agro-alimentari di trasformazione (Audsley et al. 2006).

Tutti questi aspetti saranno trattati con maggior dettaglio nel paragrafo successivo, che riporta una sintesi degli impatti attesi per il settore agricolo in Italia per diverse tipologie di produzioni vegetali e animali.

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La produttività dei sistemi agricoli è fortemente influenzata dalla sensibilità alle condizioni ambientali dei processi biofisici e biochimici che li regolano (Ammassari et al. 2011). In particolare l'aumento di concentrazione atmosferica di anidride carbonica (CO₂) può agire sia direttamente sulle produzioni (ad esempio come effetto "fertilizzante" della CO₂) sia indirettamente, tramite il suo ruolo di gas ad effetto serra.

L'effetto diretto dell'aumentata concentrazione di CO₂ determina un aumento del tasso fotosintetico, portando ad incrementi di resa anche consistenti per le specie C3 (che comprendono la maggior parte dei cereali, leguminose, colture foraggere e piante da frutto). Le specie C4 (es. mais, sorgo, miglio, canna da zucchero, etc.), invece, avendo un meccanismo fotosintetico più efficiente delle C3, rispondono in misura minore all'incremento di concentrazione atmosferica di CO₂ (Drake et al. 1997; Southworth et al. 2000; Kimball et al. 2002; Ainsworth and Long 2004; Yano et al. 2007). Oltre all'incremento del tasso fotosintetico, l'aumentata concentrazione di CO₂ determina anche una parziale chiusura degli stomi (Conley et al. 2001; Bernacchi et al. 2007), riducendo le perdite per traspirazione e quindi aumentando l'efficienza dell'uso dell'acqua, fino anche a + 40% per un valore doppio della concentrazione di CO₂ sia nelle C3 che nelle C4 (Kimball et al. 2002; Ainsworth and Long 2004). Tuttavia tali effetti diretti della CO₂ sulle colture sono ancora controversi data la complessità dei fenomeni che regolano questi meccanismi.

Gli effetti indiretti dell'incremento di concentrazione di CO₂ riguardano invece l'alterazione delle variabili climatiche. Tra questi, quelli che maggiormente influenzano la produttività dei sistemi agricoli sono l'incremento di temperatura, la variazione del regime delle precipitazioni e l'intensità e la frequenza del verificarsi di eventi meteorologici estremi (ondate di calore, periodi siccitosi prolungati e intensi, alluvioni, etc).

Tutti questi fenomeni influenzano i cicli biologici del sistema terreno-pianta-atmosfera (carbonio, azoto, fosforo, potassio e zolfo), causando variazioni alla produttività degli agrosistemi, possibili aumenti delle emissioni di gas serra, e modifiche nella diffusione e azione della maggior parte delle fitopatie (es. funghi, batteri, virus, insetti), con effetti non solo sulle produzioni vegetali ma anche su quelle animali.

Il benessere animale e la produttività delle attività zootecniche infatti sono fortemente compromessi dagli effetti dei cambiamenti climatici sia nei sistemi di tipo intensivo che in quelli di tipo estensivo. Le variabili climatiche che maggiormente incideranno sugli animali da reddito sono la temperatura, l'umidità relativa, la radiazione solare e la ventosità, mentre la piovosità avrà un ruolo importante nella disponibilità delle risorse foraggere soprattutto per i sistemi estensivi.

I sistemi di tipo intensivo, come ad esempio l'allevamento della bovina da latte generalmente basato sui sistemi colturali irrigui delle pianure, possono ritenersi meno dipendenti dalle condizioni climatiche avverse (ad es. siccità) per la produzione dei foraggi rispetto ai sistemi estensivi, che invece dipendono fortemente dalle precipitazioni per la produttività dei pascoli. Anche l'elevato utilizzo della tecnologia e la maggiore capacità di attrarre investimenti, insieme alla possibilità di condizionare il microclima della stalla, permettono ai sistemi intensivi di avere un maggior grado di resilienza nei confronti dei fenomeni climatici estremi (es. ondate di calore) rispetto a quelli estensivi. Per contro, la ridotta biodiversità dei sistemi intensivi con la prevalenza di razze ad alta produttività e con scarsa resistenza alle malattie rende questi

sistemi più vulnerabili ai cambiamenti climatici rispetto ai sistemi estensivi che sono caratterizzati da una grande biodiversità e da razze locali più rustiche. I sistemi estensivi hanno la possibilità di movimentare gli animali verso contesti più favorevoli perché basati su sistemi foraggeri/pascolativi permanenti e marginali (sistemi più flessibili, es. transumanza). Inoltre possono avvantaggiarsi dell'incremento delle aree pascolative a seguito dell'abbandono delle colture da granella che sono meno remunerative in condizioni di carenza idrica. Infine va sottolineato come la riduzione dell'efficienza produttiva causata dai cambiamenti climatici, sia nei sistemi intensivi sia in quelli estensivi, determinerà una maggiore intensità di emissione dei gas clima alteranti per unità di prodotto.

Questi aspetti saranno approfonditi nei paragrafi successivi che riportano i principali impatti attesi per le produzioni vegetali e animali.

Produzioni vegetali

Cereali e colture da granella

Le colture cerealicole, oleaginose e leguminose, essendo generalmente specie a ciclo determinato, hanno una lunghezza del periodo di crescita guidata sostanzialmente dalle temperature e dalla lunghezza del giorno (Porter and Gawith 1999; Tubiello et al. 2000; Howden 2002; Giannakopoulos et al. 2005). Un aumento di temperatura dell'ordine di 1.5°C, come quello riportato dall'analisi climatica del paragrafo 1.1.1, potrà determinare una diminuzione della produttività delle principali colture cerealicole e da granella a causa di un aumento della respirazione e della velocità di sviluppo fenologico, e alla conseguente riduzione della durata del ciclo vegetativo delle specie (Olesen and Bindi 2002; Giannakopoulos et al. 2005; Maracchi et al. 2005; Audsley et al. 2006; Olesen et al. 2007; Mereu 2010; Saadi et al. 2015; Gallo et al. 2016). Gli incrementi di temperatura potranno inoltre determinare la variazione degli attuali areali di coltivazione, con perdita di vocazionalità produttiva in alcuni areali e incrementi in altri, come ad esempio le aree più settentrionali del paese.

La variazione delle rese sarà comunque influenzata dall'effetto combinato dell'aumento della concentrazione di CO₂ e delle modifiche delle precipitazioni e delle temperature che potranno indurre risposte non lineari. Sulla base delle proiezioni climatiche attese per l'Italia, con incrementi di temperatura e riduzioni delle precipitazioni, soprattutto nel periodo primaverile-estivo nel Sud e nelle Isole, saranno le colture primaverili-estive a subire i maggiori impatti, con riduzioni delle rese a livello nazionale che si potranno aggirare intorno al 20% per il girasole e al 30% per la soia (Moriondo et al. 2011).

Per alcuni cereali, i livelli produttivi potranno risentire in modo contenuto delle variazioni climatiche per l'effetto compensativo positivo dell'incremento di concentrazione di CO₂, come nel caso del frumento e del riso. Studi sul frumento (Mereu 2010) (Giglio et al. 2010) (Gallo 2015) hanno evidenziato che l'effetto della CO₂ sarebbe in grado di compensare gli impatti negativi causati dall'incremento delle temperature, determinando anche incrementi di resa in diversi areali italiani. Un recente studio che ha analizzato l'impatto del cambiamento climatico sulla produttività del riso in pianura padana (Bocchiola 2015) ha evidenziato come l'effetto della aumentata concentrazione di CO₂ sarebbe in grado, soprattutto nel medio periodo (2050), ma anche nel lungo periodo (2080) con gli scenari più moderati (RCP 2.6 e RCP 4.5), di compensare l'effetto negativo dell'incremento di temperatura sull'epoca di maturazione e quindi sull'accumulo di biomassa, mantenendo le rese costanti rispetto all'attuale e portando anche ad incrementi contenuti di resa, anche se a fronte di una maggiore richiesta idrica e con differenze associate agli scenari e ai modelli climatici considerati.

Il mais, invece, essendo una specie C4 e anche una coltura a ciclo primaverile-estivo irrigua, risentirà maggiormente degli impatti dei cambiamenti climatici, almeno in areali del sud Italia, mentre in areali del nord, come evidenziato nello studio di Bocchiola et al. (2013) per la pianura padana, le riduzioni di resa sono piuttosto contenute.

Nella Figura 1-38 e Figura 1-39 sono riportati gli impatti attesi per frumento duro, frumento tenero e mais, per il periodo 2021-2050, simulati rispettivamente con lo scenario RCP 4.5 (Figura 1-38) e RCP 8.5 (Figura 1-39) e il modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione (presentati nel paragrafo 1.1.1). L'analisi si è concentrata su queste tre colture che assieme occupano oltre l'80% della produzione cerealicola nazionale: 50.3% mais; 19.6% frumento duro e 14.6% frumento tenero (fonte ISTAT; Ente Nazionale Risi).

In questo caso l'analisi va oltre gli indicatori di anomalia climatica considerati nel paragrafo 1.1.1 in quanto è stato possibile applicare per queste tre colture di rilevante importanza per l'economia agricola nazionale modelli complessi di simulazione colturale. Nello specifico, le simulazioni sono state eseguite con la piattaforma GIS-DSSAT (Trabucco et al. 2014), che include i modelli di simulazione colturale CSM-CERES Wheat e CSM-CERES Maize, implementati nel software DSSAT v.4.6 (Jones et al. 2003; Hoogenboom et al. 2015). Le parametrizzazioni dei modelli sono state ottenute da Gallo 2015 e successivi aggiustamenti in funzione della versione aggiornata del software DSSAT v.4.6, per consentire una simulazione su scala spaziale. Le simulazioni qui riportate tengono in considerazione l'incrementata concentrazione atmosferica di CO₂. Tali modelli hanno permesso di avere proiezioni del probabile sviluppo e della produttività colturale ad elevata risoluzione spaziale, aggiungendo un dettaglio maggiore all'analisi, che è stata successivamente ricondotta alle 6 macroregioni climatiche omogenee.

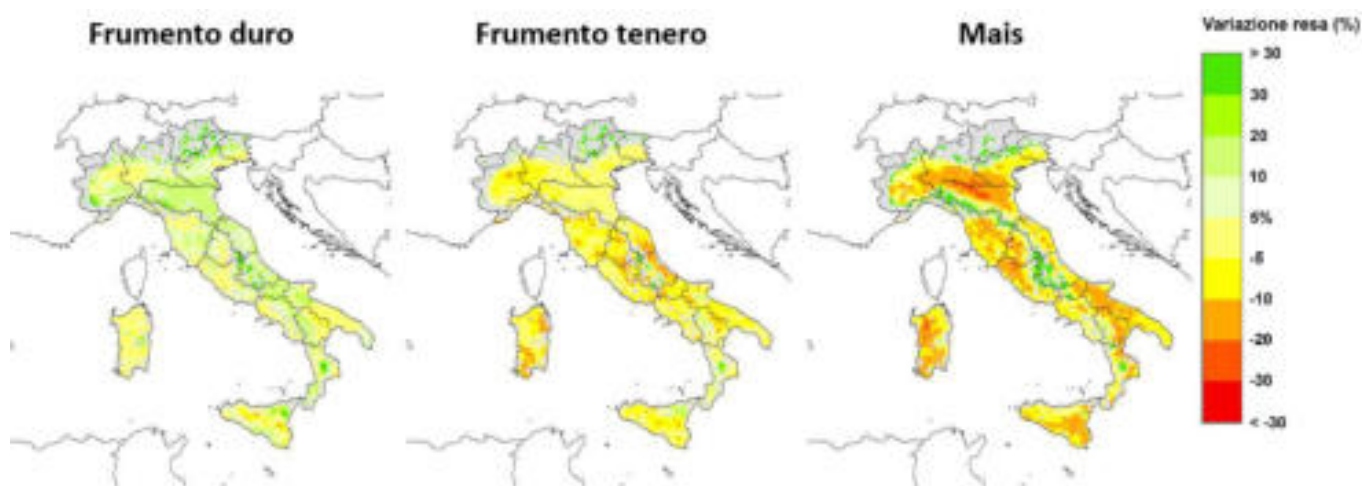


Figura 1-38: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro (sinistra), frumento tenero (centro) e mais (destra) in Italia per il 2021-2050 con lo scenario RCP 4.5 e il modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione⁷².

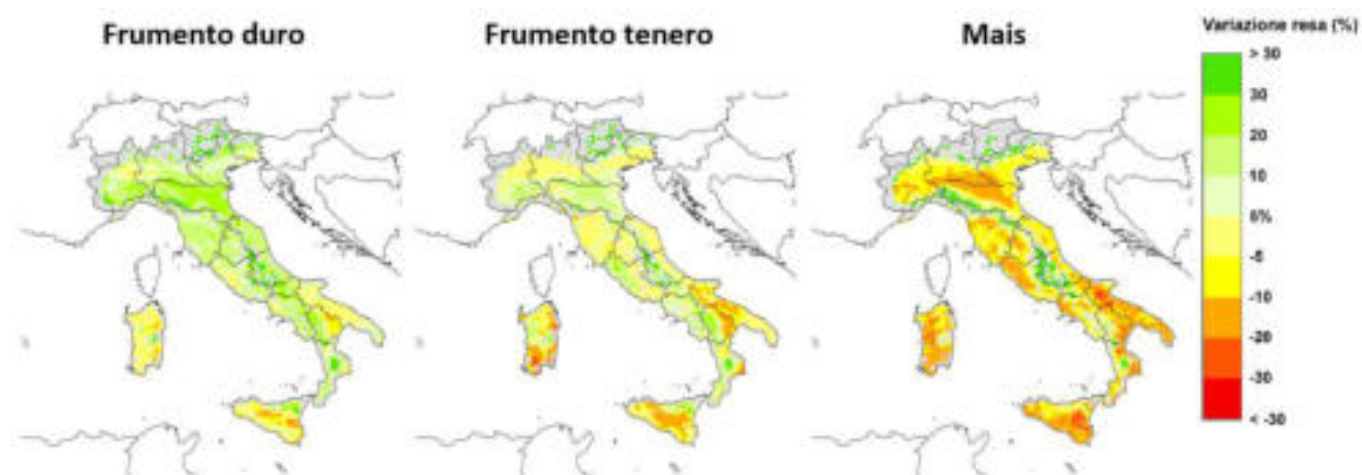


Figura 1-39: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro (sinistra), frumento tenero (centro) e mais (destra) in Italia per il 2021-2050 con lo scenario RCP 8.5 e il modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione⁷³.

⁷² Dati elaborati da CMCC.

Nelle seguenti figure sono invece riportate le probabili variazioni di resa previste per, rispettivamente, frumento duro, tenero e mais, con RCP 4.5 (Figura 1-40, Figura 1-41, Figura 1-42) e RCP 8.5 (Figura 1-43, Figura 1-44, Figura 1-45) per le singole macroregioni climatiche omogenee.

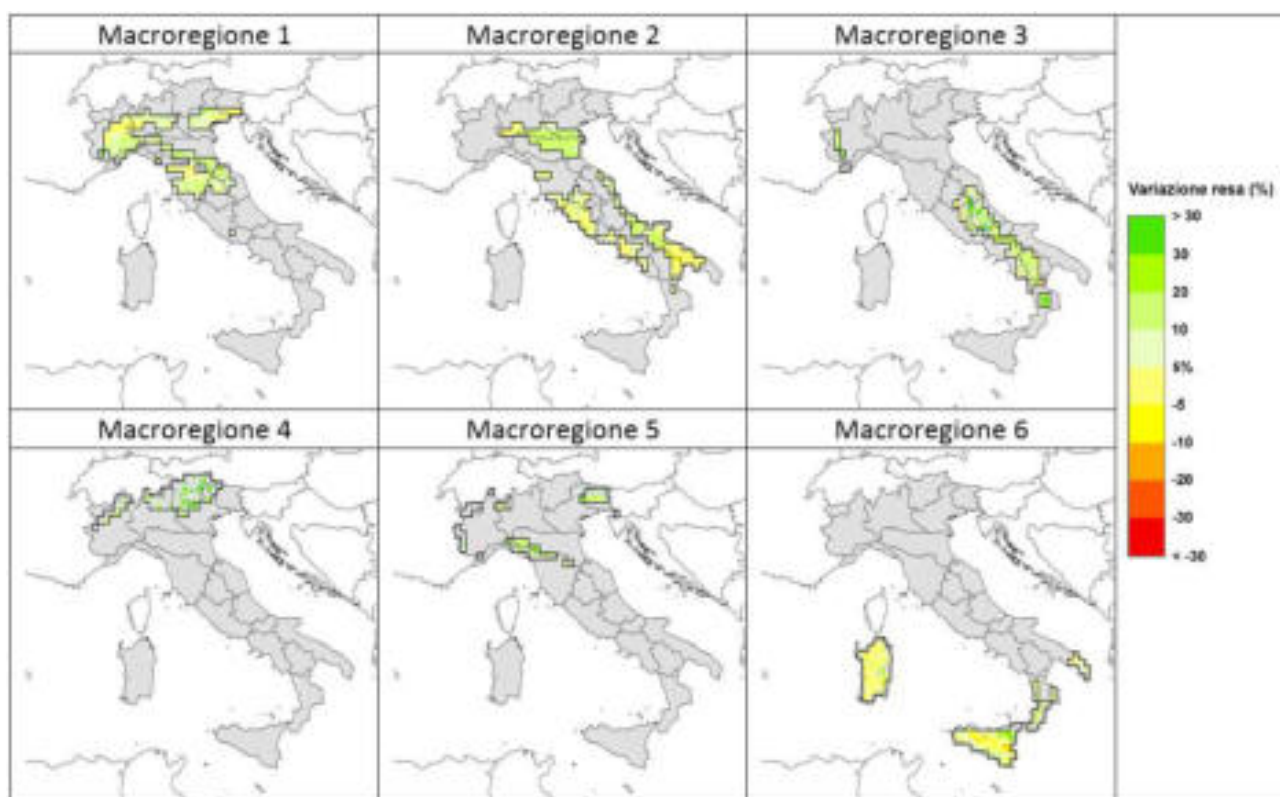


Figura 1-40: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione⁷⁴.

⁷³ Dati elaborati da CMCC.

⁷⁴ Dati elaborati da CMCC.

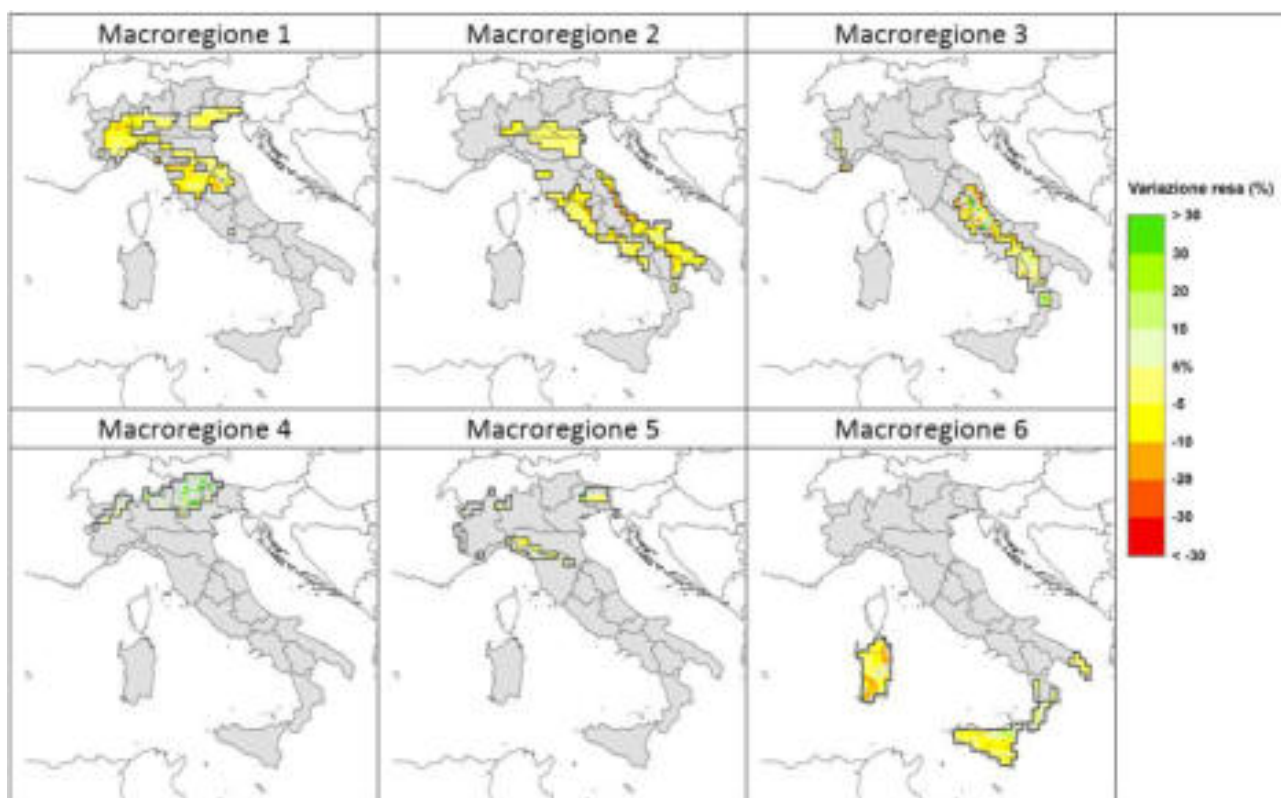


Figura 1-41: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento tenero per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione⁷⁵.

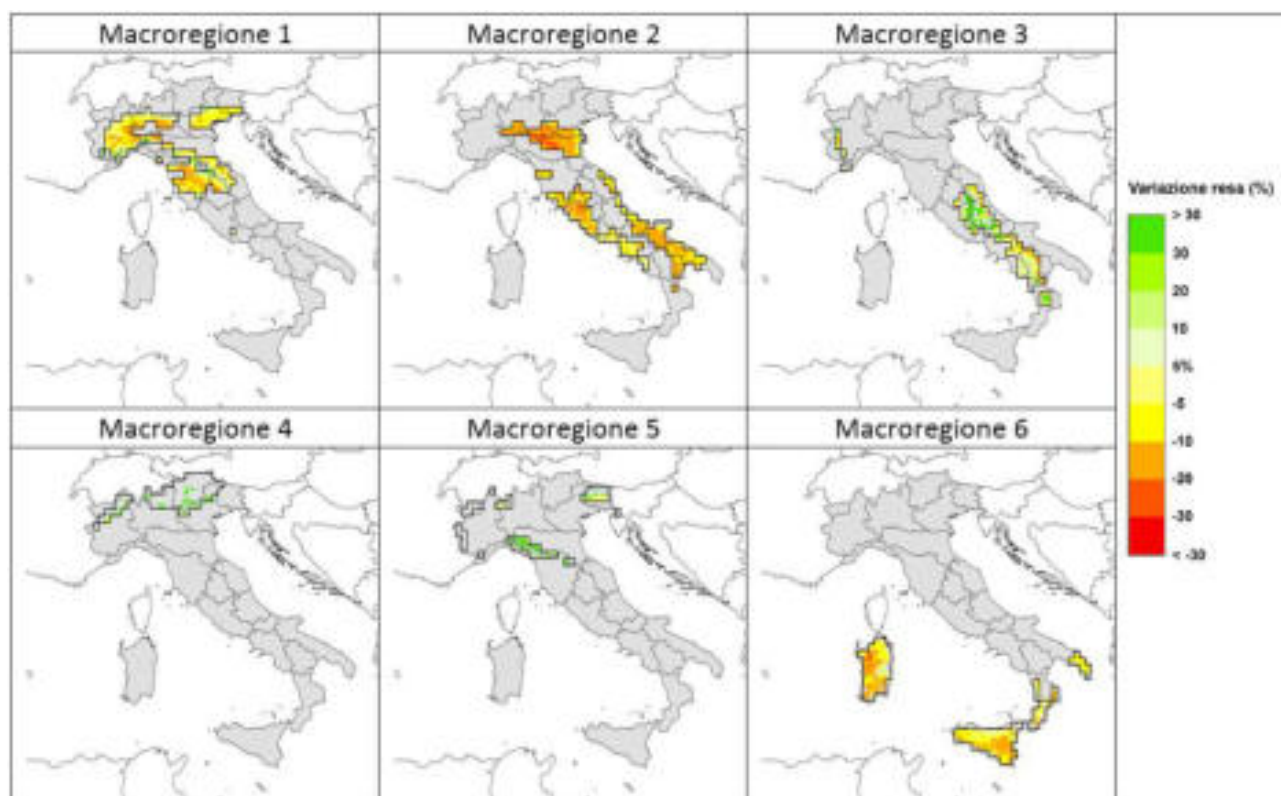


Figura 1-42: Proiezioni di variazione (%) di resa per mais per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione⁷⁶.

⁷⁵ Dati elaborati da CMCC.

⁷⁶ Dati elaborati da CMCC.

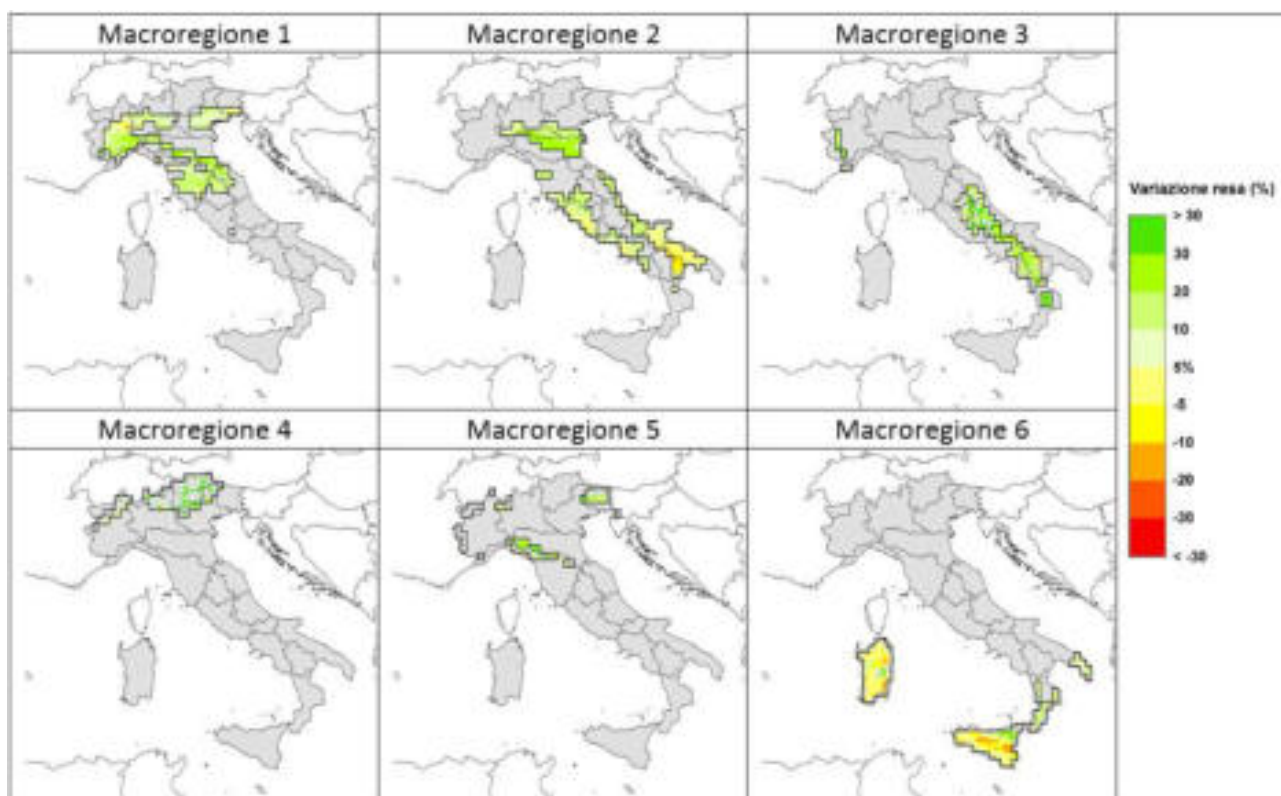


Figura 1-43: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento duro per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione⁷⁷.

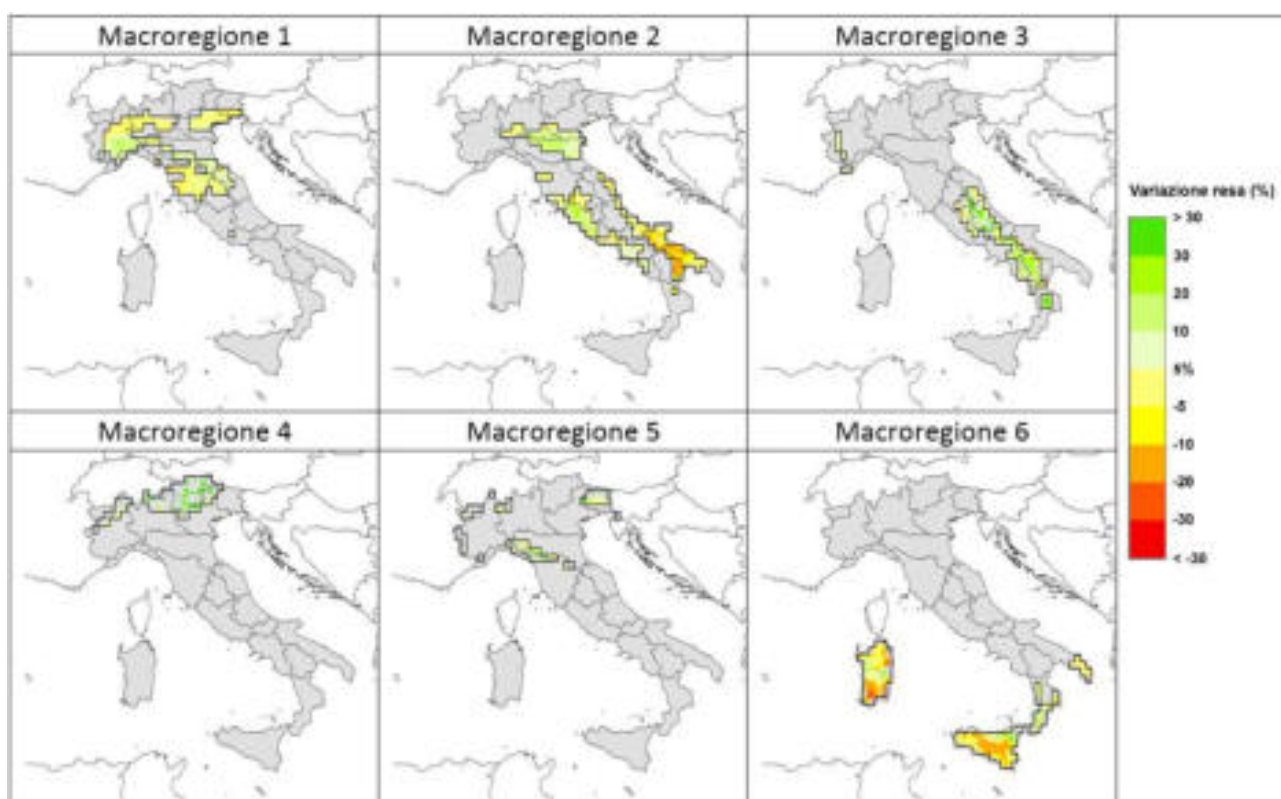


Figura 1-44: Proiezioni di variazione (%) di resa per frumento tenero per le 6 macroregioni climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione⁷⁸.

⁷⁷ Dati elaborati da CMCC.

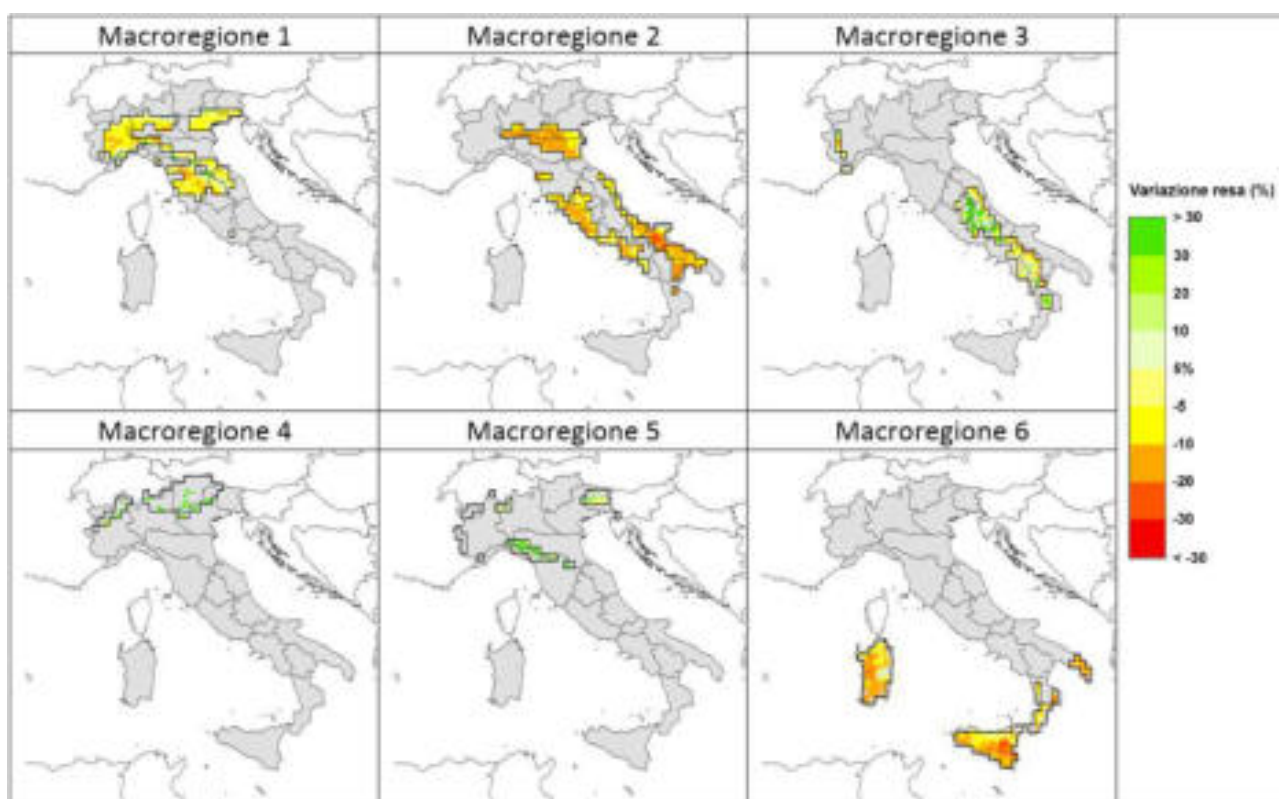


Figura 1-45: Proiezioni di variazione (%) di resa per il mais per le 6 zone climatiche in Italia, periodo 2021-2050, scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, a 8 km di risoluzione⁷⁹.

Analizzando le singole macroregioni climatiche, si può osservare come le aree probabilmente più vulnerabili per la produzione di frumento duro al 2035 (anno centrale del periodo 2021-2050) (Figura 1-40, Figura 1-43) siano quelle della macroregione 6, ossia le aree tradizionalmente vocate per la coltivazione del frumento duro. Nelle altre macroregioni sono previsti possibili lievi incrementi di resa dovuti principalmente all'effetto dell'incremento di concentrazione di CO₂, lasciando ipotizzare la possibilità di espansione della coltivazione del frumento duro in nuovi areali rispetto a quelli tradizionali.

Riduzioni di resa moderate (entro il 10%) sono previste dalle simulazioni per il frumento tenero (Figura 1-41, Figura 1-44) nelle macroregioni 1, 2 e 6 con l'RCP 4.5 e più marcate con l'RCP 8.5, specialmente nella zona 6. Lievi incrementi possono essere attesi in alcune aree della macroregione 3, soprattutto con l'RCP 8.5.

Per il mais sono invece attese riduzioni di resa consistenti (fino ad oltre il 30%), specialmente nella macroregione climatica 2 (che comprende la pianura padana) e nella 6. Riduzioni di resa più contenute (entro il 10%) nella macroregione 1 e incrementi nelle rimanenti macroregioni (Figura 1-42, Figura 1-45). Le rese del mais in quest'analisi sono state simulate in irriguo, quindi senza limitazioni dal punto di vista della disponibilità idrica.

Bisogna comunque considerare che, in conseguenza dell'incremento delle temperature e della conseguente riduzione della lunghezza della stagione di crescita delle colture, le simulazioni relative al fabbisogno irriguo mostrano una riduzione per le colture a ciclo autunno-vernino (4%) e primaverile-estivo (8%) in areale mediterraneo (Saadi et al. 2015).

Tuttavia, la riduzione della disponibilità idrica attesa, soprattutto nelle aree del sud e isole (macroregione 6) nelle prossime decadi, e la conseguente maggiore competizione fra i settori per il suo utilizzo, comporterà un incremento dei costi per la produzione di colture irrigue.

⁷⁸ Dati elaborati da CMCC.

⁷⁹ Dati elaborati da CMCC.

Gli impatti sono evidentemente fortemente dipendenti dalla sensibilità delle specifiche colture, tuttavia le proiezioni per il breve-medio periodo (2021-2050) evidenziano una variazione contenuta della capacità produttiva media dei cereali autunno-vernini, con alcune aree potenzialmente soggette anche ad incrementi della produttività dovuti all'effetto diretto della concentrazione di CO₂ che è in grado di compensare l'effetto negativo delle variazioni climatiche. Nel lungo periodo (2071-2100) le variazioni determineranno più consistenti riduzioni delle capacità produttive, particolarmente per i cereali a ciclo primaverile estivo e con meccanismo fotosintetico C4.

In entrambi i casi comunque la variabilità inter-annuale delle rese tenderà ad aumentare a causa di un accentuato aumento degli eventi termici e pluviometrici estremi.

Colture da tubero e radice

Le colture da tubero e radice saranno positivamente influenzate dall'aumento della concentrazione di CO₂ a causa della presenza di grandi organi di riserva come i tuberi e le radici (Miglietta et al. 1998; Bindi et al. 2005). Tuttavia, l'aumento delle temperature potrà ridurre il periodo di crescita e aumentare le richieste di acqua con evidenti conseguenze sulle rese (Magliulo et al. 2003), tanto da rendere nullo l'effetto fertilizzante determinato dall'aumento della concentrazione atmosferica di CO₂, per alcune colture a ciclo determinato come la patata. Per quelle a ciclo indeterminato, come ad esempio la barbabietola da zucchero, l'aumento delle temperature e della concentrazione di CO₂ possono favorire un ciclo di crescita più lungo e una maggiore capacità di sintesi con effetti positivi sulle rese.

Per tutte le colture da tubero e radice potranno attendere degli aumenti delle richieste idriche che, se combinati alla riduzione di precipitazioni soprattutto nei mesi estivi, potranno drasticamente ridurre la loro coltivazione in asciutto, soprattutto per le aree del sud e isole (macroregione 6).

Colture orticole

Le colture orticole comprendono ortaggi e piante ornamentali, coltivati sia in pieno campo sia in ambienti controllati. In entrambi i casi si tratta di colture di alto pregio che necessitano di alti input idrici e nutritivi.

Per quando riguarda le colture orticole in ambiente controllato, l'aumento delle temperature esterne previste nel breve e medio periodo (2021-2050) avrà effetti diversi a seconda che si tratti di colture invernali o primaverili-estive. Nelle prime, dove il fattore limitante da evitare sono le basse temperature invernali, aumenti dell'ordine di 2° C permetteranno di risparmiare su costi di riscaldamento e allo stesso tempo renderanno possibile la coltivazione di nuove specie e varietà più esigenti dal punto di vista termico. Per quelle primaverili, e soprattutto per quelle estive, si presenterà il problema opposto con i costi di condizionamento termico che subiranno notevoli incrementi con conseguente aumento delle emissioni di gas climalteranti. Questo avverrà soprattutto nelle aree coltivate della macroregione 6 (Sud e Isole) dove le alte temperature sono già un fattore limitante.

Per le coltivazioni in pieno campo, le risposte alle variazioni climatiche previste variano da specie a specie e dalla risposta fenologica alla variazione delle temperature. In particolare, in colture a ciclo determinato come la cipolla o il pomodoro, gli aumenti termici previsti agiranno sul raccolto attraverso una riduzione della durata del ciclo colturale e quindi una drastica riduzione delle capacità produttive; mentre per colture a ciclo indeterminato come la carota questi innalzamenti termici potranno stimolare un periodo di crescita più lungo, con un conseguente aumento della produzione. Uno studio effettuato per il pomodoro in Capitanata (Tavoliere Puglia) ha mostrato riduzioni contenute nel breve (2011-2040) e medio periodo (2041-2070) e più severe nel lungo periodo (2071-2090), fino anche al 20% di perdita di produzione di bacche (Giglio et al. 2010).

Per quanto riguarda gli impatti legati alla variazione della richiesta idrica, le simulazioni effettuate per il pomodoro con proiezioni di cambiamento climatico in areali del sud Italia, hanno evidenziato un

incremento delle richieste irrigue rispetto al periodo attuale (Figura 1-46), che risulta moderato nel breve e medio periodo e piuttosto marcato per la fine del secolo (dati elaborati da CMCC).

Incrementi nella richiesta idrica giornaliera per il pomodoro sono stati previsti anche da Ventrella et al. (2012) in uno studio effettuato per il sud Italia, nel quale sono riportati incrementi dal 10 al 30% della richiesta idrica giornaliera, nonostante una riduzione della lunghezza del ciclo colturale, e riduzioni di resa che possono variare dal 10 al 26%.

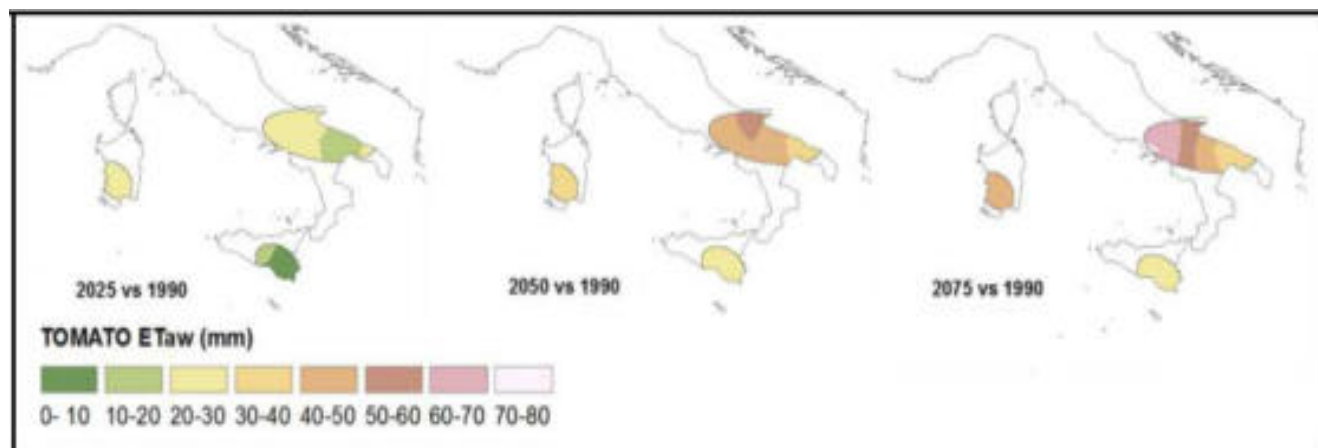


Figura 1-46: Proiezioni di variazione della richiesta irrigua del pomodoro in diverse aree studio italiane secondo il modello COSMO-CLM, scenario RCP 8.5, 14 km⁸⁰.

Colture da energia

La gamma di colture da energia 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, bioetanolo).

Le specie che vengono coltivate in ambienti dove l'acqua non è il principale fattore limitante, come salice, *Miscanthus* e *Arundo*, hanno un ciclo colturale pluriennale che prevede tagli a cadenza regolare (stagionale, annuale, biennale, etc.). Queste specie hanno generalmente un ciclo di crescita indeterminato e quindi potranno risultare avvantaggiate dall'aumento delle temperature che potranno favorire un'estensione del periodo della crescita. Studi condotti per aumenti delle temperature analoghi a quelli previsti dalle simulazioni climatiche effettuate nel breve-medio termine hanno evidenziato incrementi della produzione fino al 40% (Evans et al. 1995). Allo stesso tempo è però necessario considerare che l'apporto idrico meteorico è previsto diminuire in modo drastico e quindi si potrebbero presentare, soprattutto nelle aree dove la disponibilità idrica è minore e le riduzioni di precipitazioni nelle prossime decadi sono maggiori, delle forti riduzioni delle potenzialità produttive di queste colture.

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, macroregione climatica 6) sono quelle a ciclo autunno-vernino come colza, *Brassica carinata* e cartamo. La resa di queste colture dipende in particolare dal regime termopluviometrico primaverile, con particolare riferimento al periodo aprile-maggio. Le proiezioni climatiche mettono in evidenza una drastica riduzione delle precipitazioni nel periodo 2021-2050 soprattutto nel Sud, in Sardegna, con gravi ripercussioni per la produttività di queste colture in areali della macroregione climatica 6.

Nel centro Italia invece si è diffusa in particolare la coltivazione di girasole per la produzione di biodiesel o di biomateriali (alto oleico). Anche in questo caso la previsione di riduzione delle precipitazioni nel periodo

⁸⁰ Dati elaborati da CMCC.

primaverile estivo potrà avere delle ripercussioni negative sulla produzione e di conseguenza sulla convenienza economica della coltivazione a fini energetici.

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), leguminose 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. In particolare, l'interesse è prevalentemente rivolto alla resa totale in biomassa e alla digeribilità della stessa. In presenza di variazioni climatiche come quelle ipotizzate, è probabile che l'effetto combinato di un aumento delle temperature e di riduzione delle precipitazioni risulti dominato rispetto a quello fertilizzato della CO₂, determinando riduzioni delle biomasse prodotte a vantaggio di una maggiore digeribilità. Tali caratteristiche saranno tuttavia determinate dal tipo di specie coltivata (ciclo determinato o indeterminato, microterme/macroterme, annuali/perenni) e dalle condizioni dell'areale di coltivazione (ad es. le limitate disponibilità idriche previste nei periodi primaverile/estivo e autunnale nelle regioni del Sud, che rientrano nella macroregione 6).

Pascoli

In ambiente mediterraneo, il ciclo annuale dei pascoli, coltivati o spontanei, è limitato dalle basse temperature e dalla ridotta lunghezza del giorno durante l'inverno, nonché dal regime delle precipitazioni dalla primavera alla prima parte dell'autunno.

I pascoli italiani sono localizzati prevalentemente in aree marginali e sono 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 CO₂ e delle variabili climatiche (Figura 1-47), con conseguenze sulla struttura della vegetazione che dovrebbe favorire le leguminose (più sensibili alle basse temperature durante il periodo invernale rispetto alle graminacee) e sulla qualità del foraggio associata alla variazione della composizione chimica delle singole specie delle comunità pascolive (Allard et al. 2003) (Dibari et al. 2015a)

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 (Lagomarsino et al. 2011; Bagella et al. 2013) che merita attenzione e su cui la letteratura scientifica non ha prodotto sufficienti evidenze.

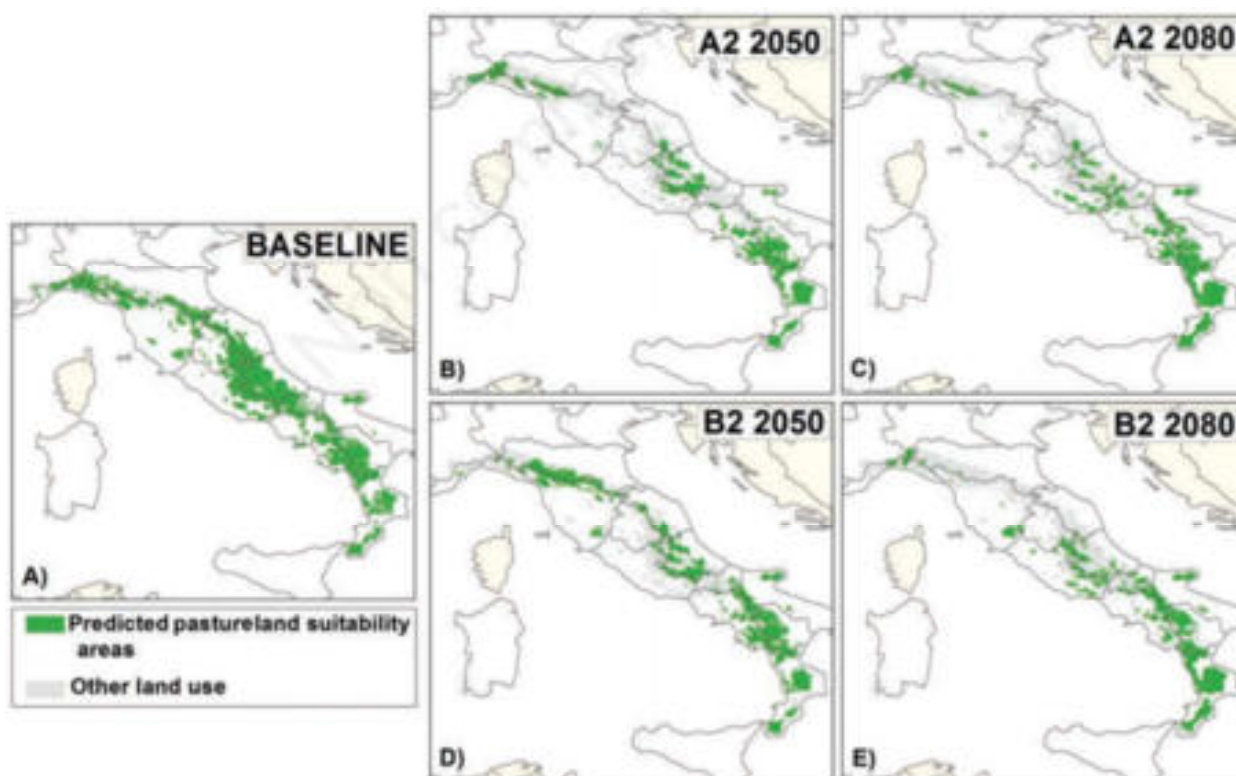


Figura 1-47: *Mappa di vocazionalità territoriale per i pascoli per il periodo storico (1905-2000) (A) e per due periodi futuri centrati al 2050 (B, D) e al 2080 (C, E) con gli scenari A2 e B2, modello climatico HadCM3⁸¹.*

Particolarmente importante è inoltre l'andamento delle prime piogge utili dopo la siccità estiva che condiziona l'avvio della produzione autunno-vernina nei pascoli mediterranei, composti prevalentemente da specie annuali auto-riseminanti. Le riduzioni previste delle precipitazioni (inteso come epoca, quantità e distribuzione di probabilità delle piogge utili nei mesi di settembre-ottobre), come previsto nelle regioni del sud Italia e delle isole (macroregione climatica 6), potrebbe determinare una maggiore incertezza delle produzioni autunnali particolarmente 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.

Colture arboree

Le colture arboree sono particolarmente vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici. A causa di elevati costi di impianto e del tardo raggiungimento della maturità produttiva, eventuali condizioni climatiche non favorevoli potrebbero infatti comportare perdite più elevate rispetto alle coltivazioni erbacee. Inoltre le colture arboree sono strettamente connesse al territorio in cui vengono coltivate e spesso sono sottoposte a disciplinari produttivi molto stringenti (DOP, IGP, IGT). Il cambiamento delle condizioni climatiche potrà determinare una variazione dell'estensione e della localizzazione delle aree maggiormente vocate, la necessità di variazioni nelle varietà coltivate e nella gestione stessa delle coltivazioni. Fattori quest'ultimi che potrebbero determinare una ridefinizione degli stessi disciplinari di produzione.

⁸¹ Dibari et al. 2015b.

In futuro l'aumento di temperature e la contemporanea diminuzione delle piogge (minore disponibilità idrica), soprattutto nelle aree più meridionali, potrà ancora di più accentuare una precoce ripresa vegetativa, un anticipo della data di fioritura, un successivo accorciamento del periodo di crescita e una conseguente maturazione anticipata dei frutti. La carenza di acqua durante specifiche fasi di sviluppo come la fioritura, l'impollinazione e il riempimento del frutto potranno determinare una riduzione dei livelli di produttività (Audsley et al. 2006; Moriondo et al. 2011; Brilli et al. 2016). Il manifestarsi di fenomeni climatici estremi come le ondate di calore durante queste fasi particolari dello sviluppo, periodi siccitosi e/o eventi di precipitazione intensa, gelate durante la fase di ripresa vegetativa, etc. potranno ulteriormente accentuare gli impatti determinati dalle variazioni medie del clima.

Per quanto concerne le drupacee (es. pesco, olivo, etc.) 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 and Uyemoto 1999).

L'olivo è una delle specie più adattabili agli ambienti sub-umidi e semi aridi del mediterraneo (Tanasijevic et al. 2014), tuttavia i cambiamenti climatici possono influenzare fortemente i limiti settentrionali e meridionali dell'area di coltivazione. In accordo con gli studi condotti nel bacino del mediterraneo, incrementi di temperatura dell'ordine di quelli individuati nell'analisi climatica del paragrafo 1.1.1 potrebbero permettere da un lato la coltivazione in alcune zone del nord Italia dove attualmente non sussistono condizioni idonee (Moriondo et al. 2011) (Tanasijevic et al. 2014) (Bindi et al. 1992) (Gutierrez et al. 2008) (Mereu et al. 2008), dall'altro determinare un forte anticipo delle fasi fenologiche con implicazioni sulla produttività (Olesen et al. 2011). Inoltre, viste le richieste di basse temperature per la ripresa vegetativa, questa espansione dell'areale di coltivazione dell'olivo potrebbe essere limitata dal mancato soddisfacimento delle esigenze in freddo (Gutierrez et al. 2008), causato dall'incremento delle temperature durante i mesi invernali.

È inoltre previsto un incremento contenuto delle richieste idriche dell'olivo rispetto al periodo attuale (0-45 mm/annui) (Figura 1-48) nel breve (2025) e medio periodo (2050) e in misura più marcata nel lungo periodo (2075) (fino a 60mm/annui). Incrementi piuttosto contenuti della richiesta irrigua netta per l'olivo (inferiori ai 50 mm) sono previsti anche dal lavoro di Tanasijevic et al. (2014) per l'Italia al 2050, rispetto ad altre aree del bacino del mediterraneo in cui si prevedono incrementi ben più marcati.

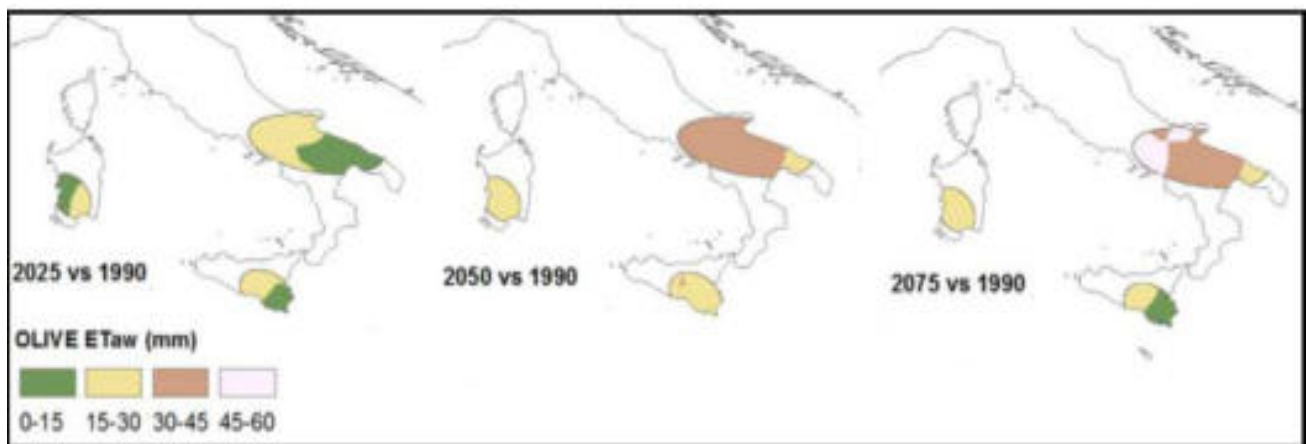


Figura 1-48: Proiezioni di variazioni della richiesta irrigua per l'olivo in diverse aree studio italiane, secondo il modello COSMO-CLM, scenario RCP 8.5, 14 km⁸².

Oltre all'incremento di areali vocati per la coltivazione dell'olivo in Italia, le variazioni climatiche previste potrebbero determinare un incremento della resa potenziale della coltura in tutto il territorio nazionale e soprattutto nelle regioni del Nord Italia (macroregioni 1 e 4, e in parte macroregione 2). Tali incrementi di

⁸² Dati elaborati da CMCC.

resa sarebbero evidenti soprattutto nel lungo periodo (anche oltre il 50% per il 2080 rispetto alle produzioni attuali in alcuni areali), anche se già nel breve periodo potrebbero raggiungere, persino negli areali del sud Italia, incrementi del 12% e 30%, rispettivamente per il 2020 e 2050 (Mereu et al. 2008). Tuttavia, queste simulazioni non tengono in considerazione eventuali incrementi di attacchi patogeni e/o di eventi estremi che tenderanno a ridurre sia l'entità che la qualità delle produzioni. Un esempio concreto è rappresentato dalla perdita di produzione degli ultimi anni a causa del patogeno *Xylella spp.* in Puglia.

La coltivazione della vite nelle aree più settentrionali 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 e aumentano il rischio di danni da parassiti. Di conseguenza, variazioni di temperatura e precipitazioni dell'ordine di quelle messe in evidenza in questo documento potranno determinare modifiche significative delle zone dei vitigni adatti alla coltivazione, con un'espansione dei margini settentrionali e una generale riduzione della lunghezza del ciclo vegetativo (anticipo maturazione) (Webb et al. 2007)(Moriondo et al. 2011)(Fraga et al. 2016). Generalmente un accorciamento del ciclo di crescita si verifica per le varietà tardive che sono più sensibili in questo senso al cambiamento climatico rispetto alle precoci (Webb et al. 2011). Il lavoro di Eccel et al. (2016) evidenzia come le aree viticole del trentino potranno beneficiare degli effetti previsti dei cambiamenti climatici, che potrebbero portare ad una migliore maturazione e stato sanitario delle uve e ad un'espansione degli areali di coltivazione della vite.

Un'analisi del CMCC (Guido 2016) relativa agli impatti dei cambiamenti climatici sulla durata del ciclo colturale della vite, dall'uscita dalla dormienza all'invaiaitura, condotta su per diverse varietà di vite in Italia (modello COSMO-CLM, scenario RCP 8.5), mostrano un accorciamento del ciclo colturale, con un anticipo delle fasi di maturazione per tutte le varietà analizzate. Tali variazioni nei cicli di sviluppo si ripercuoteranno sulle rese ottenibili che potranno essere solo parzialmente compensate dall'effetto positivo delle crescenti concentrazioni di CO₂ (Bindi et al. 2001; Moriondo et al. 2011).

Oltre all'effetto sulle rese, queste variazioni climatiche potranno avere delle forti ripercussioni sulla qualità delle uve. Attualmente, molte regioni sembrano essere vicine al proprio optimum termico, quindi in presenza di ulteriori incrementi di temperature dell'ordine dei 2° C (o oltre) 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. 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.

Inoltre, uno studio di Salinari et al. (2006) ha analizzato l'impatto attuale e futuro della peronospora nei vigneti del Piemonte, evidenziando un possibile aumento della pressione del patogeno nelle decadi future a causa delle temperature più favorevoli nei mesi di maggio e giugno. L'aumento delle epidemie sarà solo parzialmente contrastato dall'effetto della diminuzione delle piogge, che di per sé contrasta la malattia.

Nel lavoro di Caffarra et al. (2012) si evidenzia tuttavia come ad esempio per l'oidio ci si attenda una riduzione della gravità della malattia, specialmente con gli scenari di cambiamento climatico che prevedono i più elevati incrementi di temperatura. Inoltre nel lavoro di Caffarra et al. (2012) è stato valutato anche l'effetto dei cambiamenti climatici sull'incidenza degli attacchi degli insetti e l'analisi mostra che l'effetto di un incremento del numero di generazioni potrebbe non avere un effetto troppo negativo sulla vite in considerazione dell'anticipo della data di maturazione della coltura e dell'asincronia delle fasi di sviluppo del patogeno e della pianta dovute all'aumento delle temperature.

Produzioni animali

Gli effetti del cambiamento climatico sul settore zootecnico si possono distinguere in diretti e indiretti. Gli effetti diretti sono quelli che le elevate temperature hanno sulla fisiologia e sul comportamento degli animali. Per ogni specie animale vi è un intervallo di temperatura ambientale, definita come zona di comfort termico, all'interno della quale l'energia impiegata per mantenere costante la temperatura

corporea è minima ed è massima quella da poter destinare alla crescita, alla produzione e riproduzione. Al di fuori di questo intervallo l'animale è costretto ad attivare una serie di meccanismi fisiologici e comportamentali che hanno lo scopo di mantenere costante la temperatura corporea. Lunghe esposizioni degli animali al caldo determinano un calo dei livelli d'ingestione e la riduzione del metabolismo energetico. In generale, il caldo ha un effetto deprimente sul metabolismo dell'animale con conseguenze negative sulla produzione e riproduzione (Nardone et al. 2010). Se le condizioni critiche perdurano l'animale può andare incontro ad un peggioramento delle condizioni di salute fino ad arrivare alla morte.

Numerosi studi, tra cui molti condotti e riferiti al contesto italiano, hanno evidenziato l'impatto negativo delle elevate temperature sullo stato di salute, la produzione e la riproduzione degli animali da reddito. Oltre alla temperatura anche altre variabili climatiche, come ad esempio l'umidità relativa, concorrono a definire le condizioni climatiche che possono essere motivo di stress negli animali. Per questo motivo il livello di disagio generato dal caldo sugli animali allevati viene misurato con l'indice bioclimatico "temperature humidity index" (THI) che esprime simultaneamente l'effetto combinato della temperatura e dell'umidità relativa.

Un recente studio italiano ha analizzato l'effetto del THI sulla produzione di latte bovino in funzione dell'ordine di parto e ha individuato delle soglie climatiche al di sopra delle quali la produzione di latte inizia a diminuire (Bernabucci et al. 2014). I dati hanno evidenziato un calo di 0,91, 1,16, e 1,27 kg/giorno a partire da valori del THI compresi tra 73 e 76, osservati rispettivamente per animali di 1°, 2° e 3° ordine di parto. Le vacche primipare hanno fatto registrare il calo minore in corrispondenza di valori più alti del THI (76) mentre le pluripare hanno fatto registrare il calo di latte maggiore in corrispondenza di soglie climatiche più basse (73-74 unità di THI). Sempre gli stessi autori hanno anche evidenziato il calo di grasso e proteina, osservato a partire da soglie climatiche più basse (71-72 unità di THI) rispetto alla produzione e anche in questo caso l'impatto era minore nelle primipare rispetto alle pluripare. I dati indicano una diversa suscettibilità al caldo in funzione dell'età dell'animale e del parametro produttivo considerato. Lo studio ha anche valutato il valore genetico dei padri delle vacche di cui sono stati analizzati i dati produttivi e ha evidenziato una diversa capacità dei tori a produrre in condizione di caldo. Tori con lo stesso potenziale genetico per la produzione di latte rispondevano in modo diverso quando nei modelli di valutazione genetica veniva considerata anche la variabile THI, pertanto nella popolazione bovina esiste un diverso potenziale genetico per la produzione di latte in condizioni di caldo.

Uno studio analogo ha analizzato le relazioni tra THI e l'efficienza riproduttiva in bovine da latte italiane e ha riscontrato che l'esposizione a valori elevati del THI, prima e dopo l'inseminazione, aumenta il numero di animali che ritorna in calore dopo la prima inseminazione (Biffani et al. 2016). Questo aspetto suggerisce un effetto negativo del caldo sullo sviluppo follicolare e sulla sopravvivenza embrionale. Inoltre, è stata riscontrata una forte correlazione genetica tra stress da caldo e animali che tornavano in calore.

I risultati di questi studi indicano che esiste una variabilità nella resilienza al caldo nella popolazione di bovini da latte allevati in Italia e che questa può essere oggetto di selezione.

Lo stress da caldo della stagione estiva è spesso associato al fenomeno delle ondate di calore, periodi estivi caratterizzati da elevate temperature, la cui intensità e frequenza sta aumentando per effetto dei cambiamenti climatici. È stato riscontrato che nei bovini da latte il rischio di mortalità nel corso delle ondate di calore era significativamente più elevato rispetto a un normale giorno estivo. Inoltre, tale rischio era maggiore nelle ondate più lunghe e in quelle che si registrano all'inizio dell'estate rispetto a quelle che si verificano alla fine della stagione (Vitali et al. 2015).

Note sono anche le associazioni tra lo stress da caldo e la comparsa di malattie (infettive, metaboliche, etc.). Diversi studi testimoniano una maggiore incidenza delle mastiti cliniche o un incremento delle cellule somatiche nel latte (indice della presenza di mastiti subcliniche) durante i periodi estivi (Morse et al. 1988; Cook et al. 2002; Bertocchi et al. 2014). La maggiore incidenza delle mastiti durante il periodo estivo può essere associata all'effetto depressivo che il caldo ha sulla capacità di difesa dell'animale (Lacetera et al.

2005, 2006) e al maggior numero di patogeni ambientali e di vettori (mosche) a cui gli animali sono esposti nel periodo estivo (Harmon 1994).

Gli effetti negativi del caldo su produzione, riproduzione e stato di salute sono descritti anche nei bovini da carne e in altre specie d'interesse zootecnico.

I bovini allevati per l'ingrasso quando sono esposti a temperature superiori ai 30°C riducono il livello di ingestione con conseguenze negative sullo stato di salute e sugli incrementi ponderali giornalieri, lo spessore di grasso e il peso raggiunto alla macellazione (Mitlöhner et al. 2001).

I suini hanno una capacità di sudorazione limitata che comporta una difficoltà a disperdere il calore in eccesso rendendoli più vulnerabili alle temperature elevate. Scrofe esposte a 27°C hanno mostrato un ritardo nel ritorno in calore rispetto a scrofe esposte a 18°C (Prunier et al. 1997), mentre nei verri l'esposizione a temperature superiori ai 30°C determina una minore produzione di seme in termini di volume e di concentrazione di spermatozoi (Kunavongkrit et al. 2005). L'effetto negativo del caldo nella specie suina è particolarmente evidente durante il periodo di allattamento. In presenza di temperature superiori ai 25°C le scrofe riducono il livello d'ingestione di circa 5-6 volte rispetto a quella osservata quando esposte a temperature tra i 18 e i 25 °C. La ridotta ingestione di alimento determina una minore secrezione di latte con conseguenze negative sulla crescita, vitalità e sopravvivenza dei suinetti (Renaudeau et al. 2004). Il caldo riduce i livelli di ingestione (9-13%) e gli incrementi ponderali (9-12%) nei suini allevati per l'ingrasso compromettendo il peso e la qualità delle carcasse alla macellazione (Rinaldo and Mourot 2001). Infine, è stato anche accertato un effetto del caldo sull'aumento del rischio di mortalità nel suino pesante durante le fasi di pre-macellazione (Vitali et al. 2014).

Negli avicoli l'esposizione alle elevate temperature determina un calo dell'efficienza riproduttiva. L'infertilità dovuta allo stress da caldo sembrerebbe colpire più i maschi che le femmine in quanto le elevate temperature hanno un grosso impatto sulla qualità e fertilità del seme prodotto (Karaca et al. 2002). Nei polli da carne esposti a temperature superiori ai 30°C è stato osservato un incremento della mortalità (De Basilio and Picard 2002). Inoltre, l'esposizione dei polli al caldo riduce l'ingestione, il peso vivo e il contenuto proteico e calorico della carcassa (Tankson et al. 2001). Anche nelle galline ovaiole si osserva una riduzione dell'ingestione e del peso corporeo quando esposte alle elevate temperature. Inoltre, la produzione e il peso delle uova così come il peso e spessore del guscio sono drammaticamente compromessi in condizioni di caldo ambientale (Mashaly et al. 2004).

Gli ovi-caprini sono notoriamente considerati poco suscettibili allo stress da caldo ma evidenze scientifiche testimoniano il contrario. Per gli ovini allevati nella Valle del Belice (Sicilia) è stato indicato un effetto negativo sulla quantità di latte prodotta riscontrata a partire da 73 unità di THI, mentre non sono stati evidenziati cali per la quantità di grasso e proteina (Finocchiaro et al. 2005). Negli ovini di razza sarda è stato riscontrato un calo del latte prodotto pari al 20% (0.38 kg/giorno per capo) a partire da valori del THI medio superiori a 72-75 unità (Peana et al. 2007).

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 proteaginoe nonché sulla disponibilità di acqua (Ringler et al. 2010). Ad esempio la siccità e le temperature elevate aumentano la suscettibilità del mais ad essere attaccato dal fungo *Aspergillus flavus* con il rischio di una contaminazione da micotossine negli alimenti prodotti con il mais (Kebede et al. 2012). La presenza di micotossine negli alimenti zootecnici ha gravi ripercussioni sullo stato di salute degli animali e rappresentano un rischio anche per la salute umana per la presenza di questi contaminanti e/o dei loro metaboliti nei prodotti di origine animale.

Inoltre, va segnalato il rischio della contrazione delle aree pascolative e quindi della disponibilità delle risorse foraggere dei sistemi semi-intensivi ed estensivi a causa degli incendi e della diminuzione delle precipitazioni nevose in montagna nonché a seguito di fenomeni di desertificazione, salinizzazione delle falde o di avanzamento della macchia forestale nelle aree prative e pascolive.

Tra gli effetti indiretti vanno sicuramente annoverati quelli che il clima esercita sulla diffusione di agenti patogeni e/o dei loro vettori (Purse et al. 2006; Patz and Olson 2006). Drammatica testimonianza di questo

fenomeno 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* spp., che rappresenta il principale vettore del virus (Mellor and Boorman 1995; Purse et al. 2006). 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 quantitativo, e potrà pure introdurre nuove minacce per la salute animale e umana.

A fronte della classificazione climatica nelle sei macroregioni climatiche omogenee identificate nel paragrafo 1.1.1 e della distribuzione degli allevamenti possiamo affermare che la quasi totalità del patrimonio zootecnico italiano è allevato nelle macroregioni climatiche 1, 2 e 6. L'analisi climatica ha evidenziato che queste aree sono caratterizzate da un numero elevato di giorni (tra i 30 e 52 giorni) con temperature al di sopra del 95° percentile della distribuzione di riferimento e da una bassa piovosità durante il periodo estivo (tra i 23 e i 171 mm).

Gli scenari climatici futuri (2021-2050), calcolati con i modelli COSMO RCP4.5 e RCP8.5, indicano per queste aree una diminuzione delle precipitazioni estive, un incremento della temperatura media annuale compresa tra i 1.2 e 1.5 °C e un aumento nel numero di giorni/estate (+12-18 giorni) con la temperatura massima superiore al 95° percentile della distribuzione di riferimento (29.2°C).

L'incremento delle temperature, congiuntamente a valori igrometrici elevati, possono determinare condizioni di stress da caldo. Come detto in precedenza il livello di disagio generato dal caldo sugli animali allevati è misurato con l'indice bioclimatico THI (Temperature Humidity Index).

In Figura 1-49 sono riportate le anomalie medie calcolate per l'indice THI per il periodo 2021-2050, con i dati del modello climatico COSMO-CLM a 8 km, utilizzato per l'analisi climatica del paragrafo 1.1.1, mentre la Figura 1-50 e la Figura 1-51 riportano le variazioni stagionali dell'indice THI, rispettivamente con lo scenario RCP 4.5 e RCP 8.5.

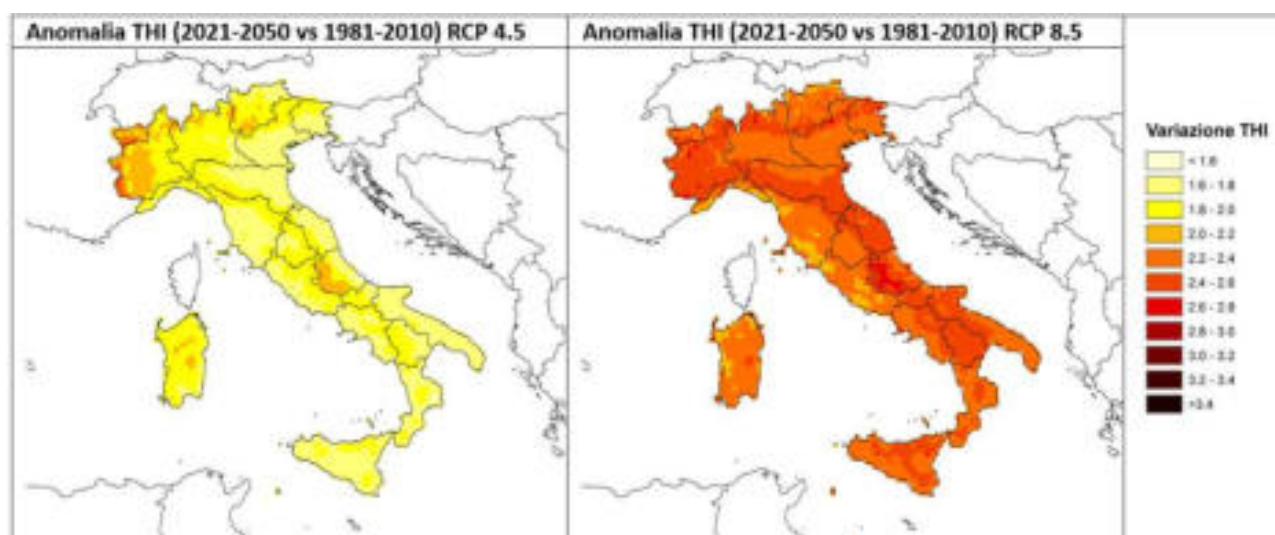


Figura 1-49: Proiezioni di variazioni medie dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP 4.5 (sinistra) e RCP 8.5 (destra), con il modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione⁸³.

⁸³ Dati elaborati da CMCC.

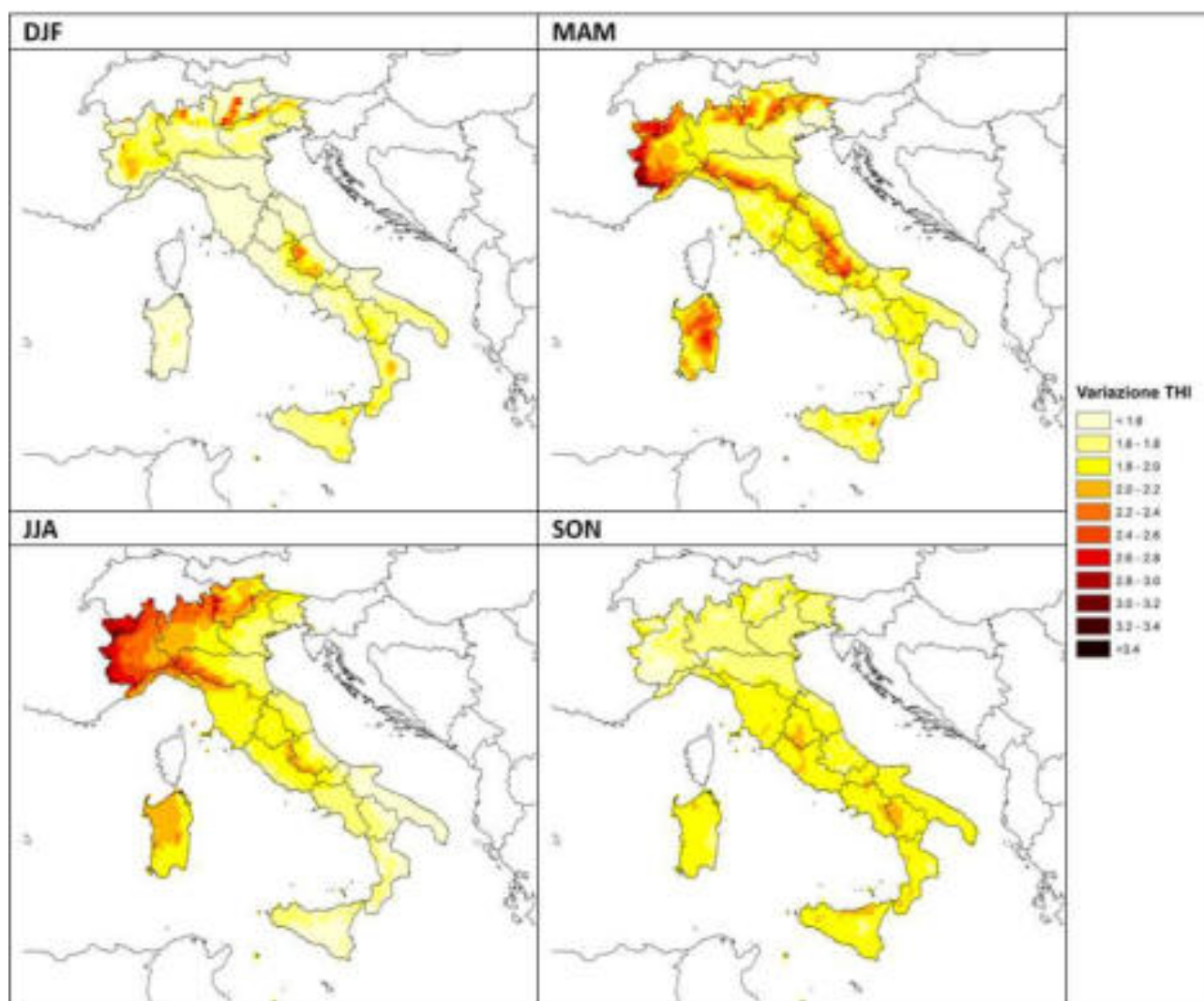


Figura 1-50: Proiezioni di variazioni stagionali dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP 4.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione. DJF = mesi invernali; MAM = mesi primaverili; JJA = mesi estivi; SON = mesi autunnali⁸⁴.

⁸⁴ Dati elaborati da CMCC.

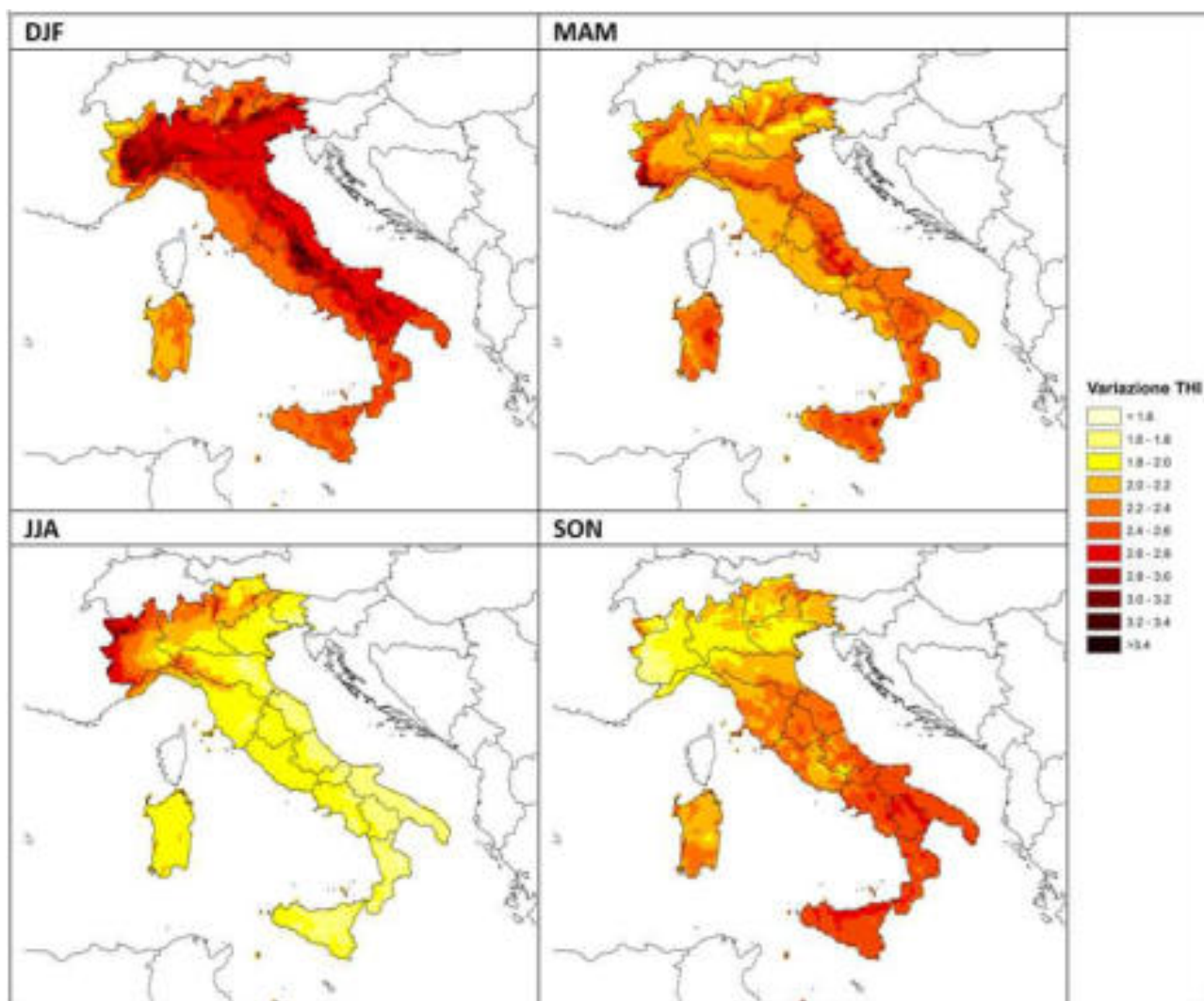


Figura 1-51: Proiezioni di variazioni stagionali dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP 8.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione. DJF = mesi invernali; MAM = mesi primaverili; JJA = mesi estivi; SON = mesi autunnali⁸⁵.

Le mappe indicano un peggioramento dell'indice bioclimatico THI per il prossimo trentennio. L'analisi delle variazioni stagionali (Figura 1-50 e Figura 1-51) prevedono per le aree d'interesse zootecnico un aumento del THI per tutte le stagioni. Nelle aree di maggiore interesse zootecnico (zone climatiche 1, 2 e 6) sono previste delle anomalie su scala annuale comprese tra 1,5 (RCP 4.5) (Figura 1-52) e 2,5 (RCP 8.5) (Figura 1-53) unità di THI. La Figura 1-54 e la Figura 1-55 riportano inoltre il dettaglio delle anomalie dell'indice THI per la stagione estiva, che è particolarmente importante ai fini della valutazione dello stress da caldo sugli animali. Oltre al peggioramento delle già critiche condizioni climatiche durante la stagione estiva, le mappe indicano delle anomalie positive del THI anche per le stagioni primaverile e autunnale. Alla luce di questi risultati possiamo affermare che gli animali da reddito saranno esposti a condizioni di stress da caldo per lunghi periodi dell'anno.

⁸⁵ Dati elaborati da CMCC.

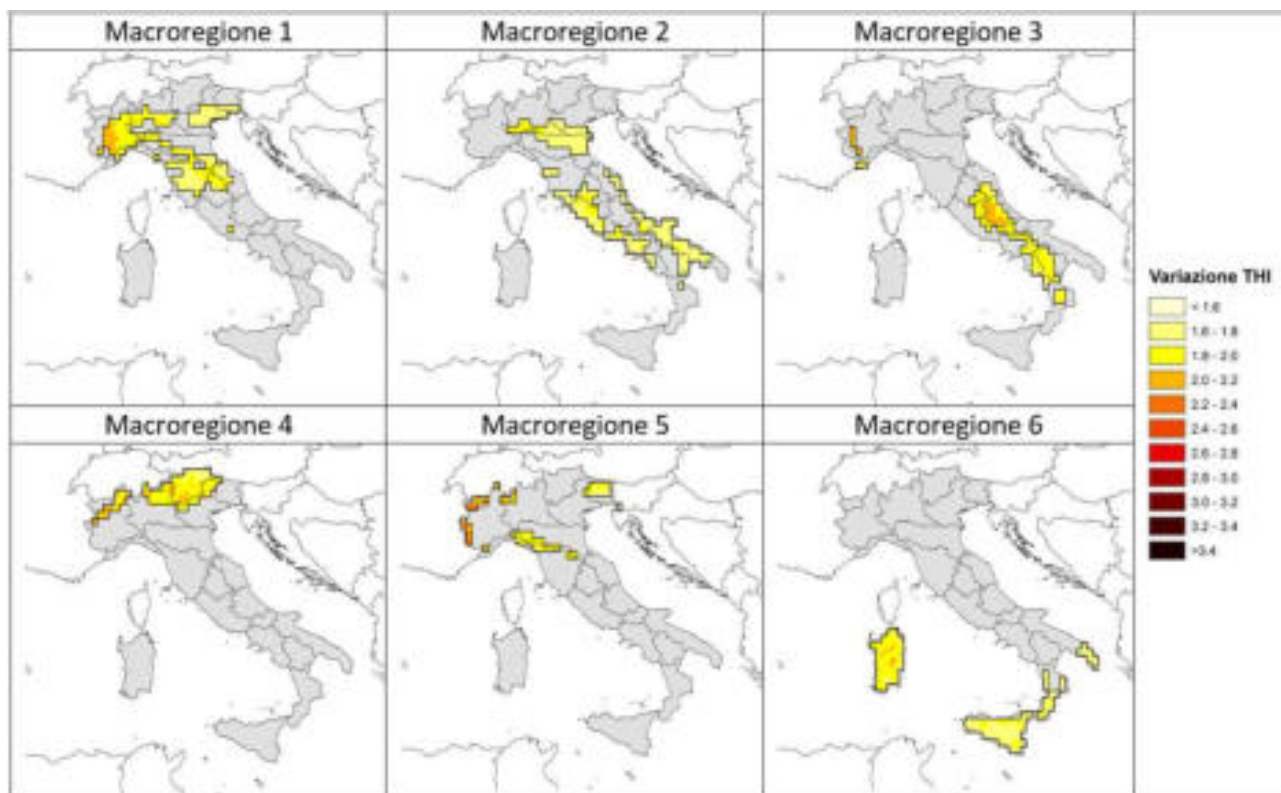


Figura 1-52: Proiezioni di variazioni dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP4.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione⁸⁶.

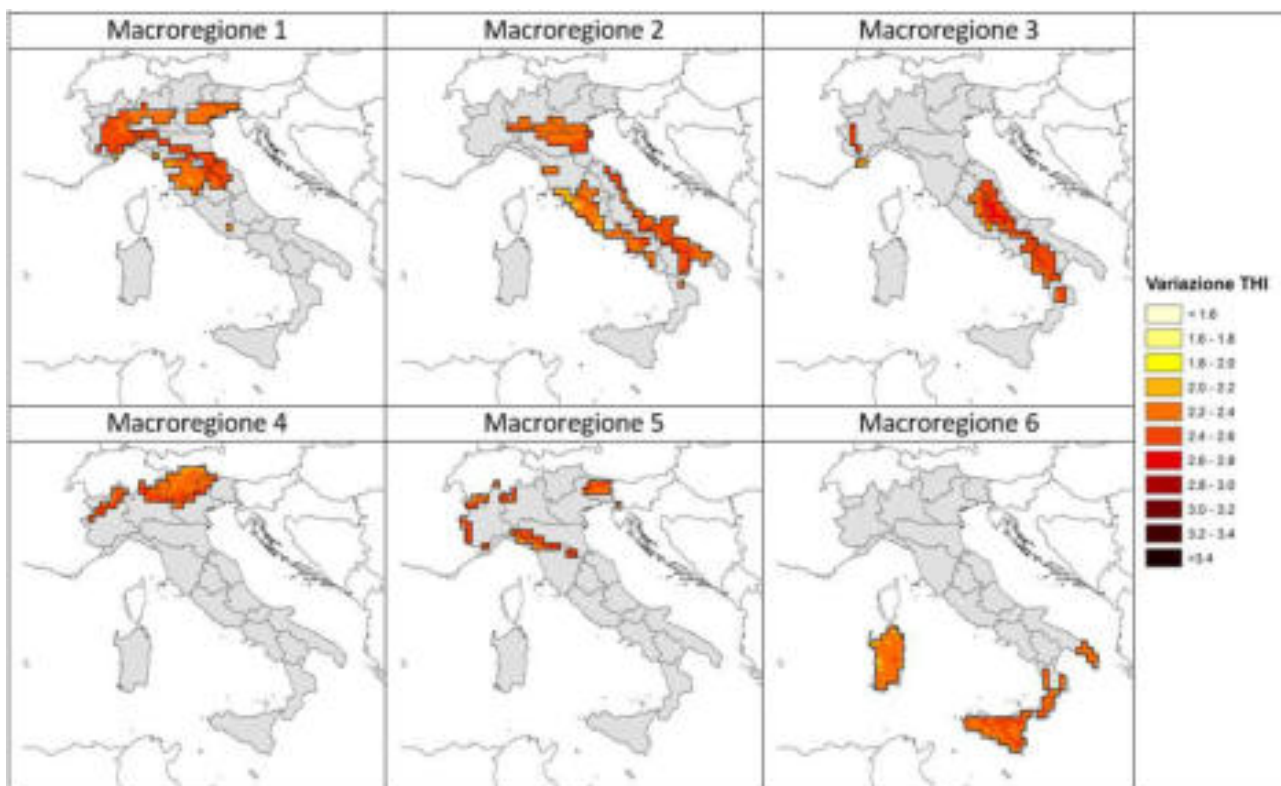


Figura 1-53: Proiezioni di variazioni dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP8.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione⁸⁷.

⁸⁶ Dati elaborati da CMCC.

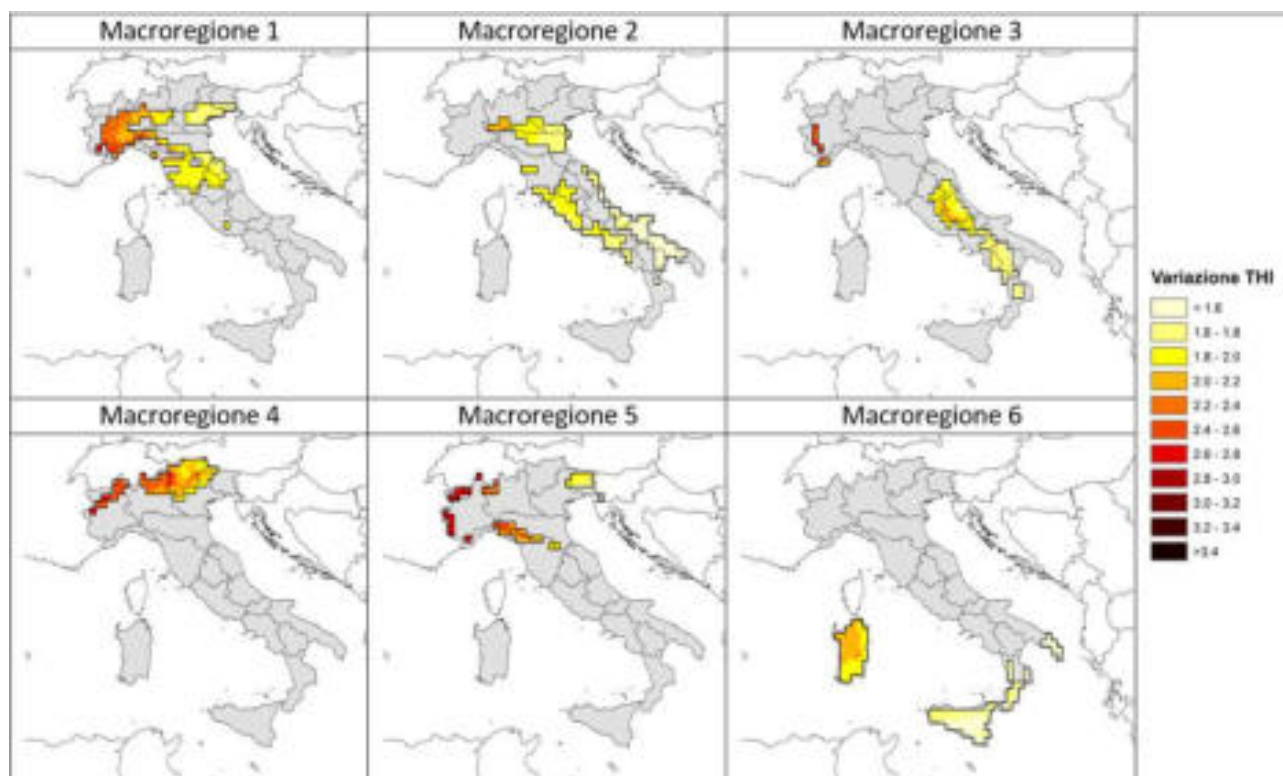


Figura 1-54: Proiezioni di variazioni per la stagione estiva (JJA) dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP4.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione⁸⁸.

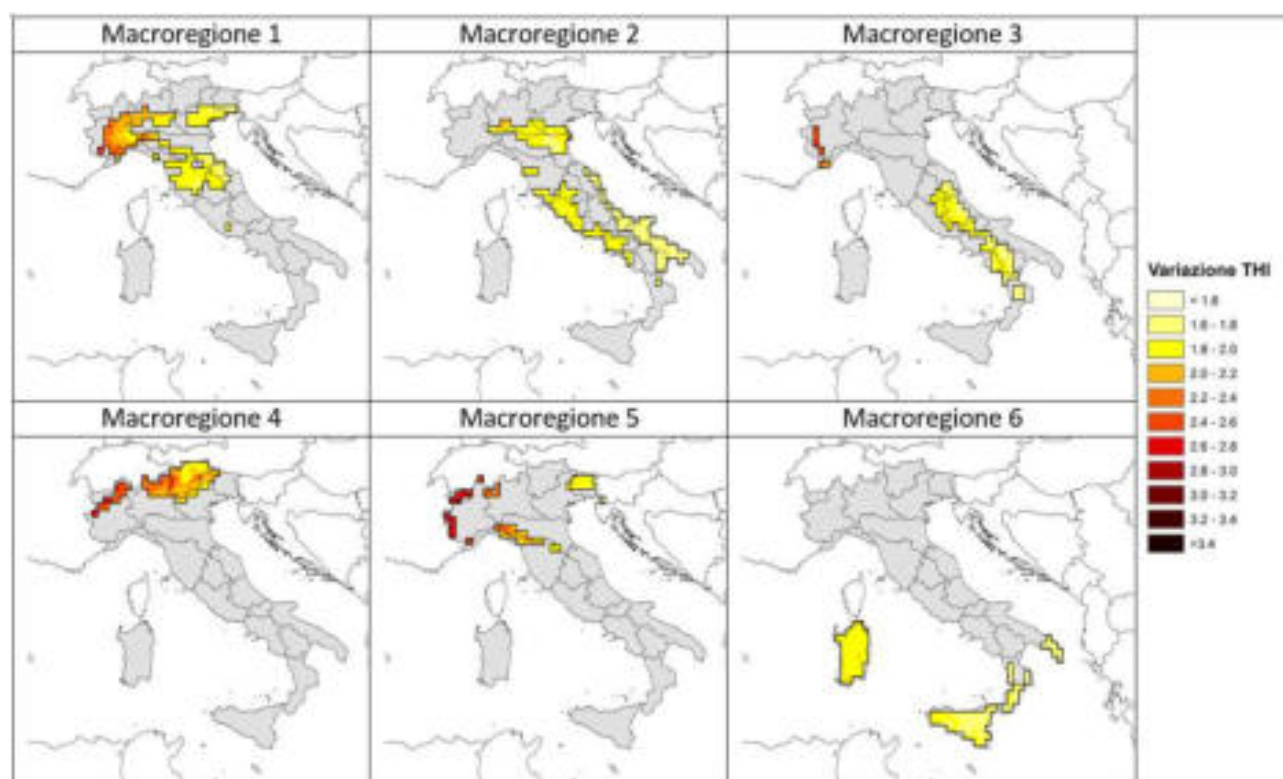


Figura 1-55: Proiezioni di variazioni per la stagione estiva (JJA) dell'indice THI per il periodo 2021-2050 rispetto al periodo storico 1981-2010, calcolati con lo scenario RCP8.5, modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione⁸⁹.

⁸⁷ Dati elaborati da CMCC.

⁸⁸ Dati elaborati da CMCC.

In considerazione delle relazioni dirette e indirette tra clima e animali allevati possiamo affermare che l'aumento del THI e la riduzione della piovosità previsti per le aree climatiche omogenee, in particolare per le zone 1, 2 e 6 in cui sono distribuiti la quasi totalità degli animali allevati, potrà essere la causa di effetti negativi sullo stato di salute, produzione e riproduzione per la maggior parte delle specie di interesse zootecnico. La vulnerabilità del settore zootecnico nei confronti dei cambiamenti climatici sarà specie-specifica e potrà risultare alta negli animali sensibili alle elevate temperature come per i ruminanti da latte e i suini, media per gli avicoli e medio-bassa per i ruminanti da carne.

Sintesi degli impatti attesi per le produzioni vegetali e animali nelle macroregioni climatiche identificate

La Tabella 1-33 riassume i principali impatti attesi dei cambiamenti climatici per ciascuna macroregione climatica omogenea nel periodo 2021-2050, evidenziando possibili opportunità e rischi.

Tabella 1-33: Principali impatti attesi per le 6 macroregioni climatiche per il periodo 2021-2050 con gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

Macroregioni climatiche	Impatti attesi per il 2021-2050 (RCP 4.5 e RCP 8.5)
Macroregione 1	Potenziale riduzione della produttività per colture energetiche come il girasole. Riduzioni di resa per frumento tenero e mais. Riduzione produzione e qualità di frutteti e vigneti (aree dell'astigiano e del trentino) da eventi estremi (es. grandine, gelate tardive dopo inverni miti, alluvioni). Riduzione del benessere animale e del loro stato di salute. Riduzione della quantità e qualità del latte bovino (a rischio produzioni tipiche, ad esempio Parmigiano Reggiano). Riduzione della quantità e qualità di carne prodotta (suina, bovina e avicola). Possibile incremento di vocazionalità territoriale per usi agricoli. Moderato incremento di resa per frumento duro e per il riso nel pavese.
Macroregione 2	Possibili riduzioni di resa per il frumento duro nelle zone tirreniche e adriatiche. Moderate riduzioni di resa per frumento tenero e significative riduzioni di resa per il mais, soprattutto nelle zone tirreniche e adriatiche. Potenziale riduzione della produttività per colture energetiche come il girasole. Potenziale riduzione della produttività per colture foraggere come erba medica. Riduzione del benessere animale e del loro stato di salute. Riduzione della quantità e qualità del latte bovino (a rischio produzioni tipiche, ad esempio Grana Padano) e di quello ovi-caprino e bufalino. Riduzione della quantità e qualità di carne prodotta (bovina, avicola, ovi-caprina e suina). Possibili incrementi di resa per il frumento duro e riso nell'area della pianura padana.
Macroregione 3	Possibile abbandono dei pascoli e conseguente aumento di rischio di valanghe (scivolamento su erba non pascolata) in inverno e di incendi (anche per autocombustione da fulmini) in estate. Possibile rischio di diminuzione delle produzioni dei pascoli. Possibile riduzione della biodiversità associata alle praterie. Possibile incremento di vocazionalità territoriale per alcuni usi agricoli.
Macroregione 4	Possibile riduzione servizi ecosistemici rilevanti, inclusi gli aspetti paesaggistici e culturali/turistici. Riduzione aree prato-pascolive e della conseguente attività preventiva di protezione nei confronti di valanghe e frane. Possibile incremento di vocazionalità territoriale per alcuni usi agricoli.
Macroregione 5	Possibile abbandono delle attività agropastorali di montagna e conseguente aggravio del dissesto idrogeologico. Possibile incremento di vocazionalità territoriale per alcuni usi agricoli.
Macroregione 6	Moderate riduzioni di resa per frumento duro e tenero, leggermente più marcate in alcune

⁸⁹ Dati elaborati da CMCC.

	aree con l’RCP 8.5. Riduzioni di resa più marcate per il mais (soprattutto con RCP 8.5 in alcune aree). Incremento delle richieste idriche per diverse colture in asciutto (colture da tubero, olivo, vite). Incremento dei costi di condizionamento termico per colture orticole (primaverili-estive) in ambiente controllato. Incremento dei costi per produzioni irrigue. Potenziale riduzione della produttività per colture da energia (colza, Brassica carinata, cartamo e cardo). Potenziale riduzione della produttività dei sistemi pastorali estensivi. Riduzione del benessere animale e del loro stato di salute. Riduzione della quantità e qualità del latte ovi-caprino e bufalino. Riduzione della quantità e qualità di carne prodotta (ovina e caprina). Potenziale aumento delle produzioni invernali di foraggio. Potenziale aumento delle rese in risicoltura. Aumento della durata della stagione utile per alcune colture ortive di pieno campo.

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI

Il settore agricolo è fortemente collegato con gli altri settori considerati nell’ambito del Piano nazionale per l’adattamento al cambiamento climatico. In questa sezione sono brevemente descritti i principali legami con gli altri settori.

L’agricoltura italiana è fortemente legata alla disponibilità e all’accesso alla **risorsa idrica** e in particolare gli ordinamenti colturali irrigui hanno sempre rappresentato un punto di forza in termini di reddito e di occupazione per il nostro paese. Le variazioni dovute ai cambiamenti climatici a carico dei regimi pluviometrici (quantità, frequenza, intensità, etc.) influiscono notevolmente sulle disponibilità idriche per uso agricolo. A questo si aggiunge un’accentuata competizione nell’utilizzo della risorsa idrica con gli altri settori economici che vede la necessità da parte del settore agricolo di introdurre delle strategie di adattamento per fronteggiare la minore disponibilità idrica. Accanto alla riduzione della disponibilità di risorse idriche si verifica un aumento dei consumi da parte delle colture agricole per un aumento dei processi evapotraspirativi causati dall’incremento termico in corso. Anche in questo caso è necessario ricorrere ad azioni di adattamento in grado di ridurre i consumi come, ad esempio, il cambiamento della varietà o della specie utilizzata, le variazioni di pratiche colturali, etc.

Il suolo agricolo è un’immensa risorsa non soltanto in termini produttivi, ma anche in termini di drenaggio e di regolamentazione delle acque. Le pratiche agricole giocano un importante ruolo in questo senso: un’agricoltura troppo intensiva può favorire fenomeni di **degrado e perdita di suolo** con conseguenti smottamenti soprattutto in concomitanza di eventi climatici estremi, mentre pratiche oculate, sostenibili e a basso impatto ambientale possono garantire una regimazione delle acque e dei versanti contribuendo favorevolmente alla prevenzione del rischio di eventi catastrofici come alluvioni.

Il rimboschimento o imboschimento di terreni agricoli abbandonati potrebbe essere un’azione determinante per garantire una copertura del suolo ed evitare **rischi idrogeologici dovuti ad erosione e dissesti in genere**, a cui le terre prive di copertura vegetale sono più propensi.

L’agricoltura ha un ruolo bivalente nei confronti della **biodiversità e della tutela degli ecosistemi**. Pratiche intensive, con utilizzo di alte concentrazioni di sostanze chimiche, contribuiscono alla riduzione della diversità biologica sia a livello animale che vegetale, con impatti drammatici su interi ecosistemi. Al contrario, una produzione agricola sostenibile, con pratiche a basso impatto ambientale, quali ad esempio l’agricoltura di precisione, l’agricoltura integrata e biologica, capaci di rispettare le risorse naturali come il suolo e il mantenimento di elementi naturali (es. siepi, filari alberati, boschetti, capezzagne, alberi isolati, piccoli specchi d’acqua) in grado di fungere anche da risorsa a livello produttivo (es. con la creazione di

specchi d'acqua utilizzati per l'irrigazione), può influenzare positivamente la biodiversità animale e vegetale.

È importante tutelare anche la diversità genetica delle colture, attraverso ad esempio la protezione di varietà diverse, antiche e locali, per ottenere colture adattabili a situazioni estreme sempre più presenti con l'evidente cambiamento climatico in atto.

L'agricoltura è da sempre strettamente interconnessa con le **foreste**: molte terre che oggi sono agricole derivano storicamente da una sottrazione di tali aree al bosco. Allo stesso tempo i terreni agricoli abbandonanti tendono spontaneamente a diventare aree boschive o aree agricole marginali e possono essere convertite in superfici boscate tramite imboschimenti o rimboschimenti. Tali processi hanno l'obiettivo 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 e aumentare la capacità di sequestro di carbonio. Gestire in maniera sostenibile l'importante equilibrio tra agricoltura e foreste è fondamentale per favorire l'adattamento al cambiamento climatico di entrambi i settori: se da un lato foreste ben gestite e ad elevato tasso di biodiversità rendono il territorio meno vulnerabile e più facilmente adattabile al cambiamento climatico, dall'altro le pratiche agricole sostenibili garantiscono la presenza dell'uomo e la conservazione del paesaggio nelle aree rurali, elementi fondamentali per l'applicazione delle azioni di adattamento proposte.

Il comparto agricolo può contribuire inoltre, attraverso coltivazioni dedicate (biomasse di prima generazione) o l'utilizzo di residui colturali o deiezioni zootecniche (biomasse di seconda e terza generazione), insieme a quello forestale, **alla produzione di biomasse e biocombustibili per energia**. È opportuno incentivare l'utilizzo di biomasse di seconda e terza generazione rispetto a quelle di prima generazione, al fine di ottimizzare la produzione agricola e il relativo utilizzo degli input e delle risorse, per un duplice scopo (alimentare ed energetico), riducendo al contempo il rischio connesso con il cambio di destinazione produttiva che comporterebbe la diminuzione delle superfici utilizzabili per la produzione alimentare.

Le attività agricole, e in particolare quelle intensive, richiedono l'utilizzo di input energetici (es. per irrigazione, lavorazioni etc.), che potrebbero essere peraltro accentuati nel tentativo di adattamento ai cambiamenti climatici in atto e futuri (es. maggiore necessità di irrigazioni per poter mantenere le produzioni). L'**efficienza energetica** e l'utilizzo di fonti rinnovabili possono risultare fondamentali per il comparto agricolo sia nel favorire l'applicazione di azioni di adattamento con minor dispendio energetico sia in un'ottica di mitigazione del cambiamento climatico.

Gli effetti dei cambiamenti climatici potranno avere delle ripercussioni sulla **salute** degli animali e degli esseri umani attraverso una riduzione delle quantità e della relativa qualità degli alimenti disponibili. Cambiamenti delle condizioni climatiche possono inoltre favorire la diffusione di patogeni che colpiscono sia le colture agricole che gli allevamenti. Per far fronte a tali situazioni potrebbe rendersi necessario un aumento nell'utilizzo di sostanze e composti chimici quali antibiotici, fitofarmaci o l'utilizzo di varietà **OGM** (Organismi Geneticamente Modificati) che, nonostante il loro utilizzo sia ammesso nel rispetto dei limiti imposti dalle normative, rappresenterebbero un rischio per la contaminazione chimica degli alimenti e lo sviluppo di patogeni antibiotico resistenti. È dunque di fondamentale importanza definire delle azioni di adattamento che aumentino la resilienza delle colture e degli animali di allevamento nei confronti di agenti patogeni.

La riduzione della capacità produttiva dei sistemi agricoli a causa dei cambiamenti climatici potrebbe avere anche delle ripercussioni su alcune patologie animali e umane legate all'alimentazione, che possono diventare problematici anche nei nostri territori.

Eventi estremi sempre più frequenti (quali incendi, alluvioni, etc.) associati ai cambiamenti climatici avranno degli impatti su attività **Agrituristiche e Turismo Enogastronomico** a causa di possibili variazioni del paesaggio rurale, alla riduzione delle produzioni agricole o alla scomparsa di varietà colturali autoctone (ad es. produzione di tipologie di vino da vitigni diversi dagli attuali ma che meglio si adattano alle nuove

condizioni climatiche). Il turismo rurale riveste un ruolo molto importante nella conservazione delle attività agricole e nel mantenimento del paesaggio rurale: l'incremento di reddito derivante dalla vendita e commercio di prodotti agricoli compenserebbe in parte la perdita dovuta alla riduzione delle rese, incentivando gli agricoltori a non abbandonare le superfici agricole.

I cambiamenti climatici potranno avere delle ripercussioni sul mantenimento dei nuclei abitati rurali (edifici ad uso agricolo, frantoi, mulini, stalle, etc. o ad uso abitativo e/o turistico), così come 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). Ciò potrebbe comportare la perdita di strutture storiche e la riduzione del valore del paesaggio, con ripercussioni anche sul valore della "dieta mediterranea" in relazione alla riduzione di disponibilità di produzioni agricole locali e del bagaglio di saperi, sapori, tradizioni e spazi sociali legati al territorio. È dunque di fondamentale importanza tutelare il **patrimonio culturale** dall'abbandono e dal disfacimento dovuto a calamità naturali, attraverso azioni che favoriscano la presenza dell'uomo in agricoltura e le sue attività al fine di mantenere il presidio delle zone rurali e salvaguardare il paesaggio.

Il legame inoltre tra agricoltura e **centri urbani**, con la presenza di aree destinate ad esempio alla costituzione di orti urbani potrà, oltre alla grande funzione sociale svolta, avere anche un ruolo di volano termico e di disinquinante (come il caso di diverse coltivazioni energetiche o della canapa) e aiutare nella distribuzione di prodotti freschi a chilometro zero con le conseguenze sugli obiettivi di mitigazione, contribuendo alla riduzione dell'impronta ecologica delle aree urbane (trasporto, imballaggio, deposito, preparazione e smaltimento alimenti).

La coltivazione lungo gli argini dei fiumi, qualora la qualità dell'acqua sia adeguata a garantire la salubrità degli alimenti, potrà rappresentare anche un ottimo strumento di prevenzione nei confronti del rischio di alluvione.

NORMATIVE, PIANI E PROGRAMMI ESISTENTI PER L'ADATTAMENTO

La Politica Agricola Comune (PAC) rappresenta il principale strumento giuridico per l'implementazione delle politiche per il settore agricolo a livello Europeo, con applicazione a scala regionale e locale per il Paese. L'esistenza di una politica europea comune per l'agricoltura è di fondamentale importanza, considerando la doppia sfida a cui l'agricoltura deve rispondere, pur continuando a mantenere la sua principale funzione produttiva: se da un lato quello agricolo è uno dei settori che maggiormente risente degli effetti dei cambiamenti climatici in atto e attesi, dall'altro è anche una fonte di emissioni di gas serra, e pertanto deve contribuire agli sforzi di mitigazione, sia riducendo le proprie emissioni, sia sfruttando il suo potenziale naturale di serbatoio di carbonio nei suoli e nelle biomasse. Proprio in quest'ottica, la PAC fornisce al settore agricolo un sostegno di natura finanziaria, indirizzato all'innovazione e ammodernamento dei metodi di produzione agricola e dei sistemi di allevamento, al fine di aumentare la resilienza dei sistemi agricoli e affrontare in maniera efficace gli effetti dei cambiamenti climatici, ma anche di promuovere un'agricoltura sostenibile e rispettosa dell'ambiente finalizzata a ridurre le emissioni di gas serra.

Le risorse destinate alle misure della PAC 2014-2020 sono suddivise in pagamenti diretti e interventi di mercato per specifici settori, entrambi afferenti al "primo pilastro", e Programmi di Sviluppo Rurale (PSR), che costituisce il "secondo pilastro" della PAC, con il cofinanziamento dalle risorse nazionali.

La PAC 2014-2020 mantiene distinti i due pilastri ma rafforza i collegamenti tra di loro, creando un approccio integrato e generale alle misure di sostegno. Per il periodo di programmazione 2014-2020 la PAC investirà in Italia circa 37,5 miliardi di euro nel settore agricolo e nelle zone rurali.

La PAC 2014-2020 introduce una nuova organizzazione dei pagamenti diretti rispetto al passato, più mirata, più equa e più «verde». Infatti, il pagamento per le azioni del "greening" (inverdimento) riveste fondamentale importanza (il 30% dei massimali per i pagamenti diretti), attraverso il sostegno a pratiche

agricole benefiche per il clima e l'ambiente che mirano a conseguire obiettivi specifici relativi alla qualità del suolo e delle acque, alla biodiversità, alla salvaguardia del paesaggio e alla mitigazione dei cambiamenti climatici e all'adattamento ad essi (Reg. UE 1307/2013). Tra le pratiche del *greening*, la diversificazione delle colture, il mantenimento dei prati permanenti esistenti e di aree di interesse ecologico sulla superficie agricola sono da ritenersi fondamentali per il comparto agroalimentare.

La politica di sviluppo rurale (PSR) risponde agli obiettivi strategici a lungo termine per lo sviluppo rurale nel territorio dell'Unione europea nel periodo 2014-2020, in linea peraltro con la strategia di Europa 2020, il quadro per il clima e l'energia 2030 e la roadmap per un'economia europea a basse emissioni di carbonio entro il 2050.

Alla politica di sviluppo rurale (PSR) viene assegnata una percentuale fissa del 24% delle risorse della PAC. Il 30% delle risorse PSR sono destinate a interventi di interesse agroalimentare quali misure agro-climatico-ambientali, agricoltura biologica, ma anche la conservazione della biodiversità (forestazione, premi Natura 2000 per le zone soggette a vincoli naturali e per i servizi silvo-climatico-ambientali e di salvaguardia delle foreste).

I tre obiettivi strategici PSR di lungo periodo, economico, ambientale e sociale, contribuiscono alla competitività dell'agricoltura, alla gestione sostenibile delle risorse naturali, all'azione per il clima e allo sviluppo equilibrato delle zone rurali.

Nell'ambito del PSR, gli Stati membri e le regioni elaborano i rispettivi programmi di sviluppo rurale in funzione dei bisogni dei loro territori e tenendo conto delle seguenti sei priorità comuni dell'UE in materia di sviluppo rurale:

- promuovere il trasferimento di conoscenze e l'innovazione nel settore agricolo e forestale e nelle zone rurali;
- potenziare la redditività e la competitività di tutti i tipi di agricoltura e promuovere tecnologie innovative per le aziende agricole e una gestione sostenibile delle foreste;
- favorire l'organizzazione della filiera alimentare, il benessere degli animali e la gestione dei rischi nel settore agricolo;
- preservare, ripristinare e valorizzare gli ecosistemi relativi all'agricoltura e alle foreste;
- incoraggiare l'uso efficiente delle risorse e il passaggio a un'economia a basse emissioni di CO₂ e resiliente al clima nel settore agroalimentare e forestale;
- promuovere l'inclusione sociale, la riduzione della povertà e lo sviluppo economico nelle zone rurali.

Queste sei priorità promuovono alcuni temi principali, ossia "ambiente, cambiamento climatico e innovazione", finanziati dalle tre misure preferite dagli Stati membri che riguardano investimenti in immobilizzazioni materiali, misure per pagamenti agro-climatico-ambientali e misure a favore delle zone soggette a vincoli naturali o ad altri vincoli specifici. Dunque, gli interventi tradizionali della politica di sviluppo rurale (investimenti nelle aziende agricole con caratteri di innovazione) volti a migliorare l'efficienza nel comparto irriguo e nell'utilizzo dell'energia e aumentare l'integrazione territoriale delle imprese agricole mediante la riduzione degli impatti negativi dell'agricoltura sull'ambiente, affiancano azioni che prevedono l'utilizzo di tecniche agronomiche e disciplinari di produzione integrata a ridotto impatto ambientale (per stimolare e rafforzare i metodi e le pratiche funzionali al razionale utilizzo delle risorse e alla difesa del suolo) al miglioramento dell'adattamento ai cambiamenti climatici, alla gestione sostenibile dei fertilizzanti (che ne determina un minor utilizzo perché ne massimizza l'efficienza) e delle emissioni di gas serra e all'incremento del sequestro del carbonio.

Strettamente associata ai pagamenti agro-climatico-ambientali sono le azioni mirate a promuovere la gestione dei rischi in agricoltura (art. 36 del Reg. 1305/2013) con azioni quali i contributi finanziari per il pagamento dei premi di assicurazione, i contributi finanziari versati ai fondi di mutualizzazione e uno strumento di stabilizzazione del reddito, e le azioni di ripristino del potenziale produttivo agricolo danneggiato da calamità naturali e da eventi catastrofici (Art. 18) che prevedono l'introduzione di adeguate

misure di prevenzione, tali da preservare la conservazione delle superfici agricole e forestali e della loro potenzialità di assorbire e stoccare il carbonio.

A contorno delle principali misure del settore agricoltura rivestono importanza anche azioni relative al trasferimento delle conoscenze e delle innovazioni nel settore agricolo, interventi di consulenza assistenza tecnica e divulgazione agricola, nonché interventi relativi alla cooperazione afferenti a specifiche misure rafforzando la promozione delle reti per la diffusione dell'agricoltura sociale.

La politica di sviluppo rurale dell'UE è finanziata dal Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR), con una dotazione di cento miliardi di euro per i 28 stati membri per il periodo 2014-2020, con una quota pari a più di 10 miliardi di euro per l'Italia.

Per il settore zootecnico, il Programma di Sviluppo Rurale Nazionale (PSRN) traccia una strategia di adattamento ai cambiamenti climatici di lungo periodo attraverso il miglioramento genetico del patrimonio zootecnico e la salvaguardia della biodiversità animale. Tra i diversi obiettivi della misura viene indicato il miglioramento genetico delle specie e razze allevate in termini di: adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici (aumento della resilienza), riduzione delle emissioni in atmosfera, benessere animale, efficienza produttiva e riproduttiva (intesa soprattutto come qualità e sostenibilità delle produzioni) e resistenza naturale degli animali alle patologie.

Un altro pilastro del PSNR riguarda la gestione del rischio in cui si prevede lo sviluppo di polizze assicurative per il raccolto, gli animali e le piante. La misura, attraverso l'erogazione di un contributo sul premio assicurativo pagato dagli agricoltori/allevatori, ha lo scopo di aumentare e migliorare l'offerta assicurativa e renderla accessibile al maggior numero possibile di aziende. Ad esempio, nell'ambito degli effetti generati dal cambiamento climatico, per il settore zootecnico è prevista una polizza assicurativa agevolata che risarcisca la mancata produzione di latte per le elevate temperature. Affinché venga risarcito il danno deve essere riscontrata una perdita produttiva superiore al 15% dovuta a esposizioni a valori termoisolometrici superiori al 90° percentile di riferimento per almeno 3 giorni. Sono assicurabili solo gli allevamenti che hanno dei sistemi di raffrescamento combinati (ventilazione e acqua) e funzionanti.

Anche tra le politiche regionali di sviluppo rurale (PSR), attive per il periodo di programmazione 2014-2020, è possibile individuare azioni che hanno lo scopo di aumentare la resilienza delle aziende zootecniche nei confronti dei cambiamenti climatici. Tra queste ad esempio le misure che prevedono investimenti materiali e/o immateriali finalizzati al miglioramento delle prestazioni e della competitività dell'azienda. Tra gli investimenti che hanno finalità di adattamento e che sono riconducibili al settore zootecnico troviamo i miglioramenti strutturali per il benessere degli animali finalizzati alla realizzazione di condizioni più favorevoli di allevamento. Gli investimenti strutturali per il benessere degli animali riguardano gli edifici, l'installazione di dispositivi tecnologici e attrezzature sanitarie che favoriscano il benessere degli animali e compensino i costi aggiuntivi e i mancati guadagni derivanti dalle pratiche specifiche. Tra i diversi interventi realizzabili viene indicata anche la possibilità di installare sistemi di raffrescamento (ventilatori con o senza nebulizzazione di acqua) e reti ombreggianti.

Tuttavia va sottolineato come i PSR siano programmi di finanziamento a carattere volontario, che si attuano in coerenza con i regolamenti e gli indirizzi comunitari, ma che, affidandosi alla proattività delle imprese agricole, mostrano l'evidente limite di non poter raggiungere tutte le imprese e, di conseguenza, di poter assumere il solo ruolo di orientamento delle politiche agricole sul territorio nazionale.

Al fine di implementare efficaci azioni di adattamento del settore agricolo, sarebbe opportuno che le misure di adattamento agissero a livello di sistema lavorando sull'integrazione tra I e II pilastro della PAC, in particolare promuovendo azioni di sensibilizzazione e di coinvolgimento degli addetti tramite le rappresentanze e le associazioni di categoria, così da raggiungere il maggior numero possibile di addetti del comparto agricolo.

Tali azioni di sensibilizzazione potranno fornire indicazioni su temi prioritari per l'adattamento ai cambiamenti climatici, formare e quindi orientare gli agricoltori verso pratiche agricole più adattive rispetto

a quelle tradizionali, nonché indirizzare gli obblighi di *greening* del I pilastro in modo coordinato a livello territoriale.

Interazioni tra strategie di adattamento e mitigazione

Le conoscenze disponibili sulle relazioni bidirezionali tra coltivazioni e clima e tra allevamento e clima rendono disponibili diverse possibilità di adattamento ai cambiamenti climatici.

Al fine di sfruttare le sinergie e non compromettere la stabilità dei sistemi, le strategie di adattamento dovrebbero essere valutate assieme a quelle di mitigazione. Le azioni di mitigazione e di adattamento possono infatti considerarsi tra loro complementari e non alternative.

Le strategie di adattamento hanno un impatto solitamente positivo sulla mitigazione in quanto agiscono migliorando sia l'efficienza di utilizzo dell'azoto sia incrementando le riserve di carbonio nel suolo.

In particolare misure relative alla riduzione dell'erosione del suolo, della lisciviazione di azoto e del fosforo, e misure finalizzate alla conservazione dell'umidità del suolo e alla diversificazione delle rotazioni colturali sono state indicate da numerosi studi condotti sia a livello nazionale che globale (Olesen and Bindi 2002; PICCMAT 2007; Bindi and Olesen 2010) come alcune tra le migliori e le più efficienti adottabili.

Allo stesso modo azioni di mitigazione in campo agricolo che hanno l'obiettivo di aumentare lo stoccaggio di carbonio nel suolo incrementando il contenuto di sostanza organica comportano un miglioramento sia della resa colturale sia la stabilità delle produzioni (Pan et al. 2009). Una diversificazione nella tipologia di fertilizzazione correttamente valutata e gestita (Bertora et al. 2009) (es. l'iniezione dei fertilizzanti organici direttamente nel suolo o l'interramento immediato), di lavorazione del suolo (*minimum o no-tillage*) e di gestione delle rotazioni (Vakali et al. 2011) e dei residui colturali può aiutare a ridurre il processo di mineralizzazione della sostanza organica, con effetti positivi in termini di mitigazione dei flussi di carbonio e azoto in atmosfera.

Altrettanto importante sia in termini adattativi che mitigativi è la gestione efficiente dell'irrigazione per ridurre da una parte l'uso dell'acqua, salvaguardando una risorsa molto limitata e abbassando il costo di produzione (Molden et al. 2010) (Dinar and Mendelsohn 2011) e dall'altra prevenendo gli effetti di perdite per lisciviazione, e dei conseguenti incrementi della fertilizzazione azotata per compensarle, derivanti da una cattiva gestione dell'irrigazione (Perego et al. 2012). L'agricoltura e il bestiame consumano grandi quantità d'acqua: in Italia l'agricoltura e il bestiame rappresentano il 54% del totale di acqua prelevata dall'insieme dei settori agricolo, urbano (20%) e industriale (26% compresa l'energia)⁹⁰. Diventa quindi fondamentale individuare azioni che consentano un'ottimale gestione della risorsa e della sua ripartizione tra i settori, secondo l'approccio del *nexus water-food-energy* per una valutazione globale e integrate della risorsa, al fine di individuare sinergie e compromessi tra i diversi settori, gruppi di interesse e obiettivi di sviluppo.

Tutte le opzioni devono essere vagliate attentamente e valutate affinché possano soddisfare gli obiettivi di adattamento e mitigazione. Ad esempio l'impiego di colture di copertura, che comportano un aumento del carbonio nel suolo, in paesi caratterizzati da scarsità della risorsa idrica possono influenzare negativamente la disponibilità di acqua per la coltura primaria e, conseguentemente ridurre il rendimento (Smith and Olesen 2010). Allo stesso modo politiche mitigative orientate verso lo sviluppo e la produzione di colture energetiche o forestali, possono 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.

Anche se al momento non tutti gli effetti sinergici tra le diverse opzioni sono sufficientemente noti e solamente limitate informazioni sono disponibili in merito ai costi per la loro applicazione, l'integrazione tra adattamento e mitigazione è un obiettivo fondamentale da perseguire. Infine, essendo la maggior parte di queste misure legate strettamente ad uno specifico contesto territoriale, devono essere valutate caso per caso, tenendo sempre in considerazione la differenza temporale tra i vantaggi derivanti dalle azioni di

⁹⁰ fonte ISTAT 2017, <https://www.istat.it/it/archivio/198245>

adattamento, immediatamente percepibili, e i benefici della mitigazione, che potranno valutarsi solo molti anni dopo rispetto alla loro applicazione (World Bank 2008).

È inoltre fondamentale considerare la necessità di orientare tutto lo sviluppo della filiera agroalimentare verso *Agrifood 4.0* che mira a migliorare lo sviluppo tecnologico, la sostenibilità e la competitività attraverso sistemi produttivi *smart* che consentono tramite il miglioramento della gestione delle risorse utilizzate, maggiori livelli di tutela ambientale.

La sfida che il settore alimentare deve affrontare consiste nel mantenere e accrescere la produzione, limitando i danni derivanti dai cambiamenti climatici e sfruttandone quando possibile le opportunità e accrescere la sua competitività, aumentando le esportazioni, riducendo l'impatto ambientale e la pressione sulle risorse naturali e garantendo la produzione di prodotti di qualità, sani, sicuri per i consumatori.

Gli interventi previsti per *l'Agrifood 4.0*⁹¹ possono contribuire all'evoluzione dei modelli colturali tradizionali verso le potenzialità offerte dall'ICT alle singole imprese e alle filiere produttive in cui queste si inseriscono, sia per ciò che riguarda attività specifiche (approvvigionamento, promozione, distribuzione, vendita, processi agricoli e industriali, etc.), sia per ciò che riguarda le attività di supporto (come il trasferimento tecnologico), e il raccordo con la gestione delle risorse naturali e l'adattamento e la mitigazione ai cambiamenti climatici.

⁹¹ www.clusteragrifood.it/images/allegati/022017Bonaretti.pptx

SINTESI

La pesca nazionale contribuisce solo per una modesta parte alla richiesta interna di prodotti ittici ma ha notevole importanza in termini storici, culturali e di gestione dell'ambiente marino, cui si aggiunge un'elevata importanza socio-economica (circa 27.000 lavoratori diretti nel 2013, senza contare l'indotto). Dato questo ruolo tradizionale è importante, dunque, studiare gli impatti legati ai cambiamenti climatici e le vulnerabilità da essi indotte in questo settore produttivo.

Nei mari italiani e nell'intero Mediterraneo gran parte degli stock ittici di interesse commerciale sono sovrasfruttati, e in molti casi è difficile distinguere gli effetti dell'eccessiva pesca da quelli determinati dai cambiamenti climatici. Numerosi lavori scientifici hanno dimostrato che i cambiamenti climatici tendono ad influenzare molteplici processi ecologici tra cui anche la produttività degli stock; pertanto, è di fondamentale importanza ridurre il tasso di sfruttamento delle stesse popolazioni, così da renderle più resilienti. Tuttavia, le norme comunitarie e nazionali finora adottate per regolare l'attività e la capacità della flotta di pesca si sono dimostrate poco efficaci e quindi molti stock sono ormai ridotti a bassi livelli di biomassa, con forte incidenza di individui giovani e/o immaturi.

Nondimeno, negli ultimi anni sono state adottate norme più stringenti, aumentando sia la responsabilità degli Stati UE nell'assicurarne il rispetto, sia l'entità delle sanzioni per i trasgressori. Appare quindi lecito sperare che in tempi non troppo lunghi si potrà giungere a livelli di sfruttamento non eccedenti quelli corrispondenti al "Massimo Rendimento Sostenibile", obiettivo gestionale che la UE si è impegnata a raggiungere entro il 2020.

I cambiamenti climatici hanno effetti anche sulla composizione delle comunità, perché specie non indigene e termofile, di origine subtropicale, tendono a stabilirsi nei mari italiani, mentre alcune specie autoctone, che necessitano di temperature dell'acqua inferiori, divengono sempre meno abbondanti. Essendo però relativamente poche le specie apprezzate dal mercato, queste variazioni tendono ad avere effetti per lo più negativi per la pesca.

Oltre che sugli stock ittici, i cambiamenti climatici avranno impatti locali, anche assai diversificati, con effetti sia sulla produttività delle risorse che sulle operazioni di pesca. A ciò si aggiunge il fatto che i pescatori dovranno più frequentemente adattare le tattiche di pesca, che dovranno necessariamente differire, almeno in parte, da quelle del passato e, quindi, le conoscenze tramandate o apprese per esperienza diverranno meno utili.

Infine, è da considerare l'esiguità delle risorse economiche dedicate agli interventi mitigativi degli impatti dei cambiamenti climatici o di adattamento ad essi, dovuta anche all'ormai cronica scarsa redditività della pesca marittima nazionale, collegata alla concorrenza dei prodotti dell'acquacoltura o provenienti dalla pesca in aree extra mediterranee.

INTRODUZIONE

La pesca marittima contribuisce in modesta parte alla richiesta interna di prodotti ittici ma, in termini di PLV (Produzione Lorda Vendibile, considerando i prezzi allo sbarco è superiore a 800 milioni di Euro nel 2013; Sabatella 2015, si veda Tabella 1.1), è la prima nel Mediterraneo, se si escludono gli Stati che dispongono anche di ampi tratti costieri che si affacciano sul Mar Nero o sull'Atlantico orientale. Oltre ad avere un discreto, seppur decrescente, ruolo occupazionale e produttivo soprattutto in alcune Regioni (Sicilia, Veneto e Marche), la pesca è importante per le positive interazioni con il turismo, per il controllo di ampi tratti di mare antistanti le nostre coste, per la conservazione delle competenze nautiche di un importante ceto professionale, nonché per ragioni storico-culturali.

A livello comunitario, la Direttiva Quadro 2008/56/CE, nota come "Strategia Marina", è l'atto normativo che più completamente riconosce la necessità di mantenere l'ambiente marino che ricade sotto la sovranità o la competenza degli Stati membri in una condizione di "Buono Stato Ambientale" (o GES, *Good Environmental Status*), affinché gli ecosistemi possano continuare a funzionare nel tempo, garantendo utili o indispensabili servizi (ad esempio acque idonee per la balneazione) e prodotti (quali, ad esempio, i prodotti della pesca).

La Direttiva Quadro sulla Strategia Marina richiede che gli stock di specie commerciali siano sfruttati a livelli non eccedenti il "Massimo Rendimento Sostenibile" (situazione in cui la mortalità da pesca di una popolazione ittica è tale da assicurare il massimo delle catture, garantendo però il mantenimento negli anni della consistenza numerica e della struttura di età dello stock) e che questo obiettivo gestionale sia conseguito, per i principali stock commerciali sfruttati, entro il 2020.

Nel 2009, la Commissione europea nel commentare la riforma della Politica Comune della Pesca (PCP) ha riconosciuto, per la prima volta ad un elevato livello politico e amministrativo, che "Il cambiamento climatico sta già producendo un impatto sui mari europei, con ripercussioni sull'abbondanza e la distribuzione degli stock ittici e che 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" (EC 2009c).

Il Reg. (UE) N. 580/2014 sul FEAMP (Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca) prevede, all'art. 41, finanziamenti per migliorare l'efficienza energetica della pesca in mare e/o ridurre le emissioni di gas serra. L'alta priorità data a questo tipo di interventi è dovuta alla percezione che essi servano sia per mitigare questa particolare forma di impatto ambientale della pesca, sia perché il consumo di carburante rappresenta un'importante voce di spesa per le forme di pesca condotte con reti trainate sul fondo o a mezz'acqua (reti "a strascico" e "volanti"). Tuttavia, in Italia, si prevede che i finanziamenti per questo tipo di mitigazione e adattamento del settore pesca agli impatti dei cambiamenti climatici saranno modesti, in quanto si vuole evitare che l'accresciuta efficienza delle imbarcazioni finisca col determinare una maggiore pressione sugli stock ittici (Ministero Politiche Agricole Alimentari Forestali 2015).

CARATTERISTICHE DELLA PESCA MARITTIMA NEL MEDITERRANEO ED EVOLUZIONE RECENTE DEL SETTORE IN ITALIA

Il mar Mediterraneo è considerato oligotrofico (a bassa produttività primaria; (Crise et al. 1999, Lazzari et al. 2016) e quindi, generalmente, poco pescoso. Tuttavia la grande variabilità in termini di trofismo e idrodinamica (Crise et al. 1999), rende alcuni bacini (Adriatico e Canale di Sicilia), prevalentemente caratterizzati da ampie zone di piattaforma continentale, di discreta rilevanza produttiva ed economica in termini di pesca (Cataudella and Spagnolo 2011).

L'attività di pesca è esercitata, generalmente, fino a una profondità di 200 m, ma alcune risorse vengono sfruttate fino a profondità di anche 500-600 m (molto raramente oltre). Inoltre, i cicli biologici delle principali specie commerciali si svolgono entro queste batimetriche (ad es. nasello, triglia, gambero rosa). Tuttavia, 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 a 100-150 metri.

Dal momento che nelle acque mediterranee i valori di temperatura fino a circa 30 m di profondità (fino a 100 m tra il tardo autunno e l'inizio primavera) tendono a corrispondere a quella media dell'aria al suolo nel mese precedente (Marullo et al. 2007; Raitos et al. 2010), è evidente come le risorse ittiche delle acque costiere siano influenzate anche da rialzi di non grande durata della temperatura ("ondate di calore", che si ritiene diverranno sempre più frequenti e intense in un prossimo futuro; Lionello et al. 2009).

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 il flusso genetico. Tutto ciò comporta, per molte aree, la possibilità di considerare individui della stessa specie come appartenenti a stock distinti, sia in termini di gestione che per il monitoraggio delle catture.

Muovendo da queste considerazioni, il GFCM (*General Fisheries Commission for the Mediterranean*), organismo FAO, ha istituito delle sotto-aree geografiche (*Geographic Sub-Areas, GSA*), che funzionano da unità gestionali per le risorse oggetto di pesca. Le GSA di interesse nazionale sono: GSA 9 e 10 (rispettivamente, mare Ligure e Tirreno settentrionale, Tirreno centrale e meridionale), GSA 11 (mari attorno alla Sardegna), GSA 16 (parte settentrionale del canale di Sicilia), GSA 19 (mar Ionio settentrionale) e GSA 17 e 18 (mar Adriatico centro-settentrionale e meridionale, rispettivamente). Per queste aree è prevista la stima della consistenza dei principali stock commerciali e la loro gestione.

Considerando la pesca dei nostri mari, si rileva che da quasi un quindicennio è in atto un lento declino sia nei livelli di capacità della flotta, sia nei quantitativi sbarcati e immessi sul mercato (Cataudella e Spagnolo 2011). Infatti, nel periodo 2000-2013, il valore di prima vendita dell'intera produzione nazionale si è più che dimezzato, passando da 2.020 a 832 milioni in euro (IREPA 2004; Sabatella 2015).

Anche se per il 2014-2015 non si dispone di dati precisi (dal momento che quelli raccolti ai sensi dei Regolamenti CE N. 199/2008 e CE N. 665/2008 non sono stati ancora diffusi), le informazioni note riguardo all'andamento dei consumi ittici pro capite in Italia, agli scambi di prodotti ittici con l'estero (ISMEA 2014, 2015) e stime di massima sulla produzione recente dell'acquacoltura (sulla base dei dati in Ministero Politiche Agricole Alimentari Forestali 2014) indicano che la situazione produttiva ed economica del settore della pesca è rimasta critica.

In Tabella 1-34 sono riportati dati produttivi ed economici della pesca marittima italiana nel 2004 e nel 2013 (da Sabatella, 2015), da cui è possibile evidenziare l'inequivocabile situazione di sofferenza del settore. In particolare, è da segnalare come nel 2013 si sono registrati profitti netti prossimi allo zero, indicando che in quell'anno le spese d'esercizio e quelle per il rinnovo della flotta e delle attrezzature furono tali da non potere remunerare i capitali investiti, di fatto rendendo impossibili ulteriori investimenti.

Tabella 1-34: Dati sintetici su struttura e andamento produttivo ed economico della pesca nel 2004 e 2013⁹².

Anno	N.ro barche	N.ro pescatori	Sbarcato (tonn.)	PLV (10 ⁶ €)	Costi produttivi (10 ⁶ €)	Ammortamenti e altre spese in capitale (10 ⁶ €)	Retribuzioni lorde (10 ⁶ €)	Profitto lordo (10 ⁶ €)	Profitto netto (10 ⁶ €)
2004	14.873	35.070	288.000	1.379	508	224	400	471	247
2013	12.582	27.053	173.000	832	410	190	233	189	- 1
PLV: Produzione Lorda Vendibile €: Euro a valori del 2013									

Oltre alla situazione critica della quasi totalità degli stock bersaglio, la pesca italiana soffre anche la "focalizzazione" dei consumatori su poche specie pregiate o più note ai consumatori, cosicché la commercializzazione della rimanente parte del pescato diviene difficile anche qualora sia di buona qualità. La forte concorrenza del prodotto dell'acquacoltura, nazionale o estera, e della pesca in aree extra mediterranee, infine, rappresenta un ulteriore fattore di criticità, in quanto esso è caratterizzato da prezzi generalmente più bassi e talvolta da una più alta qualità in termini di composizione di specie o di taglia.

⁹² Sabatella 2015.

IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE RISORSE DI PESCA E COLLEGATA VULNERABILITÀ (O OPPORTUNITÀ) PER IL SETTORE

Se si considerano gli ultimi decenni, 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 un incremento più consistente, relativo al mese di giugno (0.16 °C/anno), rilevato nel mar Ligure, Tirreno e Adriatico (Nykjaer 2009). L'anomalia della SST rispetto alla media 1961-1990 ha toccato i +1 °C nel 2015 (Desiato et al. 2016). Rilevazioni effettuate in profondità, a 300-800 m, confermano il fenomeno del riscaldamento in atto nelle acque mediterranee e la sua accelerazione in tempi recenti (Artale et al. 2009). Tali dati sono in linea con varie previsioni (Adloff et al. 2015), incluse quelle messe a disposizione dal sistema europeo CMEMS (*Copernicus Marine Environment Monitoring System*; <http://marine.copernicus.eu>), che, sulla base di modelli calibrati per il periodo 1981-2010, suggeriscono un aumento della media annua della temperatura superficiale di circa 1.2 °C per il periodo 2021-2050. In dettaglio le simulazioni indicano un aumento maggiore delle temperature invernali e primaverili per il bacino Adriatico (valori compresi tra 1.5 °C e 2 °C), mentre le anomalie più rilevanti sono stimate per il periodo estivo soprattutto nel Mar Tirreno (~1.5 °C) e, similmente, nell'alto Adriatico e nello Ionio (si veda paragrafo 1.1.1 Aree Marine/Costiere).

Dal momento che la maggior parte degli organismi marini sono eterotermi (la temperatura corporea dipende da quella del mezzo esterno), l'incremento della temperatura dell'acqua è atteso avere un crescente impatto sulla loro fisiologia. Si possono prevedere sensibili effetti su molte popolazioni di interesse commerciale, con loro spostamento a latitudini più settentrionali o in acque più profonde, in quanto gli individui tendono a muoversi verso le zone corrispondenti al loro *optimum* termico (Cheung et al. 2008; Portner 2010). Tale fenomeno è stato già osservato, ad esempio, per gli stock ittici di interesse commerciale del NE Atlantico o dei nostri mari (Pinnegar 2012; Fortibuoni et al. 2015) e per alcune specie di pesci e altri organismi del Mediterraneo (Lasram and Mouillot 2008; Marbà et al. 2016).

Si può prevedere, inoltre, che l'aumento della temperatura comporterà una maggiore stratificazione delle acque marine, con conseguente rallentamento dell'afflusso dagli strati inferiori dei nutrienti, in particolare fosfati e nitrati, che sono necessari alla produzione primaria (Doney et al. 2012). Pertanto, in generale, sebbene sia possibile prevedere un aumento della produzione legato all'incremento della temperatura (effetto positivo diretto), questo non sarà sufficiente a compensare l'effetto indiretto negativo sulla produttività primaria dovuto alla stratificazione (Lazzari et al. 2014). Inoltre, il minore afflusso dei nutrienti nella zona fotica comporterà un aumento delle attività microbiche e una catena trofica caratterizzata da organismi planctonici di taglie inferiori (Lazzari et al. 2014), con possibili effetti a cascata sui livelli trofici successivi (Garzke et al. 2014). Nelle zone costiere prossime alle foci di grandi fiumi, le quali, in ambito mediterraneo, sono le più idonee alla pesca per effetto degli apporti in termini di nutrienti e di sostanza organica in sospensione, si potrebbe registrare una contrazione della produttività primaria a causa del previsto calo delle precipitazioni e quindi della portata dei fiumi (Gualdi et al. 2009). Inoltre, uno sfasamento del picco stagionale delle precipitazioni comporterebbe l'arrivo dei nutrienti in stagioni nelle quali le alte o basse temperature potrebbero essere un fattore limitante per gli organismi fitoplanctonici, causando un'ulteriore diminuzione della produttività primaria (Cossarini et al. 2008). Sebbene sia alquanto complesso prevedere gli effetti a cascata sulla rete trofica derivanti contestualmente dal cambio di produttività, aumento di temperatura e competizione trofiche tra specie (es. Libralato et al. 2015), tuttavia tali fenomeni possono determinare un'ulteriore diminuzione nella produzione di pesca, soprattutto nelle aree produttive sotto l'influenza dei fiumi (costa veneto-romagnola e acque marine prossime alle foci di Tevere e Arno).

Il pluriennale calo del pescato e le frequenti morie di vongola comune (*Chamelea gallina*), ad esempio, sono state recentemente attribuite allo stress fisiologico indotto da elevate temperature dell'acqua, associate a scarsa presenza di plancton (Romanelli and Giovanardi 2012); tali fenomeni hanno buone

probabilità di persistere e forse di aggravarsi nel prossimo futuro. Inoltre, la prevista acidificazione delle acque marine (legata alla maggiore concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, e alla sua successiva soluzione in mare; Cossarini et al. 2015) potrebbe diventare un elemento critico per la deposizione del carbonato di calcio della conchiglia, in particolare negli stadi larvali, determinando ulteriore stress, sia a livello individuale che di popolazione, per i molluschi in generale.

Esistono indicazioni circa il negativo andamento del reclutamento (ossia l'entrata di una nuova classe annuale di età nella frazione della popolazione sfruttabile commercialmente) del nasello, *Merluccius merluccius*, in anni con inverni o estati più calde della norma (Abella et al. 2008; Bartolino et al. 2008), ed è noto che la specie si riproduce per lo più in autunno e inverno, mentre i giovanili sono abbondanti a temperature dell'acqua di 14-18 °C (Morales-Nin and Moranta 2004; Recasens et al. 2008). Pertanto, si può ipotizzare che i cambiamenti climatici abbiano già effetti sulla consistenza delle popolazioni di questa specie, combinandosi con l'impatto legato al sovrasfruttamento cui è soggetta; tale fenomeno è destinato ad aggravarsi in futuro, sebbene sia difficile valutare il grado di attendibilità di tale previsione.

In proposito, i dati ottenuti negli ultimi decenni lungo le coste atlantiche europee relativamente allo sbarcato di alcune specie commerciali e alla consistenza del rispettivo reclutamento evidenziano un generale trend negativo nell'abbondanza dei giovanili, indipendentemente dalla biomassa dei riproduttori, suggerendo possibili impatti legati ai cambiamenti climatici (Gascuel et al. 2014). Questa ipotesi, rafforzerebbe l'idea che pure le popolazioni mediterranee di specie ittiche commerciali già soffrano negativi impatti connessi ai cambiamenti climatici.

I cambiamenti climatici hanno sicuramente favorito, nel corso dell'ultimo decennio, la diffusione nelle acque del Mediterraneo settentrionale di numerose specie sia animali che vegetali, inclusi patogeni (Lejeusne et al. 2010), prima presenti solo sul versante meridionale del bacino, o provenienti da aree subtropicali (Lasram and Mouillot 2008; Zenetos et al. 2012; Azzurro 2016). Per quanto riguarda i pesci vi sono anche forme di interesse commerciale. In futuro, quindi, potrebbe aumentare l'abbondanza di barracuda (*Sphyraena* spp.), di alcuni Carangidi e di lampuga (*Coryphaena* spp.), offrendo nuove possibilità ai pescatori (Azzurro et al. 2011). In ogni caso, stime complessive sembrano indicare che questi contributi non saranno sufficienti, nel complesso, a bilanciare le diminuzioni o sparizioni di specie, per cui è attesa una generale riduzione delle risorse pescabili da parte della pesca (Cheung et al. 2009, 2012; Libralato et al. 2015), anche per il potenziale effetto negativo di nuovi patogeni (Lejeusne et al. 2010).

In Tabella 1-35 sono sintetizzati i molteplici effetti dei cambiamenti climatici previsti nei prossimi decenni nei mari italiani.

Tabella 1-35: Riepilogo dei prevedibili effetti dei cambiamenti climatici sulle acque mediterranee e sulle loro risorse biologiche.⁹³

A - Effetti idrologici, in oceanografia fisica e biologica	Variazioni attese	Impatti	Impatti a livello di sub-aree geografiche
a1) Incremento delle temperature annuali e stagionali delle masse d'acqua	Nel periodo 2021-2050 incrementi medi di SST rispetto al periodo 1981-2010: 1,5-2,0 °C in Adriatico durante l'inverno e la primavera, di 1,2-1,5 °C nelle altre stagioni; negli altri mari aumenti di SST media di 1,5 °C in estate, di 1,2°C nelle restanti stagioni	Modificazioni differenziali della fenologia delle specie marine	Riduzione dell'abbondanza di specie stenoterme fredde, adattate a temperature presenti solo nelle zone più fredde del Mediterraneo, quali NADR e CADR (es. <i>Sprattus sprattus</i> , <i>Solea solea</i> e <i>Merlangius merlangius</i> ; (Grbec et al. 2002, Vallisneri et al. 2004) Possibili impatti negativi per le popolazioni di sardina e di nasello in tutti i mari italiani (Ganias et al. 2007, Recasens et al. 2008)
a2) Decremento del livello di saturazione delle acque per O ₂ e altri gas	Minori livelli di ossigeno gassoso in acqua	Possibili incrementi delle aree e degli eventi di morie di organismi bentonici, maggiore consumo fisiologico per gli animali presenti sul fondo Possibile estensione delle aree di fondo con H ₂ S nell'acqua (tossico per gli organismi aerobici)	Più a rischio le aree poco profonde e con trofia generalmente maggiore, come NADR e CADR
a3) Riduzione del pH delle acque marine	Previsto -0,1 unità pH nel 2040-2050	Difficoltà per le specie con parti calcificate (in particolare stadi larvali)	Possibile parziale impatto sulle risorse di vongola comune (<i>Chamelea gallina</i>) o di quelle di gasteropodi (es. <i>Nassarius mutabilis</i>) oggetto di intensa pesca soprattutto in NADR, CADR nonché, più limitatamente, in SADR
a4) Possibile maggiore stratificazione della colonna d'acqua, che ne ostacolerebbe il rimescolamento	Possibile riduzione <i>mixing layer</i> e nutrienti in zona fotica Riduzione e sfasamento apporto di nutrienti	Riduzione della produzione primaria e parziale aumento dell'importanza dei cicli legati ai batteri (con biomassa non utilizzabile nelle catene trofiche di specie ittiche) Impatto negativo su produzione primaria	Effetti rilevanti soprattutto in zone aperte su fondali relativamente profondi con effetti sui flussi trofici, gassosi e termici in profondità e impatto negativo sulla fisiologia e sul bilancio energetico di animali ivi presenti sfruttati dalla pesca (es. gamberi di profondità). Zone colpite, quindi, tutte le aree ad esclusione delle zone costiere di NADR e CADR
a5) Riduzione delle precipitazioni piovose e delle portate annue dei corsi d'acqua dolce	A livello nazionale si ipotizza un calo nel prossimo futuro di 10%-20% dei mm di pioggia annui rispetto alla media del 1961-1990 (Gualdi et al. 2009)	Variazione della produzione primaria e secondaria con riduzione della biomassa delle specie commerciali	Tutte le zone costiere della penisola saranno interessate. Impatti più intensi in prossimità delle foci dei principali fiumi italiani (Po, Adige, Brenta, Tevere, Arno), ossia in NADR e TYRS

⁹³ Le regioni marine sono identificate tramite i seguenti acronimi: NADR: Adriatico settentrionale, CADR: Adriatico Centrale, SADR: Adriatico meridionale, IONS: Mar Ionio e Mediterraneo centrale, LIGS: Mar Ligure, TYRS: Mar Tirreno, WMED: Mar Mediterraneo Occidentale, CMED: Mar Mediterraneo centrale (Fratianni et al. 2016).

a6) Variazione delle condizioni fisico-chimiche delle acque con conseguente diminuzione della produttività del fitoplancton marino	Ridimensionamento fauna marina	Modificazione della produzione secondaria con riduzione della biomassa delle specie commerciali	Effetti preponderanti in tutte le aree escluse le aree costiere e le zone poco profonde (quindi escluso anche NADR e CADR)
A7) Aumento della frequenza e durata degli eventi di scarsità o assenza di ossigeno gassoso in soluzione nelle acque di fondo	Ipossie e/o anossie al fondo	Morie di organismi demersali e benthos; maggiore dispendio energetico per gli organismi, incremento delle zone di fondo con produzione di H ₂ S (tossico per gli organismi aerobici)	Aree poco profonde tipiche della zona costiera e del NADR sarebbero le più esposte a questi impatti
A8) Mutamenti nella circolazione delle masse d'acqua marina	Spostamento delle zone produttive; riduzione produttività	Sfasamento spaziale con attività di pesca	In mar Ligure e in nord Adriatico (LIGS e NADR) modifiche dell'intensità e frequenza di formazione di "acque dense", con effetti sulla circolazione (Theocharis 2008) Mutamenti idrologici e nella circolazione delle acque possibili pure in altri mari, soprattutto in IONS
B - Effetti interspecifici nei gruppi animali oggetto di pesca	Variazioni attese	Impatti	Impatti a livello di sub-aree geografiche
b1) Cambiamento della composizione specifica dei teleostei, elasmobranchi, molluschi e crostacei decapodi delle varie sottoaree	Favorite le specie termofile, sfavorite le specie di acque temperate fredde	Cambio della struttura della comunità, con effetti sulla composizione del pescato	Potenzialmente esposti tutti i mari italiani, a partire dalle zone meridionali (IONS, WMED, CMED e TYRS)
b2) Creazione di nuovi rapporti di competizione o cooperazione tra specie "residenti" e "invasive"	Modificazione della funzionalità ecologica	Possibile aumento della competizione con specie commerciali	Le maggiori competizioni tra specie invasive e specie residenti avvengono in zone settentrionali, dove lo spostamento è precluso per le alloctone ("cul de sac"): NADR e LIGS
b3) Mutamento delle catene trofiche, strutturale o legato ad occasionali "esplosioni" di specie opportuniste	Variazioni complesse sia in termini di nicchia trofica che termica	Riduzione di specie target della pesca, incremento di nuove specie, cui il mercato potrebbe non essere "pronto"	Tutti i mari italiani sono esposti
b4) Introduzione di nuove malattie e patogeni	Aumento patogeni	Riduzione delle risorse disponibili per la pesca	Tutti i mari italiani sono esposti
C - Effetti intraspecifici o a livello delle singole popolazioni oggetto di pesca	Variazioni attese	Impatti	Impatti a livello di sub-aree geografiche
c1) Modificazione degli areali distributivi di alcune popolazioni	Scomparsa di alcune specie da areali di pesca	Riduzione delle risorse disponibili alla pesca	Tutti i mari italiani sono esposti
c2) Aumento della competizione intraspecifica a seguito delle variazioni di produzione	Contrazioni in termini di abbondanza di alcune popolazioni	Riduzione delle risorse disponibili alla pesca	Impatto maggiore nei bacini semichiusi quali NADR e CADR
c3) Aumento del dispendio energetico individuale legato alla riduzione del pH delle acque	Riduzione dei tassi di crescita individuali e di popolazione	Riduzione delle risorse disponibili alla pesca	Effetto comune a tutti i mari italiani
c4) Aumento del dispendio energetico legato agli eventi di scarsità o assenza di ossigeno disciolto	Riduzione o scomparsa di specie di fondo poco mobili	Riduzione delle risorse disponibili alla pesca	Effetto prevalente in zone a fondali bassi, ad es. in NADR, CADR, TYRS

IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SU SPECIE MARINE NON OGGETTO DI PESCA, SULLE ACQUE MARINE, SULLE CONDIZIONI METEO-MARINE E COLLEGATA VULNERABILITÀ PER IL SETTORE DELLA PESCA

Un importante impatto sulle reti trofiche marine determinato nel Mediterraneo dai cambiamenti climatici degli ultimi decenni è il netto aumento della frequenza di eventi di esplosione demografica di scifomeduse (in particolare *Pelagia noctiluca*) e, più di recente, dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* in Adriatico o di altre forme di macrozooplancton "gelatinoso" (altre specie di meduse, ctenofori e taliacei), sia con riferimento a specie indigene che esotiche (Boero et al. 2008, 2009). Una delle principali cause è stata individuata nell'instaurarsi di condizioni ecologiche (aumentata stratificazione delle acque, irregolare afflusso di nutrienti veicolati dai corsi d'acqua dolce) che hanno determinato flussi trofici sensibilmente più intermittenti. Questo favorirebbe *bloom* ("fioriture") occasionali di queste specie, in quanto trattasi di organismi opportunisti, dotati di elevata capacità moltiplicativa (Boero et al. 2008, 2013). Dato che queste forme di macrozooplancton tendono a competere sia con altro zooplancton fitofago, sia con i pesci zooplanctofagi e spesso sono anche efficaci predatori degli stadi larvali di pesci, una loro eccessiva proliferazione può avere notevoli effetti negativi sulle risorse biologiche sfruttate dalla pesca. Tutto ciò è ben esemplificato dall'invasione dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* in Mar Nero, con conseguente collasso e poi parziale ripresa degli stock ittici (Daskalov 2002; GFCM Secretariat 2012). La probabilità del verificarsi di questo tipo di scenario, che interesserebbe un po' tutti i mari italiani, appare di media entità o, comunque, non trascurabile.

Un altro tipo di impatto dei cambiamenti climatici, futuri o già in atto, sono gli eventi meteo-marini avversi a carattere locale, talvolta gravi, che potrebbero interessare la pesca marittima. Gli eventi in questione potrebbero originare da esondazioni, frane, cedimenti di strutture portuali 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, etc.), 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 interesseranno, presumibilmente, di più le coste tirreniche, perché antistanti superfici marine più ampie e maggiormente esposte al *fetch* (il tratto di mare su cui un vento scorre senza ostacoli, per un determinato lasso di tempo). In parti della costa veneta, il combinarsi del generale innalzamento del livello medio del mare (Artale et al. 2009; si veda anche paragrafo 1.1.1 Aree Marine/Costiere) e della subsidenza localmente in atto da alcuni decenni potrebbe rendere più gravi i fenomeni di erosione costiera (Antonioli and Silenzi 2009), rendendo più costosa e impegnativa la difesa delle infrastrutture costiere, tra cui i porti utilizzati dai pescatori.

Gli impatti di questo tipo interesseranno pure parte delle installazioni civili e delle linee di comunicazione presenti sulle coste di volta in volta colpiti dai citati avversi eventi atmosferici o idrologici. In generale, la probabilità del verificarsi dello scenario descritto, che interesserebbe un po' tutte le coste e i mari d'Italia, appare di entità tra media e alta.

OPPORTUNITÀ DI MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E NORMATIVA A SUPPORTO

Alla luce della molteplicità e intensità degli impatti dei cambiamenti climatici sul settore della pesca marittima, interventi e idonee politiche sono necessari per aumentare la resilienza delle risorse biologiche commerciali e degli interi ecosistemi marini, nonché dei sistemi socio-economici che su di essi si basano, consentendo ai pescatori di ottenere sufficiente remunerazione anche nelle "nuove" condizioni ambientali dei nostri mari.

La principale linea d'azione messa in atto dall'Unione Europea, ormai da vari anni, è quella di ridurre e rimodulare l'attività di pesca onde giungere, per quanto possibile, ad un aumento della taglia media degli individui catturati e ottenere, quindi, gli stessi quantitativi di sbarcato a fronte di un numero inferiore di esemplari prelevati. Questa politica, che mira a ridurre la mortalità per pesca a carico delle popolazioni locali delle varie specie a livelli compatibili con il "Massimo Rendimento Sostenibile" (o MSY, *Maximum Sustainable Yield*) è stata, però, finora poco efficace, giacché la quasi totalità degli stock ittici mediterranei sono ritenuti in situazioni di serio o grave sovra-sfruttamento (STECF 2015; Tsikliras et al. 2015).

Nel 1985 lo sbarcato della flotta italiana raggiunse il suo massimo, con circa 390.000 t (FAO 2016a); analoghi cali produttivi sono stati evidenziati per la flotta greca e quella della Francia meridionale, a fronte di incrementi quantitativamente non elevati per la pesca in Albania e Croazia (IREPA 2006; Matic-Skoko et al. 2014; Bultel et al. 2015; Moutopoulos et al. 2015)). Molteplici possono essere le ragioni sottostanti la mancata riduzione della mortalità per pesca in molti stock in concomitanza coi citati cali produttivi delle varie flotte nazionali (vulnerabilità delle specie a lungo ciclo vitale anche a modesti livelli di pesca, scarsa produzione di nuova biomassa da parte delle popolazioni, diminuzione delle taglie medie, frammentazione geografica delle popolazioni sia per cause naturali che a causa dello sfruttamento). Inoltre, maggiori rigetti in mare, pesca illegale in siti o periodi interdetti potrebbero avere contribuito ad aggravare ulteriormente la situazione (Tsagarakis et al. 2013; Beveren et al. 2014). Resta il fatto che il quadro complessivo delle risorse è decisamente negativo.

La situazione critica degli stock pescati nel nord del Mediterraneo è stata oggetto di discussione in un "*High-level Seminar on the status of the stocks in the Mediterranean Sea*" organizzato a Catania dalla Direzione MARE della Commissione europea e dal MEDAC (Mediterranean Advisory Council, organo consultivo previsto dal Reg. UE n. 1380/2013) il 9-10 febbraio 2016. In questa sede si è ribadito, tra l'altro, la necessità di un più stretto rispetto di tutta la normativa in materia di pesca, in accordo con quanto previsto nei Regolamenti UE n. 1005/2008 e n. 1224/2009. In ogni caso, si deve notare che a netti cali di sbarcato e fatturato non hanno corrisposto, nel corso degli anni, analoghe riduzioni reali della capacità di pesca, perché il numero di imbarcazioni disarmate è stato relativamente modesto e gli incentivi pubblici in materia hanno spesso interessato unità obsolete o poco attive (IREPA 2004) (Corte dei Conti Europea 2011). Il mancato rispetto delle normative e l'aggiornamento dei vincoli imposti, quindi, ha aumentato la concorrenza tra gli operatori, a scapito di una efficace gestione delle risorse stesse.

Indipendentemente dallo scarso successo ottenuto finora in materia, portare la mortalità per pesca dei vari stock ai livelli corrispondenti al loro MSY, consentirebbe, nel lungo periodo, di aumentare nettamente il numero e la biomassa dei riproduttori, con effetti positivi sia sulla resilienza delle popolazioni in presenza di fattori ambientali negativi che sulle catture commerciali, le quali sarebbero più abbondanti, più pregiate in termini di taglia e più stabili nel tempo (Froese and Proelß 2010; Colloca et al. 2013). In particolare, Froese and Proelß (2010) giungono alla conclusione che se, per i 54 stock ittici del NE Atlantico presi in esame, il livello di mortalità da pesca fosse portato a quello corrispondente al MSY delle singole popolazioni, le catture annue potrebbero all'incirca passare da 7,6 a 13,6 milioni di tonnellate l'anno e raddoppierebbe pure la biomassa complessiva dei riproduttori. Naturalmente, tali risultati di lungo periodo sarebbero preceduti da periodi transitori con riduzione ulteriore (rispetto ad oggi) dello sbarcato.

Incrementi proporzionalmente ancora più netti si avrebbero a livello delle catture annue e delle biomasse in mare, qualora la selettività delle reti a traino e di altri attrezzi di cattura fosse modificata in modo che la taglia di prima cattura (in generale, quella alla quale il 50% degli individui di quella dimensione sono prelevabili) fosse sensibilmente aumentata rispetto a quella attuale (ciò soprattutto per il tonno rosso e per alcuni pesci di fondo, come pure per gli scampi, nell'ambito dei crostacei), per cui appare importante sia regolare l'intensità dell'attività in mare e sia le modalità secondo cui essa si svolge, in relazione alla selettività degli attrezzi e alla necessità di evitare lo sfruttamento in aree ad elevata concentrazione di individui di piccola taglia (Colloca et al. 2013).

Al di là dei dettagli tecnici, una riduzione della mortalità per pesca nei vari stock è fondamentale per aumentarne la resilienza e stabilizzare il fatturato della pesca italiana su livelli più elevati di quelli attuali; tutto ciò presuppone, tuttavia, forme di concorrenza meno esasperate, affinché il prelievo sulle risorse sia in equilibrio tra le esigenze economiche e quelle di tutela. In tal senso occorre, pertanto, ridurre il numero di imbarcazioni attive perché le imprese residue possano ben operare e avere idonei margini di guadagno. Il P.O. FEAMP Italia 2014-2020 appare improntato a criteri di massima gradualità nella riduzione della flotta nazionale, prevedendo fondi pubblici per il disarmo di 250 imbarcazioni e un complessivo calo di circa il 9% del numero complessivo delle unità, incluse quelle inattive da tempo, in particolare nell'ambito della "piccola pesca artigianale" (Ministero Politiche Agricole Alimentari e Forestali 2015). Tuttavia, sono previsti sostegni per la messa a punto di piani di "assegnazione delle possibilità di pesca", ossia per indicare alle singole imbarcazioni livelli massimi di cattura, secondo esperienze già in atto in altri Stati europei e in altre parti del mondo (Bonzon et al. 2010).

Oltre a ridurre le capacità di pesca della flotta, nella gestione delle risorse appare importante, come ampiamente segnalato dalle competenti Autorità UE, assicurare uno stretto rispetto della normativa di pesca (a questo proposito va segnalato il problema generato dal fatto che la legislazione nel settore è molta, complessa e altamente variabile), eliminando tutte le forme di attività illegali, non autorizzate e non monitorate. Tali forme di pesca sono invece ancora documentate, in tempi abbastanza recenti, riguardo all'uso di alcuni tipi di reti derivanti (LAV et al. 2010), cosicché è auspicabile che queste situazioni irregolari siano quanto prima risolte. In tal senso, appare positivo che nel P.O. FEAMP Italia 2014-2020 siano stati richiesti cospicui fondi comunitari per incrementare i controlli in mare (Ministero Politiche Agricole Alimentari Forestali 2015).

Nondimeno è da rilevare che lo sviluppo della capacità di pesca dei decenni passati – con condizioni ambientali e trofiche più favorevoli – ha portato all'attuale situazione di disparità tra le dimensioni della flotta e le risorse biologiche disponibili. Tale situazione rende socialmente ed economicamente difficile adottare misure di serio contenimento della pressione di pesca o di sua rimodulazione, anche se possono avere effetti positivi nel medio-lungo periodo. Recenti provvedimenti in materia, infatti, risultano di breve durata (pur essendo essi spesso rinnovati più volte, cosicché la loro efficacia si estende per più anni) e la risposta lenta delle risorse non permette al settore di beneficiare dei sacrifici effettuati. Si veda, ad esempio, la recente riduzione a 22 mm della taglia minima per le vongole comuni adottata in via sperimentale per il triennio 2017-2019; il provvedimento è stato a lungo richiesto dalle associazioni dei pescatori perché ci si attende un discreto incremento produttivo ma è difficile fare previsioni sugli impatti sulle popolazioni, sebbene si ritenga che gli incrementi produttivi saranno relativamente modesti. In altri casi le misure sono articolate in maniera complessa in quanto occorre tenere conto di molteplici interessi o di differenti modalità di pesca, ciò con possibile riduzione dell'efficacia delle misure.

Nell'ambito dei mutamenti organizzativi e operativi imposti dai cambiamenti climatici al settore della pesca marittima, gli interventi descritti si possono considerare sia mitigatori degli impatti negativi sulle risorse ittiche, che, indirettamente, di adattamento per il settore della pesca perché una più corretta gestione delle risorse biologiche consentirà di fronteggiare l'impatto economico delle più difficili condizioni operative. In Tabella 1-36 sono riportati altri tipi di intervento in materia, già in atto, previsti o auspicabili per il settore.

Accanto a misure di gestione dell'attività di pesca, risulta importante consentire ai pescatori di ottenere maggiori margini di guadagno, tramite una riduzione dei consumi energetici, a terra e in mare, oppure grazie ad una migliore commercializzazione di alcune specie (eventualmente "nuove") presenti nel pescato (ad esempio la "alaccia", specie simile alla sardina che in Italia è poco apprezzata, mentre nella Spagna meridionale risulta registrare, da vari anni, catture elevate; Sabatés et al. 2006).

Altre iniziative che nel corso dei prossimi anni dovranno maggiormente svilupparsi sono quelle relative all'integrazione della pesca con il turismo, compresa la pesca sportiva e ricreativa, in quanto questo tipo di attività potrebbero essere una valida integrazione o alternativa alla pesca professionale. Potranno essere poi prese in considerazione particolari forme assicurative (simili a quelle che iniziano ad essere diffuse in

agricoltura) che potrebbero favorire la protezione dei pescatori nei confronti di eventi meteo-climatici eccezionali.

Infine, saranno importanti le iniziative per l'acquisto di dotazioni di bordo che consentano di garantire un confortevole ambiente di lavoro per i pescatori e di proteggerli da infortuni e malattie professionali (Gesmundo et al. 2009).

Tabella 1-36: Misure mitigatrici e adattative per la pesca nei confronti di impatti da cambiamenti climatici.

Intervento o norma	Natura intervento	Obiettivo	Stato di attuazione e commenti
Repressione pesca INN	mitigatrice	Contribuire a rimodulare e ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock	Il P.O. FEAMP Italia 2014-2020 si pone obiettivi numerici riguardo al rilevamento di infrazioni gravi
Incentivi per disarmo imbarcazioni	mitigatrice	Contribuire a ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock	Il P.O. FEAMP Italia 2014-2020 prevede fondi per il disarmo di 250 imbarcazioni
Disarmo imbarcazioni senza incentivi	mitigatrice	Contribuire a ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock	Il P.O. FEAMP Italia 2014-2020 prevede un calo del 9% delle unità della flotta
Assegnazione "possibilità di pesca" a imbarcazioni	mitigatrice	Contribuire a ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock	Nel P.O. FEAMP Italia 2014-2020 non chiaro se il sistema delle "possibilità di pesca" sarà attivato, oppure solo definito
Interdizione permanente della pesca (o di alcune sue forme) in ampi tratti di mare	mitigatrice	Proteggere le popolazioni stanziali di alcune specie dalla pesca e migliorare la ricchezza in specie della fauna e flora dei nostri mari	Nel corso dell'ultimo ventennio sono state istituite alcune ZTB (Zone di Tutela Biologica), le quali però sono di limitata estensione, cosicché il loro positivo effetto sulle risorse ittiche è esiguo o incerto
Finanziamenti per una migliore commercializzazione del pescato o di sue frazioni	mitigatrice e adattativa	Contribuire a ridurre l'attività di pesca e incrementare margini di guadagno dei pescatori	Il P.O. FEAMP Italia 2014-2020 prevede cospicui finanziamenti per una migliore commercializzazione di prodotti ittici, ma in gran parte saranno da allevamenti
Finanziamenti per pescaturismo, ittiturismo e servizi per la pesca sportiva e/o ricreativa	mitigatrice e adattativa	Contribuire a ridurre l'attività di pesca, aiutando i pescatori ad avere nuove fonti di reddito	Nel P.O. FEAMP Italia 2014-2020 previsti questi finanziamenti, ma importo non risulta ancora definito. Inoltre il pescaturismo risulta limitato ad aree di maggiore pregio turistico e la pesca sportiva a zone ricche di pesci di grandi dimensioni
Rimborsi o finanziamenti agevolati per danni da calamità, finanziamenti per miglioramento porti e sale di vendita	adattativa	Migliorare la sicurezza dei pescatori, la resilienza delle imprese di pesca e la commercializzazione del pescato	Nel P.O. FEAMP Italia 2014-2020 previsti finanziamenti di questo tipo ma loro suddivisione per interventi non del tutto definita

ACQUACOLTURA

SINTESI

L'acquacoltura italiana ha strette relazioni con gli ambienti e gli ecosistemi di acque interne, di transizione e marini ed è considerata tra i settori socio-economici più vulnerabili ai cambiamenti climatici (WGII AR5 dell'IPCC). Le politiche europee (Blue Growth, Riforma della Politica Comune della Pesca) promuovono lo sviluppo dell'acquacoltura nell'area Mediterranea e una attenta valutazione degli effetti che i cambiamenti climatici possono avere sullo sviluppo del settore ittico. L'acquacoltura è un settore rilevante nella produzione ittica nazionale, contribuendo a circa la metà dei volumi produttivi, in uno scenario di crescente dipendenza di prodotti ittici dall'estero (>65%). Le attività d'allevamento di pesci e molluschi sono anche molto radicate nei territori e nella tradizione e in alcune regioni rappresentano un'importante fonte di occupazione e di reddito per le comunità costiere e rurali. Il Piano Strategico per l'Acquacoltura (PSA) in Italia (MIPAAF 2015) pianifica alcune azioni per lo sviluppo produttivo ed economico dell'acquacoltura e per una crescita sostenibile e a basso impatto per il 2020.

Il capitolo fornisce una valutazione preliminare di tipo qualitativo degli impatti e della vulnerabilità dell'acquacoltura basata sulle conoscenze disponibili e il giudizio esperto.

Dall'analisi settoriale, la molluschicoltura appare il segmento produttivo sottoposto a un maggior numero di impatti che potranno riguardare: i) la riduzione delle performance delle specie allevate; ii) cambiamenti nel ciclo riproduttivo delle specie, riduzione del reclutamento naturale e della disponibilità di seme; iii) condizioni di stress, insorgenza di malattie, eventi di mortalità per le condizioni ambientali mutate e/o sfavorevoli; iv) episodi di contaminazione legata alla qualità delle acque; v) danni alle infrastrutture e perdita di materiale biologico legate agli eventi estremi.

La molluschicoltura si concentra come numero di impianti e volumi di produzione lungo la fascia costiera Nord Adriatica (Emilia Romagna e Veneto), ritenuta un'area hot-spot per gli effetti del cambiamento climatico. Anche le attività di piscicoltura presenti nel Nord-Est (Veneto e Friuli) potranno essere soggette a impatti significativi per l'innalzamento della temperatura, la riduzione della quantità e qualità delle acque, con conseguenze sulle performance produttive e la salute delle specie allevate. Sono prevedibili, per entrambi i settori produttivi, impatti significativi dei cambiamenti climatici su aspetti produttivi ed economici per le aziende e sulle componenti sociali in alcune aree di produzione. A fronte dei significativi impatti attesi, l'acquacoltura ha una ridotta rilevanza nelle emissioni di gas serra, principalmente legate alla produzione dei mangimi e al consumo di energia elettrica. Inoltre alcuni sistemi di produzione, come ad esempio l'allevamento di molluschi, consentono il sequestro di carbonio dall'ambiente fornendo quindi un servizio ambientale di mitigazione.

Attualmente non vi sono misure in essere per contrastare gli impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura e l'ampliamento delle conoscenze rappresenta una assoluta priorità. Il Piano Strategico Acquacoltura 2014-2020 prevede alcune azioni finalizzate ad acquisire conoscenze e sviluppare strumenti di valutazione degli impatti e dei rischi per il settore, a pianificare e ad attuare interventi di mitigazione e di adattamento. Il Regolamento (UE) n. 508/2014 relativo al Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca, prevede il supporto finanziario per l'attuazione di alcune azioni e investimenti per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.

INTRODUZIONE

L'acquacoltura è il settore a più rapida crescita nell'agroalimentare mondiale. La crescita è trainata dalla necessità di rispondere alla crescente domanda di prodotti ittici e all'impossibilità della pesca di farvi fronte (FAO 2016b).

Nell'UE la produzione complessiva d'acquacoltura è rimasta più o meno invariata dal 2000, mentre nello stesso periodo la produzione mondiale è cresciuta di quasi il 7% all'anno (FAO 2016b). Per promuovere lo sviluppo dell'acquacoltura, la Commissione Europea ha attuato la riforma della Politica Comune della Pesca (PCP) e ha pubblicato degli Orientamenti Strategici (EC 2013b) che illustrano le priorità comuni e gli obiettivi generali da perseguire a livello europeo. Sulla base degli orientamenti, gli stati membri hanno definito dei piani pluriennali nazionali per l'acquacoltura al fine di aumentare le produzioni e la competitività del comparto.

Al 2014, l'acquacoltura italiana contribuisce con oltre 350 mln di euro all'economia nazionale e ha un peso molto rilevante nella produzione ittica, fornendo circa il 45% del valore complessivo del comparto (MIPAAF 2015). Inoltre le attività produttive rappresentano un'importante fonte di occupazione e di reddito per alcune comunità locali, soprattutto in alcune regioni del Nord. Il PSA 2014-2020 prevede lo sviluppo dell'acquacoltura italiana con una crescita stimata del 30% entro il 2025, con l'obiettivo di rispondere alla crescita dei consumi, ridurre le importazioni di prodotti ittici e sostenere le economie locali.

L'acquacoltura è considerata dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, dal Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico e dalla FAO tra i settori socio-economici più vulnerabili ai cambiamenti climatici (EEA 2012c; IPCC 2014b; Pörtner et al. 2014; Brugère and De Young 2015; FAO 2016b). Le attuali politiche europee per sostenere lo sviluppo del settore e la forte espansione dell'acquacoltura in atto nell'area Mediterranea (FAO-SIPAM 2016), sono pertanto le principali ragioni alla base dell'inserimento dell'acquacoltura nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Castellari et al. 2014c).

CARATTERISTICHE DELL'ACQUACOLTURA ITALIANA

L'acquacoltura italiana si caratterizza per la varietà delle specie allevate e delle tecnologie produttive utilizzate, dovute alle diverse condizioni geomorfologiche e ambientali presenti sul territorio e alla disponibilità di tecniche di allevamento tradizionali di tipo estensivo praticate in valli, stagni e lagune costiere, a cui si affiancano le più moderne tecnologie intensive che utilizzano vasche a terra e gabbie in mare di vario tipo (Cataudella and Spagnolo 2011; MIPAAF 2015).

La produzione complessiva, nel 2014, è stata di 149.000 tonnellate, sufficienti a soddisfare solo il 30% della domanda interna di prodotti ittici, corrispondenti a un valore di 366 milioni di Euro (Tabella 1-37), di cui il 57% rappresentato da produzioni di pesci marini e d'acqua dolce e il 33% da molluschi bivalvi. I principali settori produttivi sono la molluschicoltura (100.374 t) la piscicoltura in acque interne (34.849 t) e in acque salmastre e marine (13.492 t). La crostaceicoltura ha scarsa rilevanza produttiva.

Nonostante la diversità delle specie allevate (27), oltre il 97% della produzione italiana è concentrata su 5 specie: mitilo *Mytilus galloprovincialis*, vongola verace *Ruditapes philippinarum*, trota iridea *Oncorhynchus mykiss*, orata *Sparus aurata* e spigola *Dicentrarchus labrax*. A livello europeo l'acquacoltura nazionale riveste un ruolo importante soprattutto per la produzione di alcune specie. Nel 2014, l'Italia è il principale paese produttore di vongole veraci, produce circa metà della produzione comunitaria di *Mytilus galloprovincialis* il 45% della produzione di storioni e il 20% circa delle produzioni di trota iridea.

La distribuzione degli impianti di acquacoltura riflette in generale le caratteristiche geografiche del territorio, l'abbondanza di risorse idriche fluviali, la presenza di ecosistemi naturalmente sfruttabili e di siti costieri con caratteristiche ambientali particolarmente favorevoli (1, Figura 1-57). Per tali ragioni il Nord ha un ruolo dominante nell'acquacoltura italiana, in termini di numero di impianti e di produzioni (Tabella 1-37). L'Emilia Romagna e il Veneto rappresentano circa il 50% della produzione nazionale, seguite dal Friuli Venezia Giulia, dalla Puglia e dalla Sardegna. 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 marine (spigole, orate, e altre specie minori) prevale nelle regioni del centro-sud e nelle isole (Toscana, Sicilia, Lazio, Sardegna, Puglia). Per la molluschicoltura, le produzioni

insistono sulla fascia adriatica, e si concentrano in Emilia Romagna e Veneto, che unitamente coprono circa il 67% della produzione nazionale. Seguono la Puglia, il Friuli Venezia Giulia, la Sardegna, le Marche, la Campania e la Liguria (1, Figura 1-57).

Per le sue caratteristiche peculiari, l'acquacoltura italiana possiede elementi di vulnerabilità ai cambiamenti climatici piuttosto significativi, legati alla localizzazione geografica degli impianti, alla loro concentrazione e ai volumi di produzione. Infatti, la maggior parte degli impianti si concentra nell'area a Nord-Est della penisola e lungo le coste dell'Alto Adriatico ritenute aree *hot-spot* per gli effetti dei cambiamenti climatici (Torresan et al. 2012). Un altro elemento di vulnerabilità riguarda i settori di produzione e la tipologia di allevamento.

Tabella 1-37: Imprese e produzione di acquacoltura in Italia⁹⁴.

Le imprese (numero)	810
<i>Distribuzione geografica</i>	n.
Nord	532
Centro	88
Sud/Isole	190
<i>Ripartizione per settore</i>	n.
Molluschi bivalvi	401
Pesci	392
Crostacei	4
Pesci e crostacei	4
Pesci e molluschi	9
Produzione nazionale (tonnellate)	148.730
<i>Distribuzione geografica</i>	ton
Nord	102.391
Centro	20.925
Sud/Isole	25.414
<i>Ripartizione per settore</i>	ton
Molluschi bivalvi (acqua salata)	100.374
Pesci (acqua dolce)	34.849
Pesci (acqua salata)	13.492
Crostacei	15
<i>Principali specie allevate</i>	ton
Mitilo	63.700
Vongola verace	36.527
Trota	32.082
Orata	6.845
Spigola	5.724
Storione	824
Cefali	779
Anguilla	572
Valore della produzione (milioni di euro)	366
Molluschi	157
Pesci	209

Fonte ISPRA su dati MiPAAF/Unimar

⁹⁴ Dati 2014.

Nelle regioni nord adriatiche, in particolare in Emilia Romagna e Veneto si concentra la maggiore produzione di molluschi (mitili e vongole veraci) che vengono allevati principalmente con tecniche tradizionali in ecosistemi sensibili (ambienti di transizione e zone costiere) e solo in parte con tecniche più moderne in acque marine off-shore. Analogamente in Friuli Venezia Giulia sono concentrate le produzioni di salmonidi in acque interne (principalmente trote) per la disponibilità di acque di buone qualità. Nel Veneto le produzioni d’acquacoltura estensiva sono localizzate in acque marine e salmastre e nelle lagune costiere che presentano un elevato grado di vulnerabilità.

Le aziende d’acquacoltura che operano in questi settori sono principalmente cooperative o consorzi di piccole dimensioni e/o aziende a conduzione familiare, che possono incontrare maggiori difficoltà nell’attuazione di possibili misure e azioni di adattamento.



Figura 1-56: Distribuzione degli impianti di piscicoltura e volume delle produzioni per Regione⁹⁵.

⁹⁵ Elaborazione ISPRA su dati MiPAAF/Unimar.



Figura 1-57: Distribuzione degli impianti di molluschicoltura e volume delle produzioni per Regione⁹⁶.

⁹⁶ Elaborazione ISPRA su dati MiPAAF/Unimar.

IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E VULNERABILITÀ DELL'ACQUACOLTURA

Effetti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura

L'acquacoltura è molto sviluppata negli ecosistemi ritenuti più vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico, quali le coste, le lagune e le foci fluviali (Philippart et al. 2011; De Silva 2012); è quindi prevedibile che possa essere significativamente influenzata (Callaway et al. 2012; Rosa et al. 2012; Hilmi et al. 2015). Secondo il rapporto dell'IPCC (2014), le principali variazioni del clima che interesseranno la regione Mediterranea con possibili implicazioni per l'acquacoltura, sono:

- incremento della temperatura delle acque (previsti circa + 2°C entro fine secolo; alta confidenza);
- incremento della salinità (0.5 ppt entro fine secolo, più nell'Adriatico; media confidenza);
- acidificazione del mare (0.3-0.4 unità di pH entro fine secolo; bassa confidenza);
- innalzamento del livello del mare (30-60 cm entro fine secolo; bassa confidenza);
- aumento della frequenza di eventi meteo-climatici estremi (ondate di calore, episodi siccitosi, precipitazioni piovose intense, inondazioni, mareggiate);
- riduzione delle precipitazioni annuali medie e dei flussi fluviali (e associata riduzione della produttività primaria e secondaria lungo le zone costiere vicino alle foci di grandi fiumi);
- stress delle risorse idriche.

Le variazioni climatiche potrebbero determinare effetti biofisici di cambiamento rilevanti sulle specie, in particolare per:

- superamento della tolleranza termica delle specie allevate;
- condizioni di ipossia delle acque (stratificazione);
- cambiamenti fenologici delle specie (maturazione precoce, riproduzione anticipata, comparsa precoce delle forme larvali etc.);
- problemi di calcificazione degli organismi (conchiglia dei molluschi e problemi di sviluppo);
- sviluppo di organismi dannosi (bloom algali, invasioni di meduse etc.);
- maggiore rischio di diffusione di malattie e aumento della virulenza dei patogeni;
- introduzione di nuovi agenti patogeni;
- diffusione di specie invasive;
- arretramento linea di costa e aumento dell'erosione (alluvioni/mareggiate etc.);
- riduzione della qualità e della disponibilità di acqua (soprattutto al Sud e nelle isole).

Secondo la letteratura di riferimento vi sono evidenze di *potenziali impatti* dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura per:

- riduzione della crescita e della sopravvivenza delle specie;
- eventi di morie diffuse;
- aumento della suscettibilità alle malattie;
- nuove malattie;
- rischio sanitario da biotossine algali;
- alterazione delle fasi migratorie e del ciclo riproduttivo delle specie ittiche;
- riduzione del reclutamento naturale e di seme per l'avvio dei cicli produttivi;
- danni alle infrastrutture e perdita dei lotti allevati;
- riduzione dei siti idonei per l'allevamento;
- riduzione della disponibilità di farine e oli di pesce per mangimi e innalzamento dei prezzi;
- riduzione della produttività.

Nel 2015 la Commissione Europea nell'ambito dell'Iniziativa Blue Growth di Horizon 2020 ha lanciato uno specifico bando "*Forecasting and anticipating effects of climate change on fisheries and aquaculture*" per prevedere e anticipare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle attività di pesca e acquacoltura.

Sono stati finanziati due progetti di ricerca: ClimeFish (<http://climefish.eu>) e CERES (<http://ceresproject.eu/>) che vedono anche la partecipazione di Università Italiane.

Le attività di ricerca sono volte a:

- supportare la gestione della pesca e lo sviluppo dell'acquacoltura, riducendo le incertezze e i rischi derivanti dai cambiamenti climatici, ottimizzando gli strumenti scientifici, favorendo le politiche di attuazione e di pianificazione delle produzioni;
- consentire ai decisori politici, ai pescatori e agli operatori dell'acquacoltura di prepararsi e adattarsi ai diversi scenari del cambiamento climatico, riducendo al minimo le perdite economiche e le conseguenze sociali;
- identificare le opportunità che potrebbero verificarsi nei diversi scenari per la pesca e l'acquacoltura e prepararsi a raccogliere i potenziali benefici.

Impatti sui principali settori di produzione

Sulla base delle conoscenze disponibili e del giudizio esperto è stata elaborata una analisi qualitativa sulla sensibilità dei settori produttivi ai potenziali fattori biofisici di impatto (Tabella 1-38, Tabella 1-39).

La molluschicoltura risulta il settore che potrebbe risentire maggiormente delle variazioni delle condizioni ambientali (Viaroli et al. 2007; Melaku Canu et al. 2010; Bressan et al. 2014; Rizzi et al. 2016) (Rodrigues et al. 2015) (Manganelli 2016). **Temperature** superficiali **più elevate** delle acque, **ondate di calore estivo** e variazioni nella disponibilità di **nutrienti** potranno influenzare la sopravvivenza e la crescita dei bivalvi (Gazeau et al. 2013; Bressan et al. 2014; Chust et al. 2014; Mackenzie et al. 2014a; Michaelidis et al. 2014) (Rodrigues et al. 2015). L'acidificazione delle acque potrà influenzare lo sviluppo della conchiglia nelle prime fasi di sviluppo, con effetti sulla sopravvivenza del seme utilizzato per l'avvio dei cicli produttivi (Mackenzie et al. 2014b; Range et al. 2014). Anche il rischio sanitario dei lotti allevati potrà diventare rilevante, per variazione degli **agenti patogeni** e/o aumento della patogenicità di patogeni noti (Bazzoni et al. 2015). È possibile che alcuni siti risultino non più idonei per le attività produttive.

Tabella 1-38: Sensibilità dei sistemi di molluschicoltura ai fattori biofisici di impatto.

MOLLUSCHICOLTURA			
	Mitilicoltura Flottante/Fisso	Venericoltura sul fondo	Ostricoltura in sospensione
Aumento della temperatura	A	M	A
Riduzione concentrazione di ossigeno	M	A	M
Variazioni di salinità	M	B	M
Stratificazione delle acque	M	M	M
Acidificazione delle acque	M	B	M
Bloom di alghe tossiche	A	A	B
Incidenza e diffusione di malattie	A	M	A
Ondate di calore estivo/gelo invernale	A	A	A
Eventi estremi	A	A	A

A= alta; M=media; B=bassa

Anche le produzioni di **piscicoltura estensiva** in lagune, valli e stagni costieri presentano elementi di vulnerabilità (Tabella 1-39). Il cambiamento delle condizioni ambientali, quali **variazioni di temperatura**, **salinità**, pH, **concentrazione di ossigeno** disciolto, contenuto di **nutrienti**, potrà influenzare i delicati equilibri ecologici in questi ambienti con effetti sulla fisiologia e fenologia delle specie sfruttate e conseguenze sulla produttività di questi ambienti di transizione gestiti per la produzione ittica (Ferrari 2011; Marino and Livi 2011; Manciocco et al. 2014; Peer and Miller 2014; Pörtner et al. 2014).

La **piscicoltura intensiva in acqua dolce** risentirà principalmente della riduzione dei siti idonei per l'allevamento e della disponibilità di acqua dolce. 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 (Jeuthe et al. 2015). Le condizioni di stress cui saranno sottoposti i pesci potranno renderli più sensibili alle **malattie** (Alborali 2006; Marcos-López et al. 2010).

Per la **piscicoltura intensiva in acqua marina**, con impianti *in-shore* localizzati in aree costiere, la riduzione della qualità delle acque e dei **siti disponibili** potranno avere effetti sulle performance produttive e sulla salute dei lotti allevati, oltre ai danni strutturali alle gabbie d'allevamento per il rischio di eventi estremi (Danovaro et al. 2009; Pope et al. 2014; Besson et al. 2016; Bosch-Belmar et al. 2016a, b). Per gli allevamenti *offshore* l'impatto prevalente sarà costituito dai **danni strutturali alle gabbie** e alle conseguenti perdite dei lotti, legati agli **eventi meteo-marini estremi** (tempeste e mareggiate).

Tabella 1-39: Sensibilità dei sistemi di piscicoltura continentale e marina ai fattori biofisici di impatto.

PISCICOLTURA				
	Intensivo acqua dolce (vasche)	Estensivo (ecosistemi di transizione)	Intensivo acqua marina (vasche)	Intensivo in mare marina (gabbie)
Aumento della temperatura	A	A	B	B
Riduzione concentrazione di ossigeno	M	A	B	B
Variazioni di salinità	-	A	B	-
Stratificazione delle acque	-	M	-	B
Acidificazione delle acque	-	M	B	B
Incidenza e diffusione di malattie	A	M	M	M
Ondate di calore estivo/ gelo invernale	M	A	B	B
Mareggiate	-	B	B	A
Inondazioni e alluvioni	A	A	M	B
Stress idrico	A	A	M	-

A= alta; M=media; B=bassa

Vulnerabilità dei principali settori di produzione

Una stima qualitativa della vulnerabilità delle attività d'acquacoltura nelle regioni italiane è riportata in Figura 1-58. L'analisi ha tenuto conto della sensibilità dei principali sub-settori di produzione, delle tipologie di allevamento, dei cicli di produzione e della capacità di adattamento al fine di elaborare una mappa di vulnerabilità sulla base della distribuzione degli impianti presenti sul territorio nazionale e il grado di vulnerabilità stimato. La figura evidenzia come la maggiore vulnerabilità sia nelle regioni Veneto, Emilia Romagna e Friuli, che rappresentano i principali poli produttivi dell'acquacoltura nazionale.

I probabili effetti delle variazioni climatiche attese per le aree marine e terrestri che interesseranno i settori produttivi dell'acquacoltura sono riportati sinteticamente nella Tabella 1-40.

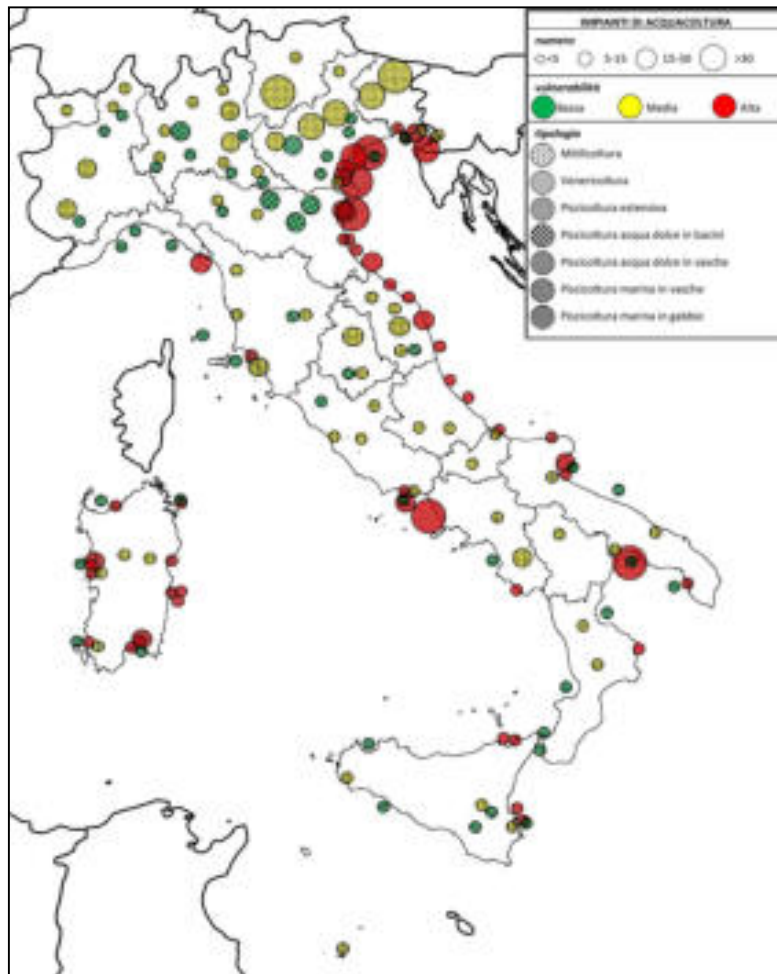


Figura 1-58: Analisi della vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi produttivi in acquacoltura.

La localizzazione prevalente degli impianti di **molluschicoltura** coincide con il bacino dell'Alto Adriatico dove è previsto nel periodo 2021-2050 un aumento della temperatura delle acque superficiali compreso tra 1.5-2.0 °C e un maggior numero di anomalie climatiche durante l'estate. Inoltre le attività produttive sia di mitilicoltura che di venericoltura sono strettamente dipendenti dalle condizioni ambientali e bio-ecologiche degli ecosistemi di transizione che le ospitano cioè le foci fluviali e le lagune che ricadono prevalentemente nella macroregione climatica 2 (pianura Padana, alto versante adriatico e le aree costiere dell'Italia centro-meridionale) dove si prevede un significativo aumento dei *summer days*. Le variazioni climatiche comporteranno un peggioramento dello stato ambientale ed ecologico delle lagune e della fascia costiera dell'alto Adriatico (capitolo sugli Ecosistemi di acque interne e di transizione) con problemi ambientali più gravi (rischio di crisi distrofiche) nelle lagune chiuse e stagni costieri con basso ricambio idrico. Non trascurabili saranno gli impatti sulla molluschicoltura esercitata nelle lagune e aree costiere ricadenti nella macroregione climatica 6 (aree insulari ed estremo sud dell'Italia) caratterizzata per essere la più calda e la più secca e dove si prevede una riduzione delle precipitazioni estive e un moderato aumento dei *summer days* che in questi bacini di più piccole dimensioni aumenteranno il rischio di crisi ipo-anossiche e il verificarsi di significative fluttuazioni di temperatura e salinità con conseguente impatto sulla molluschicoltura e piscicoltura estensiva.

L'analisi della vulnerabilità evidenzia una significativa criticità per il settore di **piscicoltura d'acqua dolce**, e principalmente per la produzione di Salmonidi (prevalentemente la trota, specie d'acqua fredda), che rappresenta la seconda voce produttiva dell'acquacoltura nazionale dopo la molluschicoltura. Come illustrato nella Figura 1-58 le trotilture sono localizzate principalmente nel Nord-Est dell'Italia (Friuli Venezia Giulia, Veneto, Lombardia e Trentino Alto Adige) che ricadono nelle macroregione climatica 1 delle Prealpi, in parte nella macroregione 4 che include l'Area Alpina e nella 5 Italia settentrionale (Friuli Venezia

Giulia). Gli allevamenti di trote sono anche presenti lungo l'Appennino centrale, con prevalenza in Umbria, che rientra nella macroregione climatica 3. In generale, queste zone saranno interessate da una riduzione delle precipitazioni e dei *frost days*. Le trotilcolture generalmente sfruttano acque derivate da sorgenti e fiumi alpini e appenninici. Come riportato nel capitolo sugli "Ecosistemi di acque interne e di transizione", gli ecosistemi fluviali saranno interessati dall'innalzamento della temperatura media annuale dell'aria di 1.5°C e dalla variabilità del regime idrologico che dipenderà dalle precipitazioni nevose e dalle piogge in relazione alla loro collocazione geografica. Gli impatti attesi sul settore della piscicoltura d'acqua dolce e in particolare d'acqua fredda, riguarderanno quindi una riduzione della disponibilità e qualità delle acque con conseguenze sulla produttività e salute dei lotti allevati.

La **piscicoltura intensiva di specie marine** prevale nelle regioni del centro-sud e nelle Isole (Mar Tirreno, Ionio, Mediterraneo occidentale, centrale e orientale). Gli impianti a terra potranno risentire maggiormente nell'innalzamento della temperatura dell'acqua di circa 1.5 °C e delle anomalie più alte e diffuse previste nel Mar Tirreno, con maggiori implicazioni e costi gestionali (ossigenazione delle acque, manutenzione delle strutture di allevamento, alimentazione dei pesci) e un maggiore rischio di insorgenza di patologie. Gli allevamenti in gabbia off-shore risultano particolarmente vulnerabili agli impatti derivanti da fenomeni meteo-climatici estremi come le tempeste e le mareggiate per le quali al momento non sono disponibili dati previsionali.

Dall'analisi degli impatti e della vulnerabilità sui principali settori di produzione emergono i seguenti punti conclusivi:

- l'innalzamento della temperatura rappresenta il principale fattore d'impatto che influenzerà direttamente la tolleranza termica, la fisiologia e la resistenza di alcune specie allevate e i cicli produttivi, e indirettamente la disponibilità dei siti di allevamento;
- le produzioni di molluschicoltura e di piscicoltura localizzate lungo le zone costiere e lagunari del Nord Adriatico sono le più vulnerabili (Macroregione climatica 2);
- l'ampliamento delle conoscenze rappresenta una assoluta priorità per contrastare gli impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura, considerata la complessità delle attività per numero di specie allevate, dei sistemi di produzioni e degli ambienti di allevamento.

Tabella 1-40: Variazioni climatiche attese e probabili effetti sui principali settori produttivi dell'acquacoltura.

SETTORI PRODUTTIVI	AREE MARINO -COSTIERE E VARIAZIONI CLIMATICHE	AREE TERRESTRI E VARIAZIONI CLIMATICHE	VULNERABILITA'
Molluschicoltura (Mitilicoltura)	Principalmente Mar Adriatico; Ionio e Tirreno + 1.5-2°C e ↑ anomalie climatiche in estate. Mediterraneo occidentale e centrale (+ 1.3°C)	Macroregione 2 temperature medie elevate, ↑ summer days, ↓ delle precipitazioni	ALTA
		Macroregione 6 temperatura media alta, ↑ summer days, ↑eventi estremi	
	Peggioramento della qualità ambientale nelle aree di produzione; riduzione della crescita e della sopravvivenza; eventi di morie diffuse; aumento della suscettibilità alle malattie; rischio sanitario da biotossine algali; riduzione del reclutamento naturale di seme; danni alle infrastrutture e perdita dei lotti allevati; riduzione dei siti idonei per allevamento		
Molluschicoltura (Venericoltura)	Alto Adriatico + 1.5-2°C e ↑anomalie climatiche in estate	Macroregione 2 temperature medie elevate, ↑ summer days, ↓delle precipitazioni	ALTA
	Peggioramento della qualità ambientale nelle aree di produzione; riduzione della crescita e della sopravvivenza; eventi di morie diffuse; aumento della suscettibilità alle malattie; riduzione del reclutamento naturale di seme; riduzione dei siti di allevamento		
Piscicoltura estensiva (ecosistemi di transizione)	Principalmente Mar Adriatico e Mar Tirreno centrale +1.5-2°C ↑anomalie climatiche in estate	Macroregione 2 temperature medie elevate, ↑ summer days, ↓delle precipitazioni	ALTA
	Principalmente Mar Mediterraneo centrale e occidentale + 1.3°C	Macroregione 6 temperatura media alta, ↑ summer days, ↑eventi estremi	
	Peggioramento della qualità ambientale nelle aree di produzione; effetti sulla fisiologia e fenologia delle specie sfruttate; riduzione del reclutamento naturale dei giovanili; riduzione della produttività; riduzione dei siti sfruttabili per l'allevamento		
Piscicoltura intensiva acqua dolce (troticoltura)		Macroregione 1 riduzione rilevante delle precipitazioni estive e dei frost days	MEDIA/ALTA
		Macroregione 2 temperature medie elevate, ↑ summer days, ↓delle precipitazioni	
		Macroregione 3 marcata riduzione delle precipitazioni e dei frost days	
		Macroregione 4 riduzione degli eventi estremi, dei frost days e della copertura nevosa	
		Macroregione 5 riduzione significativa delle precipitazioni e dei frost days	
	Riduzione qualitativa e quantitativa delle risorse idriche per l'allevamento; rischio di insorgenza e diffusione di malattie; riduzione delle produzioni		
Piscicoltura intensiva marina	Mar Tirreno, Adriatico e Ionio + 1.5°C; Mediterraneo occidentale e centrale (+ 1.3°C)		MEDIA/BASSA
	Rischio di insorgenza e diffusione di malattie; danni alle infrastrutture e perdita dei lotti allevati per eventi climatici estremi		

NORMATIVE, PIANI E PROGRAMMI ESISTENTI PER L'ADATTAMENTO

Le attuali politiche europee in materia ambientale, in particolare la Direttiva sulle Acque, la Strategia Marina, la Direttiva Habitat e le recenti linee guida per l'integrazione dell'acquacoltura nella Rete Natura 2000, costituiscono il contesto normativo di riferimento all'interno del quale programmare misure di gestione e di conservazione degli ambienti acquatici finalizzate ad aumentare la resilienza dei sistemi di acquacoltura ai cambiamenti climatici e al mantenimento dei servizi ecosistemici che l'acquacoltura fornisce (Tabella 1-41).

La Direttiva europea sulla pianificazione dello spazio marittimo (Dir 2014/89/UE) offre un'importante opportunità per sviluppare misure e azioni di adattamento al cambiamento climatico. Le nuove politiche d'indirizzo per lo sviluppo dell'acquacoltura sia a livello europeo che mediterraneo, sono orientate in tale direzione, promuovendo 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 (EC 2013c). La recente risoluzione della Commissione Generale della Pesca nel Mediterraneo della FAO sulle "Allocated Zone for Aquaculture" (FAO-GFCM 2012) rappresenta uno strumento di *governance* a livello mediterraneo, dove mettere a punto strategie per l'allocazione dei siti d'acquacoltura, anche in considerazione dei rischi connessi alle variazioni climatiche e per ricercare opzioni alternative ai sistemi che insistono nelle aree più vulnerabili alle variazioni del clima.

Costruire la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici attraverso un approccio ecosistemico (EEA) è la strategia d'intervento raccomandata dalla FAO (De Young et al. 2012). In termini ecologici, tale approccio contribuirebbe a ripristinare e a conservare l'integrità degli habitat e degli ecosistemi acquatici che supportano le attività produttive, preservandone quindi la capacità di resilienza rispetto alle perturbazioni indotte dal cambiamento climatico. La Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici (SNAC) include alcune misure volte a aumentare la resilienza dei sistemi di allevamento per ridurre la vulnerabilità e azioni finalizzate ad integrare l'adattamento dell'acquacoltura nelle politiche di sviluppo settoriale e nelle politiche ambientali nazionali (Castellari et al. 2014c).

Tabella 1-41: Principali normative e strategie inerenti lo sviluppo dell'acquacoltura e la protezione degli ambienti di riferimento.

AMBITO	REGOLAMENTI
Biodiversità	Direttiva 92/43/CEE Conservazione habitat, flora e fauna
Acque	Direttiva 2000/60/CE Direttiva Quadro sulle Acque
Ambiente marino	Direttiva 2008/56/CE sulla strategia per l'ambiente marino Decisione 477/2010/EU Criteri e standard metodologici relativi al buono stato ecologico delle acque marine
Spazio attività marino-costiere	Direttiva 2014/89/UE Quadro per la pianificazione dello spazio marittimo
Pesca e Acquacoltura	Reg. UE 1380/2013 Politica Comune della Pesca Reg. UE 508/2014 Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca
Specie aliene in acquacoltura	Reg. CE 708/2007 e Reg. UE 304/2011 Impiego in acquacoltura di specie esotiche e di specie localmente assenti
DOCUMENTI PROGRAMMATICI e STRATEGIE	
Cambiamenti climatici	Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici
Biodiversità	Strategia Nazionale sulla Biodiversità
Biodiversità	Linee Guida per l'Integrazione dei Cambiamenti Climatici e della Biodiversità nella Valutazione Ambientale Strategica.
Biodiversità	Linee guida per l'Integrazione dei Cambiamenti Climatici e della Biodiversità nella Valutazione di Impatto Ambientale
Natura 2000	Guidance document on aquaculture activities in the Natura 2000 Network
	Protocollo GIZC del Mediterraneo

Sviluppo attività marino-costiere	Strategia FAO – GFCM Resolution (36/2012/1) on Allocated Zones for Aquaculture
	Crescita blu –crescita sostenibile nei settori marino e marittimo
	Crescita blu - Strategia Europea per la Regione Adriatico – Ionica
Sviluppo economico	Strategia Europa 2020
Sviluppo Acquacoltura	Piano Strategico Acquacoltura in Italia 2014-2020
	Programma Operativo FEAMP 2014/2020

Il Piano Strategico Acquacoltura 2014-2020 promuove interventi per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (azione 3.13). Coerentemente con gli obiettivi della SNAC (MATTM 2015), le attività del Piano sono volte a i) sviluppare conoscenze e applicare metodologie e tecnologie per valutare i rischi e la vulnerabilità dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici; ii) pianificare e attuare interventi di mitigazione e di adattamento delle attività di acquacoltura, anche a scala regionale e locale.

Ai fini della più generale integrazione della lotta ai cambiamenti climatici, il Regolamento (UE) n. 508/2014 relativo al Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca include la Priorità n. 2 - *Favorire un'acquacoltura sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente in termini di risorse, innovativa, competitiva e basata sulle conoscenze.*

Il Programma Operativo (PO) del FEAMP (2014-2020) che attua il Reg. (UE) 508/2014 prevede misure volte a favorire l'adattamento e la mitigazione, con interventi che sostengono sistemi d'acquacoltura a elevata compatibilità ambientale, miglioramenti nell'efficienza energetica degli impianti, la conversione all'acquacoltura biologica e all'ecogestione, l'erogazione di servizi ambientali.

È esplicitamente richiamata la volontà di sostenere con il PO le iniziative con particolare valenza ambientale e per la lotta ai cambiamenti climatici, introducendo specifici criteri di selezione o premialità per l'individuazione dei beneficiari. Ai sensi degli articoli Art. 47 e Art. 48 (Reg. 508/2014) si prevede la possibilità di finanziare interventi a favore dell'innovazione del settore e degli investimenti produttivi in acquacoltura, incluso il sostegno economico per interventi volti all'adattamento degli impianti ai cambiamenti climatici.

Le specifiche misure finanziabili in ambito PO FEAMP, Priorità 2, per la lotta ai cambiamenti climatici sono sintetizzate e riorganizzate in Tabella 1-42.

Il PO FEAMP prevede, inoltre, misure che riguardano aspetti di commercializzazione, compensazione e monitoraggio trasversali alla pesca e all'acquacoltura e, in conformità all'articolo 35 del Regolamento (UE) n. 508/2014, la possibilità di istituire dei fondi di mutualizzazione per eventi climatici avversi ed emergenze ambientali, anche in riferimento ad eventi climatici estremi.

Tabella 1-42: Misure previste nel Programma Operativo del FEAMP (Regolamento (UE) n. 508/2014) per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.

Priorità FEAMP	Adattamento	Mitigazione
Priorità 2 Favorire un'acquacoltura sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente in termini di risorse, innovativa, competitiva e basata sulle conoscenze	Attività di ricerca, innovazione e consulenza volte a favorire il trasferimento di conoscenza a favore degli operatori sugli impatti dei cambiamenti climatici sulle attività di acquacoltura (Art.47)	Efficienza energetica e promozione della conversione delle imprese acquicole verso fonti rinnovabili di energia
	Azioni volte a migliorare la resilienza delle imprese ai cambiamenti climatici (Art.48 - e,k)	Investimenti per la riduzione dell'impatto negativo o l'accentuazione degli effetti positivi sull'ambiente, nonché uso più efficiente delle risorse
	Investimenti destinati a migliorare la qualità o ad aggiungere valore ai prodotti dell'acquacoltura	Conversione a sistemi di ecogestione (ISO, EMAS) e di acquacoltura biologica (Art.53).
	Identificazione delle zone più idonee per lo sviluppo dell'acquacoltura, tenendo conto degli effetti legati ai cambiamenti climatici (Art.51)	Aumento del potenziale dei siti d'acquacoltura Misure di compensazione per ragioni sanitarie contaminazioni biologiche nei molluschi (Art.55). Assicurazione degli stock acquicoli per calamità, eventi climatici (Art. 57)

TURISMO

SINTESI

L'Italia rappresenta una delle destinazioni preferite dal turismo internazionale. Il turismo balneare genera la maggior parte delle presenze (31%). Seguono le città d'arte, con il 25% delle presenze, e il turismo montano (13% delle presenze). Il valore aggiunto attivato dai consumi turistici in Italia, considerando anche gli effetti indiretti e indotti, ammontava nel 2014 a un valore di 94,8 miliardi di Euro.

Questa situazione è però destinata a cambiare in conseguenza dei cambiamenti climatici, data l'importanza del clima soprattutto per il turismo balneare e per quello montano. Sono attesi effetti diretti e indiretti. Per quanto riguarda i primi è atteso uno spostamento verso maggiori latitudini e altitudini, mentre i turisti provenienti dai climi più temperati trascorreranno sempre più tempo nei loro Paesi d'origine. È 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. Sempre più turisti stranieri sceglieranno destinazioni meno calde delle nostre, mentre sempre più turisti italiani resteranno in Italia invece di fare le vacanze in luoghi ancora più caldi. Il saldo sarà negativo, anche perché parte dei turisti italiani contribuirà al flusso del turismo internazionale verso paesi meno caldi. Nel dettaglio delle aree climatiche omogenee e delle province italiane tuttavia il fenomeno non sarà uniforme, ma varierà a seconda della diversa popolarità internazionale delle varie località. Questo fenomeno si presenterà in particolare nelle province costiere.

Per quanto riguarda gli **impatti indiretti**, la pressione antropica aumenta la vulnerabilità agli impatti dei cambiamenti climatici delle coste italiane, in termini d'innalzamento del livello del mare e dell'incidenza degli eventi estremi, riducendo la capacità di resilienza naturale degli ambienti costieri. Gli **impatti indiretti** attesi riguardano l'aggravarsi dei fenomeni erosivi, e la conseguente scomparsa di aree costiere e d'infrastrutture rilevanti per le attività turistiche, la desertificazione/diminuzione delle risorse idriche (e maggior rischio di incendi), la crescente competizione tra usi energetici alternativi (con conseguenti maggiori costi per i servizi turistici), l'esplosione demografica di organismi quali alghe e meduse, che mal si conciliano con il turismo, e l'incremento dell'incidenza di eventi estremi.

Per il turismo invernale, la vulnerabilità ai cambiamenti climatici si esprime in termini di risalita della Linea di Affidabilità della Neve (LAN), quell'altitudine che garantisce spessore e durata sufficienti dell'innevamento stagionale e quindi la praticabilità degli impianti sciistici. Con un aumento medio di +1 °C, ormai prossimo, la presenza di neve naturale sarebbe garantita per il 75% dei comprensori sciistici alpini. Con un aumento di 4 °C e LAN a 2.100 m, le stazioni sciistiche al di sopra della LAN si ridurrebbero a solo il 18% di quelle attualmente operative. Per il turismo estivo alpino, sono attesi sia impatti negativi (cambiamenti del paesaggio, scarsità d'acqua, aumento dei rischi naturali, fioriture algali nei laghi e riduzione della loro navigabilità) che positivi (maggiore attrattività in primavera ed estate).

Per quanto riguarda la pianificazione in atto, il nesso tra settore turistico e cambiamenti climatici (e le relative azioni di adattamento) non è di fatto considerato nei piani strategici nazionali e regionali. In genere la dimensione ambientale è catturata in termini di sostenibilità e di tutela del paesaggio. Fanno eccezione le Regioni Lombardia e Puglia, Basilicata e Marche. In particolare la Regione Lombardia si è dotata nel 2014 di una propria strategia regionale di adattamento che considera con particolare attenzione il turismo montano.

INTRODUZIONE: SITUAZIONE ATTUALE E PREVISIONI PER IL SETTORE TURISTICO IN ITALIA

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.

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 2000 gli arrivi sono passati a 80 milioni e le presenze a 339 milioni, per poi raggiungere i 113,4 milioni di arrivi e i 392,8 milioni di presenze nel 2015 (ultimo dato disponibile ISTAT).

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 55 milioni del 2015, con una crescita del 57% tra il 2000 e il 2015. È evidente quindi come la componente internazionale sia cresciuta di più rispetto al movimento complessivo, una dinamica che se confermata in futuro, esporrà ulteriormente il settore turistico italiano agli effetti del cambiamento climatico: non solo a quelli diretti sul proprio territorio, ma anche a quelli sui paesi di provenienza e sulle destinazioni alternative.

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%), e infine Giappone e Cina (3% e 2%).

In termini di spesa, i turisti stranieri hanno generato in Italia 35,6 miliardi di euro nel 2015 - di cui il 65,6% concentrato nella sola componente "vacanza" - contro i 29 miliardi del 2000. La spesa media giornaliera pro capite si attesta a 107 euro. Tra i principali mercati che contribuiscono maggiormente alla spesa dei turisti internazionali in Italia, si rilevano la Germania (15.4% della spesa), gli Stati Uniti (12.1%), la Francia (10%), il Regno Unito (8.3%), la Svizzera (6.6%), seguiti poi da altri mercati tradizionali quali Austria, Olanda, Spagna (Banca d'Italia).

Considerando che la spesa turistica domestica si attesta invece sui 52,3 miliardi di euro (dato 2014), il consumo turistico complessivo in Italia è stimato attorno agli 86,6 miliardi di euro⁹⁷ (dato 2014).

Per quanto riguarda tematismi e 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%): in sostanza i turisti stranieri che frequentano le nostre spiagge vi soggiornano più a lungo della media dei turisti presenti in Italia. 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. Anche in termini di spesa, le città d'arte costituiscono il prodotto preferito dai turisti internazionali, concentrando bene il 58.4% della spesa turistica per vacanza degli stranieri; a seguire il turismo balneare (19.2%), lacuale (8.7%) e montano (6.5%).

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 18% degli arrivi totali e al 20%

⁹⁷ Fonte: Ciset su dati Banca d'Italia e ISTAT, XX Rapporto sul Turismo Italiano

delle presenze⁹⁸. Anche considerando la sola domanda internazionale, la situazione non cambia, con il Sud-Italia che concentra solo l'11% degli arrivi stranieri.

Dando uno sguardo anche all'impatto macroeconomico del turismo in Italia, se il valore aggiunto attivato direttamente dai consumi turistici in Italia si attesta a 50,3 miliardi di euro (dato 2014), considerando anche gli effetti indiretti e indotti, si arriva ad un valore di 94,8 miliardi di euro di valore aggiunto.

Le previsioni a breve termine degli arrivi internazionali in Italia sono state elaborate da Ciset-Ca' Foscari mediante il modello econometrico TRIP (TouRism International Panel).

TRIP è un accurato strumento di stima che permette di catturare e misurare i legami tra trend economici e dinamica della domanda turistica attraverso l'analisi del processo decisionale sottostante alla scelta del turista che decide di fare una vacanza al di fuori del proprio paese e di visitare l'Italia. Le determinanti dei cambiamenti nell'evoluzione dei flussi turistici sono variabili economiche, come il reddito pro-capite, l'inflazione, i tassi di cambio, i costi di viaggio, i prezzi relativi dei servizi turistici rispetto ai prezzi di altri beni di consumo, il costo relativo del turismo all'estero rispetto a quello in patria. Il modello è costruito a partire da serie storiche 1975-2014 che, per quanto riguarda gli arrivi, sono costruite e aggiornate su dati UNWTO e OECD, mentre per le variabili economiche su dati OECD e FMI. Anche per gli scenari economici a partire dai quali vengono elaborate le previsioni turistiche, si utilizzano le previsioni regolarmente pubblicate da FMI.

Nel biennio 2016-2018 è prevista una crescita di oltre il 3% degli arrivi in Italia, grazie soprattutto al movimento extra-europeo (+6.4%).

Il grafico seguente (Figura 1-59) evidenzia la dinamica dei flussi e della redditività di alcuni prodotti turistici al 2020 in Italia e – per confronto – in Europa. Ciò che emerge innanzitutto è che da qui al 2020, si assisterà ad un rallentamento della crescita dei flussi per il turismo balneare in Italia – a differenza di quanto previsto per il prodotto mare nel resto d'Europa - a cui comunque si contrappone una maggiore vivacità dal lato della redditività. Il turismo culturale, declinato nelle sue diverse varianti tra cui quella del paesaggio culturale, si rivelerà un prodotto dal grande potenziale grazie alla dinamicità dei tassi di crescita sia dal lato dei flussi sia dal lato della redditività, data l'elevata propensione alla spesa dei turisti culturali.

Interessante è inoltre l'andamento del turismo verde: prodotto in fase di espansione, per cui si prevede in Italia una rapida crescita dei flussi.

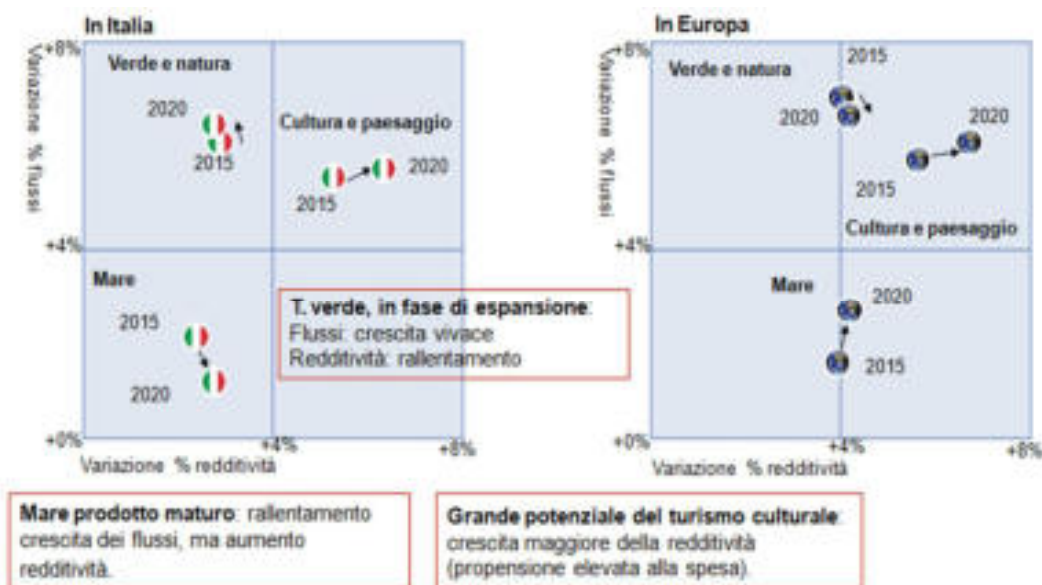


Figura 1-59: Dinamica dei flussi e della redditività di alcuni prodotti turistici al 2020 in Italia (pannello sinistro) e in Europa (pannello destro).⁹⁹

⁹⁸ 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.

Nel lungo periodo tuttavia, i cambiamenti climatici colpiranno in particolare il turismo costiero estivo e quello invernale alpino e, in misura minore, il turismo nelle città d'arte/urbano e il turismo rurale. Gli impatti saranno sia diretti, sia indiretti: diretti, perché lo svolgimento delle attività turistiche richiede favorevoli condizioni climatiche; indiretti, perché le mutate condizioni delle destinazioni possono indirettamente influenzarne l'attrattività turistica.

In mancanza di contromisure quindi, nel lungo periodo, secondo le stime dell'Hamburg Tourism Model (HTM), l'Italia perderà quote di mercato significative. A livello mondiale gli effetti saranno notevoli. 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 una delle principali attrattive, come Canada e Russia, saranno meta in proporzione di molti più turisti.

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.

Questi aspetti saranno analizzati in maggiore dettaglio per il caso italiano nella prossima sezione, guardando agli impatti su turismo estivo e invernale. La situazione corrente relativa a politiche, piani e strategie per l'adattamento ai cambiamenti climatici del settore turistico in Italia è descritta nel paragrafo conclusivo.

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI DEL SETTORE TURISTICO IN ITALIA

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 e che attraggono la maggior parte dei visitatori 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. Nel resto del capitolo ci si concentrerà quindi principalmente sul turismo balneare estivo e su quello montano invernale. Gli impatti principali sono riassunti nella Tabella 1-43.

Impatti diretti e 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. Quindi, gli impatti sul turismo dipendono dall'intensità dei cambiamenti climatici e da come varieranno le componenti del clima sia nella destinazione in esame, sia nelle destinazioni alternative, comprese quelle presenti nel paese di origine di ogni turista.

⁹⁹ Sull'asse delle ordinate (Y) sono riportati i tassi di variazione dei flussi turistici, mentre sull'asse delle ascisse (X) i tassi di variazione della redditività.

Inoltre i cambiamenti climatici avranno impatti economici e ambientali, che si ripercuoteranno indirettamente su ogni attività degli esseri umani, che siano in vacanza o no, con diversa intensità in luoghi diversi, talora rafforzando gli effetti negativi del cambiamento climatico sul turismo.

Impatti diretti sul turismo balneare estivo

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. È 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 et al. 2005). È 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.

Nel caso del turismo costiero nel Mediterraneo, e in Italia in particolare, gli **impatti diretti** emergono principalmente dall'innalzamento delle temperature e, nello specifico, dalla maggiore frequenza di ondate di calore (*heat waves*) estive.

Due sono gli approcci principali per immaginare gli impatti futuri diretti del cambiamento climatico sul turismo. Il primo condensa le caratteristiche climatiche di una data località, che hanno influenza sul benessere psico-fisico di chi le frequenta, in un "indice di comfort climatico" (Tourist Confort Index, o TCI), proiettandolo nel futuro in base alle proiezioni climatiche disponibili. Il secondo approccio guarda alle relazioni misurabili statisticamente tra clima, arrivi e partenze dei turisti internazionali e scelte dei turisti domestici, e ne deriva un modello (nello specifico, l'HTM) dei futuri flussi turistici, in grado di descrivere la loro probabile reazione a mutate condizioni climatiche.

L'approccio TCI mostra come, partendo da una situazione tradizionalmente ottimale in estate delle coste italiane per il comfort dei turisti balneari, il cambiamento climatico possa, verso il 2100, spostare l'area migliore per tali turisti balneare verso il Nord Europa, lasciando le nostre coste a più alta vocazione turistica in condizioni climatiche quasi inaccettabili. La situazione migliora moderatamente nei periodi di attuale bassa stagione come primavera e autunno. Lo studio PESETA (Amelung and Moreno 2009) suggerisce come soluzione parziale lo spostamento della stagione turistica verso tali periodi. Tuttavia i mesi utili per questa strategia tendono a diminuire nell'Europa mediterranea e ad aumentare in quella settentrionale.

L'approccio HTM confronta le proiezioni dei flussi turistici in assenza di cambiamento climatico con quelle in sua presenza. Anche se il clima non cambiasse, le dinamiche socio-economiche causeranno un aumento del turismo internazionale e di quello domestico, rispetto alla situazione odierna, in maniera non uniforme a causa della diversa crescita economica e demografica nel mondo. Gli effetti negativi del cambiamento climatico quindi non si tradurranno in genere in un calo in termini assoluti rispetto ai numeri attuali, ma in meno turisti rispetto a quelli possibili in assenza di cambiamenti climatici.

Sempre più turisti stranieri sceglieranno destinazioni meno calde delle nostre, mentre sempre più turisti italiani resteranno in Italia invece di fare le vacanze in luoghi ancora più caldi. Il saldo sarà negativo, anche perché parte dei turisti italiani contribuirà al flusso del turismo internazionale verso paesi meno caldi. Nel dettaglio delle aree climatiche omogenee e delle province italiane tuttavia il fenomeno non sarà uniforme, ma varierà a seconda della diversa popolarità internazionale delle varie località. Questo fenomeno si presenterà in particolare nelle province costiere, come illustrato nella Figura 1-60. La figura riporta anche la

variazione dei flussi turistici nelle province interne in cui non prevale il turismo montano invernale, che risponde ad una logica diversa rispetto al modello HTM (quindi esclude le province alpine e quelle dell'Aquila e Rieti (Gran Sasso). In generale anche per le aree interne prevale la dinamica di forti diminuzioni del turismo internazionale compensate, in genere parzialmente, dal turismo domestico. Solo per le province di Avellino e Isernia, scarsamente frequentate dal turismo internazionale il saldo sarebbe, secondo le proiezioni di questo modello, positivo. Le province più fortemente colpite sarebbero quelle invece dove i turisti internazionali sono più presenti per via del richiamo culturale delle città d'arte, quali Firenze, Perugia, Milano, Padova, Verona. In termini di macroregioni, non si evidenziano particolari regolarità, effetti totali più o meno intensi sono presenti in tutte le macroregioni e dipendono dalla popolarità attuale delle località turistiche site nelle varie province afferenti macroregioni.

Quelle con maggiore vocazione turistica internazionale saranno particolarmente penalizzate dal calo del turismo internazionale, perché quello domestico non riesce a compensarlo (le coste siciliane, campane e le province di Venezia e Roma). Nelle province al momento meno frequentate dal turismo internazionale la crescita del turismo domestico tamponerà e, in qualche caso compenserà, la relativa minore affluenza di stranieri. Nei casi peggiori, la perdita di quota di mercato riguarderà oltre un quinto di turisti totali, e quasi due quinti di turisti internazionali (in meno rispetto ad una situazione di clima immutato). In termini di aree climatiche omogenee, gli impatti più elevati per il turismo internazionale nelle province costiere saranno quindi nella macroregione 6, mentre in termini di flussi turistici totali non è possibile ravvisare una adeguata corrispondenza tra macroregioni e impatti, salvo forse rilevare che il turismo domestico potrebbe compensare i mancati arrivi internazionali in alcune province della macroregione 6 e nell'area adriatica delle macroregioni 3 e 4 (si confrontino i due pannelli della Figura 1-60 con le aree climatiche omogenee riportate nella Figura 1-61 e nella Figura 1-62).

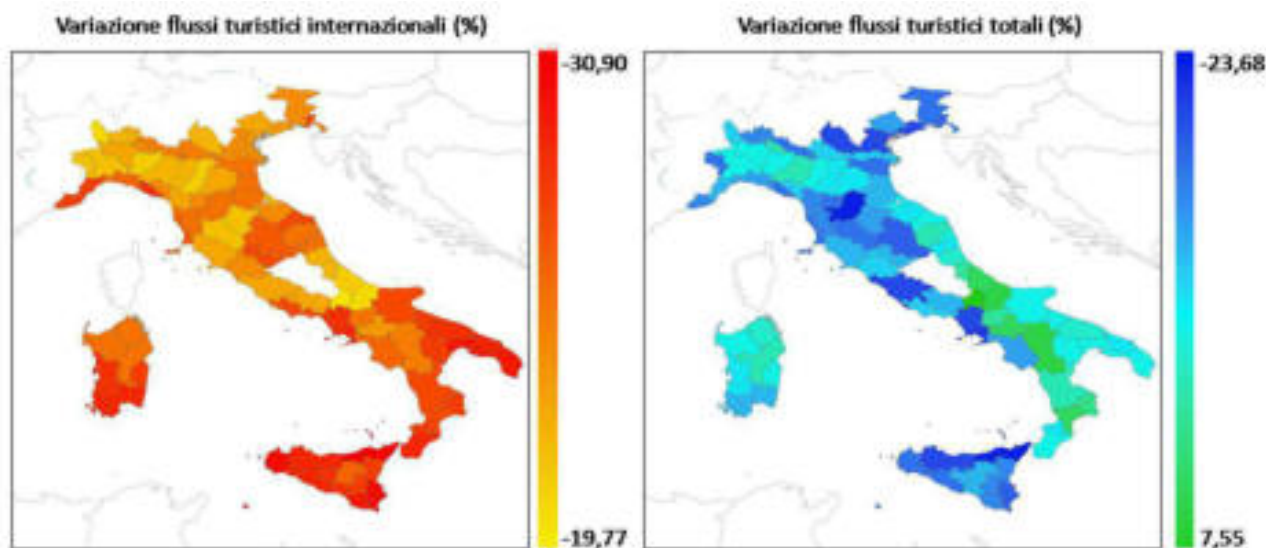


Figura 1-60: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici internazionali (pannello sinistro) e totali (pannello destro) nelle province costiere italiane in presenza di cambiamenti climatici¹⁰⁰.

¹⁰⁰ Elaborazione degli autori su proiezioni dell'Hamburg Tourism Model.

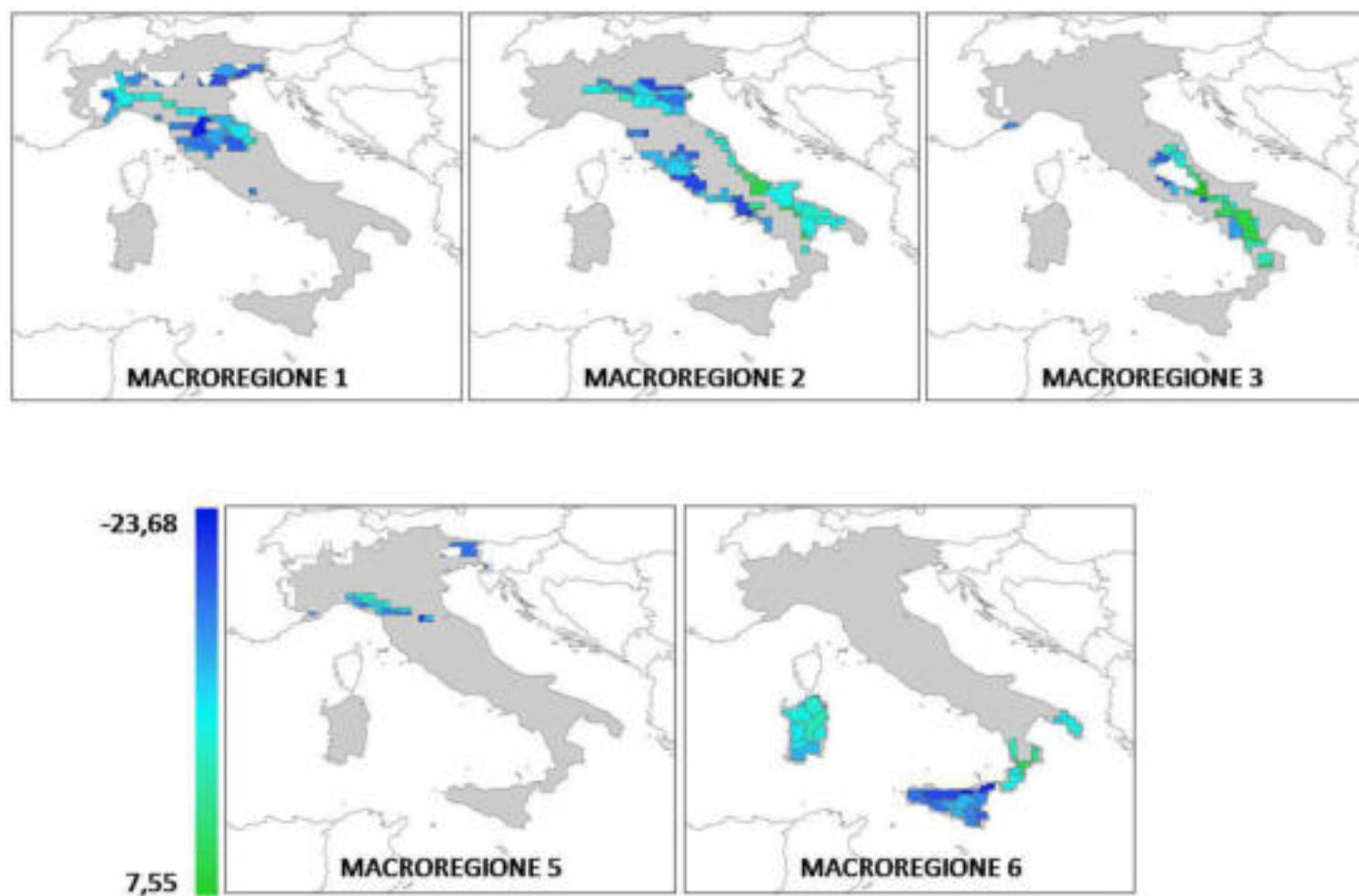


Figura 1-61: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici totali nelle macroregioni considerate in Figura 1-60.

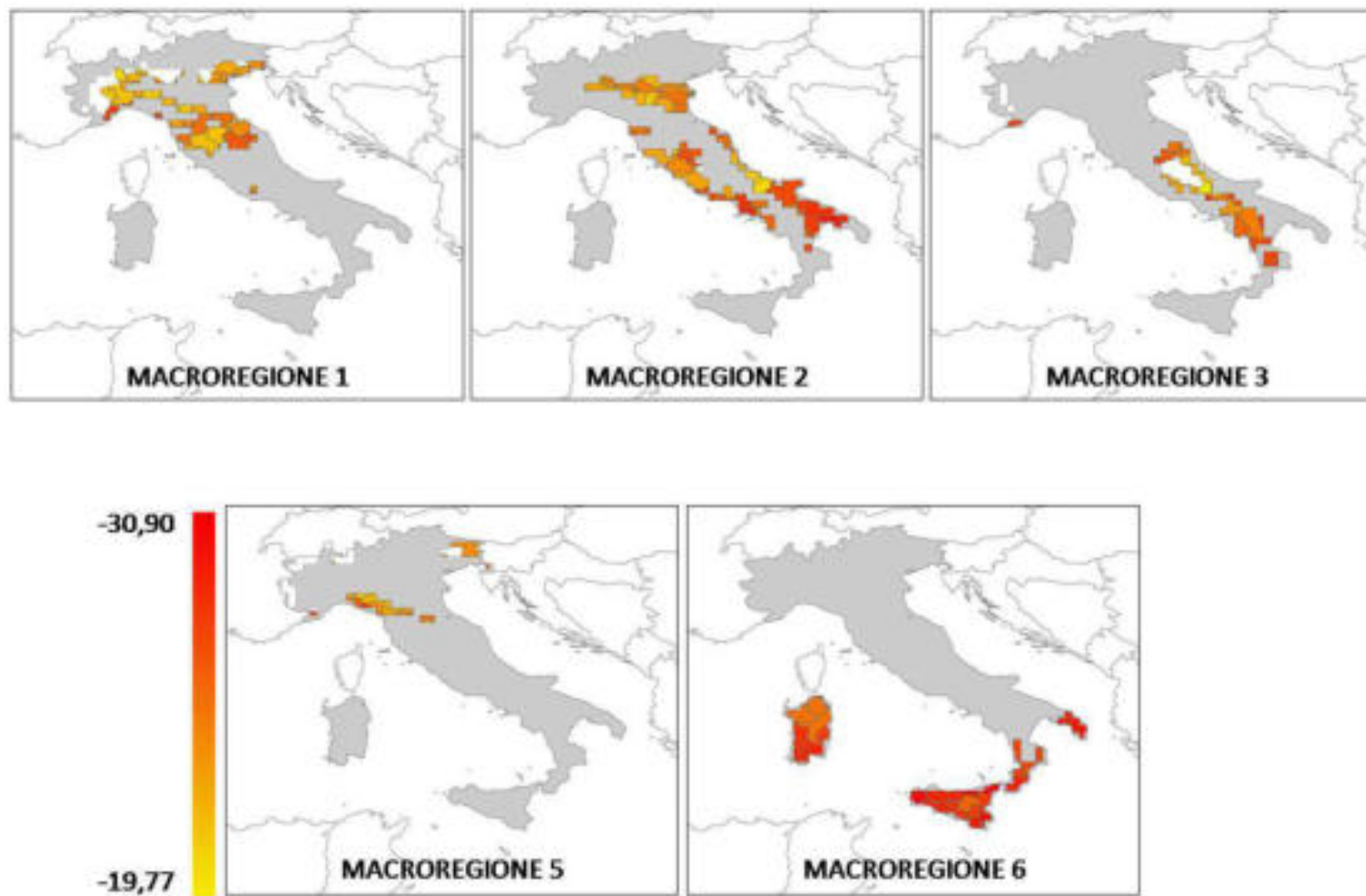


Figura 1-62: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici internazionali nelle macroregioni considerate in Figura 1-60.

Un recente¹⁰¹ interessante sviluppo è il progetto ToPDAd (<http://www.topdad.eu/>), finanziato dalla Commissione Europea, che presenta scenari futuri in cui interagiscono simultaneamente impatti diretti e opzioni di adattamento in Europa. La sua rilevanza per il Piano di Adattamento Italiano per quanto concerne il settore del turismo è dovuta alle seguenti caratteristiche dell'approccio del progetto (ToPDAd 2015; Perrels et al. 2015):

1. Considera sia il turismo estivo che quello invernale;
2. Analizza vulnerabilità e opzioni di adattamento con una elevata risoluzione geografica, coprendo le province italiane interessate;
3. Combina gli impatti diretti dei cambiamenti climatici con gli effetti di alcune principali opzioni di adattamento, sia dal lato dell'offerta che di quello della domanda, per valutare l'effetto risultante finale.

Per quanto riguarda il turismo estivo, le opzioni di adattamento considerate dal lato della domanda sono:

- Mantenimento dello stesso tipo di vacanza, ma possibilità di variare periodo e destinazione
- Cambiamento del tipo di vacanza

Mentre quelle dal lato dell'offerta sono:

- Promozione di periodi di vacanza diversi da quelli tradizionalmente di punta
- Misure tecniche per ridurre la percezione negativa del calore eccessivo

Nelle simulazioni di ToPDAd, le misure di adattamento sono introdotte sequenzialmente – prima quelle dal lato della domanda e successivamente la reazione dell'offerta turistica. A livello europeo, risulta che il turista estivo non sarebbe molto propenso a cambiare tipo di vacanza, ma può in effetti cambiare periodi e destinazione con relativa facilità. In assenza di adattamento dal lato dell'offerta, questo porterebbe i turisti nordeuropei a scegliere in primo luogo destinazioni più vicine a casa, approfittando del relativo miglioramento delle condizioni climatiche in una prospettiva di turismo balneare. Se però l'industria turistica del Sud Europa reagisse come descritto sopra, si verificherebbe uno spostamento dei turisti verso i periodi attualmente di bassa stagione (primavera e autunno) consentendo un sostanziale recupero delle presenze attese anche nell'area mediterranea.

Nel dettaglio la Figura 1-63 illustra come l'adattamento da parte del settore (pannello destro) riesca a mitigare la fuga verso nord dei turisti internazionali (pannello sinistro). Per l'Italia, ciò comporterebbe minori perdite di presenze in aree a forte vocazione turistica come il Salento, l'alto Adriatico e il sud della Sicilia (macroregione 6).

¹⁰¹ Dopo il completamento del rapporto tecnico per la Strategia Nazionale di Adattamento, non si segnalano rilevanti variazioni nel quadro delle conoscenze per le vulnerabilità e le misure di adattamento specifiche per il settore turistico italiano. Esistono nuovi studi in ambito internazionale la cui rilevanza per l'Italia è in genere limitata, e vengono qui omessi per brevità.

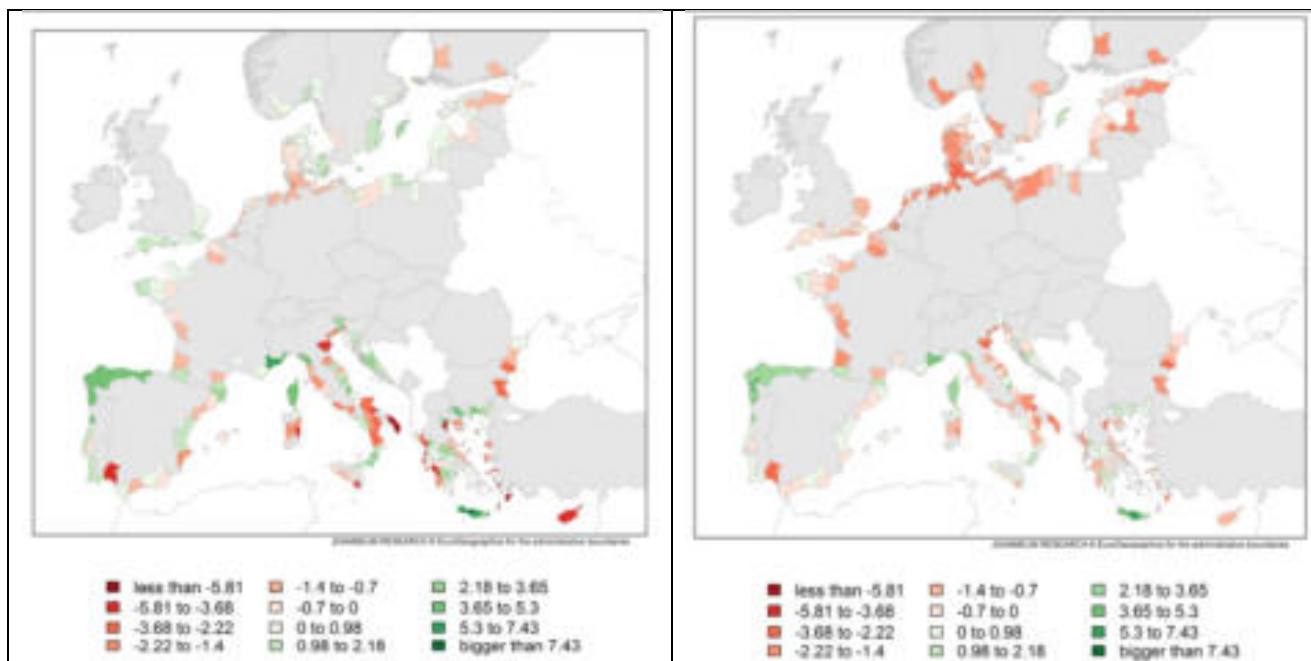


Figura 1-63: Variazione nelle presenze turistiche in [%] (2035-2065 vs. baseline) in regioni europee a vocazione turistica balneare nel caso di solo adattamento della domanda tramite cambio di periodo e destinazione (sx), e nel caso di presenza di adattamento dell'offerta (dx)¹⁰².

Impatti indiretti sul turismo balneare estivo

Per quanto riguarda gli **impatti indiretti**, va sottolineato che nel sistema costiero italiano, i cambiamenti climatici non rappresentano in genere dei veri e propri rischi in sé, ma tendono ad accentuare e amplificare, con effetti non prevedibili, i rischi già esistenti derivanti dall'urbanizzazione, dalla cementificazione, dalla produzione industriale, dalla pesca, dai trasporti marittimi, etc., oltre che ovviamente dal turismo. Tali impatti riguardano le zone costiere delle macroregioni 1, 2, 5, 6, con più o meno la stessa intensità (salvo un'eccezione di cui più avanti).

La pressione antropica causa un notevole aumento della vulnerabilità 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)¹⁰³ 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. Gli **impatti indiretti** attesi riguardano 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, etc. I fenomeni erosivi infatti interessavano oltre il 42% dei litorali italiani, già negli anni 2000, e, per la maggior parte, le spiagge adatte alla balneabilità (Pietro et al. 2006).

Inoltre a causare impatti indiretti sul turismo costiero sarà la desertificazione/diminuzione delle risorse idriche, che tendono a scarseggiare sia per la riduzione delle precipitazioni (con conseguente maggior rischio di incendi), prevista soprattutto nella stagione di maggiore afflusso turistico, che per l'intrusione di

¹⁰² Fonte: ToPDAd (Perrels et al. 2015).

¹⁰³ Dossier Coste – Il "Profilo" fragile dell'Italia, disponibile su

http://www.cngeologi.it/wp-content/uploads/2012/08/WWF_DOSSIERCOSTE_profilofragile_2012.pdf

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 and Moreno 2009). Analoghi problemi di crescente competizione tra usi alternativi potrebbero presentarsi per l'energia, con conseguenti maggiori costi per i servizi turistici. La scarsità d'acqua sarà probabilmente l'impatto più grave per 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. 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. Quest'ultimo impatto è dunque particolarmente rilevante per la macroregione 6.

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.

Impatti sul turismo invernale

Per il turismo invernale (presente nelle macroregioni 3, 4 e 5), le analisi guardano alla relazione tra aumento di temperatura e copertura nevosa. Rispetto ad altre aree del pianeta, le Alpi (macroregioni 4 e 5) sono fortemente interessate dal fenomeno del riscaldamento globale. Secondo diversi studi, oltre a una diminuzione della neve, 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'innnevamento stagionale. Ciò si ripercuoterà sulla praticabilità delle piste e degli impianti sciistici. Secondo l'OCSE (Abegg et al. 2007), all'inizio degli anni 2000 per il 91% degli attuali comprensori alpini, la presenza di neve naturale (senza innnevamento artificiale) poteva essere considerata certa. Con un aumento medio di +1 °C, ormai prossimo, 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. Con un incremento di +2 °C e LAN a 1.800 m, l'Alto Adige e il Veneto avrebbero rispettivamente il 50% e il 33% delle rimanenti stazioni con neve affidabile al di sotto della LAN. Con un aumento di 4 °C e 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.

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 esempio spostamento delle zone vegetative, diminuzione della biodiversità), dal ritiro dei ghiacciai e scomparsa del permafrost (ad esempio 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, in grado di aumentare lo stress sulle infrastrutture e il rischio per l'integrità delle popolazioni montane, con conseguenze economiche negative per il settore turistico. Il prolungamento della stagione

estiva e il verificarsi di temperature più miti nella stagione primaverile potrebbero invece 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).

Il progetto ToPDAd, descritto sommariamente nella precedente sezione, propone un'analisi degli effetti dei cambiamenti climatici contestualmente a possibili opzioni di adattamento rilevanti per il turismo invernale alpino (macroregioni 4 e 5). L'analisi evidenzia una minore efficacia delle seconde rispetto al caso del turismo balneare estivo. Le opzioni di adattamento considerate dal lato della domanda sono:

- mantenimento della vacanza montana, ma possibilità di variare periodo e destinazione;
- cambiamento del tipo di vacanza, ma mantenimento del periodo invernale.

Dal lato dell'offerta si considera solo la promozione di periodi di vacanza e attività diversi da quelli legati alla presenza di neve, mentre l'innevamento artificiale non viene considerato.

L'analisi mostra come la possibilità di spostare il periodo della vacanza anche in periodo estivo risulta in un sensibile calo delle presenze invernali e non è sufficiente a compensare tale calo anche considerando il totale delle presenze nell'intero anno. La Figura 1-64 mostra infatti come nell'arco alpino e in particolare sul versante italiano, la tendenza attesa sia quella di un generale calo delle presenze nell'arco dell'anno (pannello destro) solo parzialmente mitigato dalla crescita del turismo montano estivo (pannello sinistro).

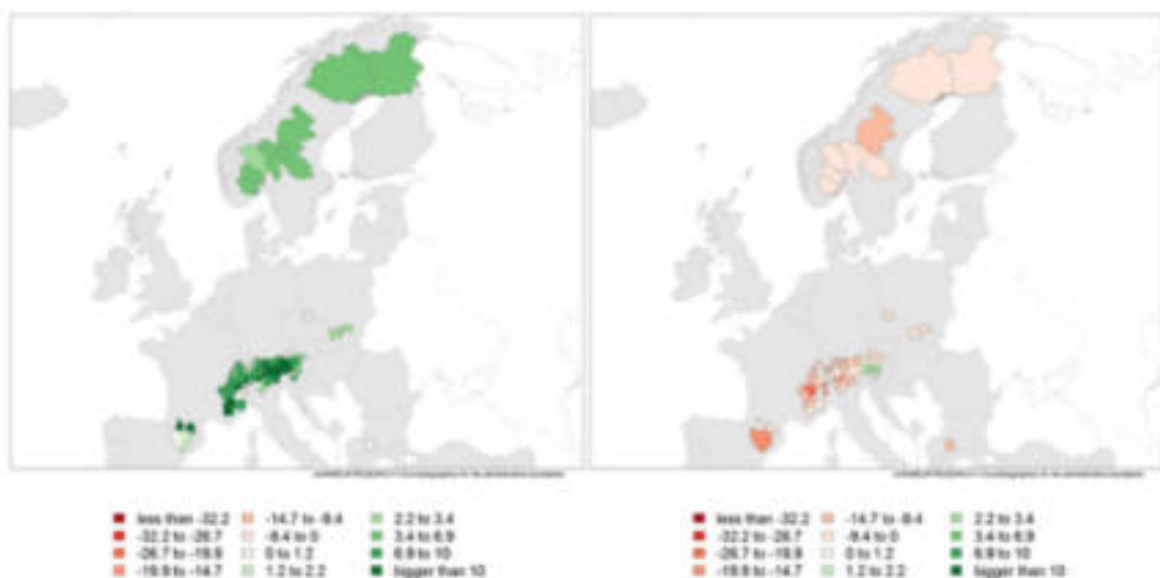


Figura 1-64: Variazione nelle presenze turistiche in [%] (2035-2065 vs. baseline) in regioni europee a vocazione turistica montana. Presenze estive (sx) e presenze annuali (dx)¹⁰⁴.

POLITICHE, PIANI E STRATEGIE CORRENTI PER L'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI DEL SETTORE TURISTICO IN ITALIA

Il **Piano Strategico del Turismo (PST)**, elaborato secondo le indicazioni del Decreto 8 agosto 2014 del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo recante "Istituzione e compiti del Comitato Permanente di promozione del turismo in Italia" e approvato in via definitiva dal Consiglio dei Ministri il 17 febbraio 2017, è lo strumento con cui il Governo ridisegna la programmazione in materia di economia del turismo rimettendola al centro delle politiche nazionali e dando operatività all'indirizzo strategico di creare una visione omogenea e unitaria in tema di turismo e cultura.

¹⁰⁴ Fonte: ToPDAd, 2015.

Il carattere innovativo del PST è legato all'approccio impiegato per la sua partecipazione; un approccio cioè aperto e partecipativo, avviato attraverso incontri diretti, tavoli di lavoro e strumenti on line a cui sono seguiti la convocazione degli Stati Generali del Turismo Sostenibile a Pietrarsa e un intenso confronto tra Il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT), Regioni, Enti Territoriali e altre Amministrazioni centrali, rappresentanze economiche e altri attori rilevanti.

Il documento, caratterizzato da un orizzonte temporale di sei anni (2017-2022), agisce su leve importanti quali l'innovazione tecnologica e organizzativa, la capacità di adattamento alle trasformazioni del mercato, la valorizzazione e l'adeguamento delle competenze, la qualità dei servizi, integrate con la necessità di un utilizzo sostenibile e durevole del patrimonio ambientale e culturale, materiale e immateriale. Il PST promuove infatti una nuova modalità di fruizione turistica del patrimonio dell'Italia, basata sul rinnovamento dell'offerta turistica nelle destinazioni tradizionali, sulla valorizzazione di nuove mete e prodotti, per accrescere così il benessere economico e sociale e rilanciare la leadership dell'Italia sul mercato turistico internazionale.

Le linee strategiche del PST, perseguono in particolare quattro macro obiettivi – a loro volta articolati in obiettivi specifici – quali: innovare, specializzare e integrare l'offerta nazionale; accrescere la competitività del sistema turistico; sviluppare un *marketing* efficace e innovativo; realizzare una *governance* efficiente e partecipata nel processo di elaborazione e definizione del Piano e delle politiche turistiche.

Il PST vuole porsi come un riferimento per il coordinamento e la cooperazione con i livelli regionale e territoriale, titolari della *governance* del turismo.

Si ricorda infatti che ciascuna regione italiana ha la competenza esclusiva in materia di turismo e la facoltà quindi di dotarsi di propri piani e politiche di sviluppo del turismo riferiti al proprio territorio regionale.

Data la sua continuità con il PST di cui sopra, interessante è ad esempio **Puglia365**, il recente Piano Strategico del Turismo della Regione Puglia presentato a luglio 2016.

Articolato sull'arco temporale 2016-2025, Puglia365 è basato anch'esso su un approccio partecipativo che, attraverso diciotto incontri distribuiti sul territorio regionale, ha coinvolto più di mille persone tra operatori del settore, enti locali, associazioni datoriali e sindacali, stakeholder, MiBACT, opinion leader locali, Università e GAL, chiamati ad approfondire sei temi rilevanti: prodotto, promozione, innovazione, infrastrutture, accoglienza e formazione.

Puglia365 persegue due obiettivi importanti per la regione Puglia, quale la destagionalizzazione e l'internazionalizzazione, al fine di ridurre la percentuale di presenze concentrate nei mesi di luglio e agosto e ridurre il gap che distanzia la Puglia da competitor affini quali Sicilia, Sardegna ed Emilia Romagna.

Puglia365 si basa inoltre sui seguenti punti: organizzare e programmare iniziative trasversali per i settori cultura, turismo, agricoltura e internazionalizzazione della Regione Puglia; armonizzare la programmazione europea 2014-2020 con quella nazionale (PON) per una visione condivisa; sviluppare un piano strategico degli interventi e delle azioni di sistema; condividere e sviluppare una visione partecipata degli obiettivi pluriennali del settore e determinare una strategia basata su precise azioni di marketing, advertising, realizzazione di reti di impresa e implementazione di trasporti pubblici efficienti; continuare a crescere in un settore trainante dell'economia e della società pugliese per essere da stimolo al Sistema Italia e diventare caso di studio sempre più innovativo anche in Europa.

Con poche eccezioni (di cui in seguito), il nesso tra settore turistico e cambiamenti climatici (e le relative azioni di adattamento) non è di fatto considerato nei piani strategici regionali. In genere la dimensione ambientale è catturata in termini di sostenibilità e di tutela del paesaggio.

Sulla base delle Linee Guida¹⁰⁵ per un Piano di Adattamento ai cambiamenti climatici sviluppate nel 2012 dalla Regione Lombardia con il supporto della Fondazione Lombardia per l'Ambiente, e a seguito della SNACC, La Regione Lombardia si è dotata nel 2014 di una propria strategia di adattamento regionale ai cambiamenti climatici¹⁰⁶. Nell'ambito di tale strategia il turismo montano è oggetto di particolare

¹⁰⁵ http://www.reti.regione.lombardia.it/shared/ccurl/70/367/Linee%20guida%20PACC%20Lombardia_Summary.pdf

¹⁰⁶ http://www.reti.regione.lombardia.it/shared/ccurl/723/738/Allegato%20alla%20Comunicazione_Rapporto%20di%20sintesi_DEF.pdf

attenzione. Il piano individua le vulnerabilità per il turismo invernale legate alla graduale diminuzione dell'innevamento e propone alcune azioni di adattamento, quali: l'analisi della sostenibilità economica e ambientale dei comprensori sciistici in previsione dell'innalzamento della quota a cui sarà possibile contare su un innevamento adeguato; l'utilizzo di misure alternative all'innevamento artificiale, quali lo *snow farming*, l'accurata pianificazione (anche ambientale e paesaggistica) di nuovi impianti a quote e latitudini maggiori; la diversificazione dell'offerta per limitare la dipendenza del settore dagli sport invernali; l'uso di strumenti educativi, anche integrati in percorsi tematici; la collaborazione intersettoriale su misure congiunte in vista di vulnerabilità rilevanti per più di un settore, come quelle relative alle risorse idriche, ai centri urbani al dissesto idrogeologico, e alle aree boschive.

Oltre ai casi di Lombardia e Puglia, solo Basilicata¹⁰⁷ e Marche¹⁰⁸ menzionano nei rispettivi piani per lo sviluppo turistico il cambiamento climatico come causa di vulnerabilità (per il turismo invernale in Basilicata) o opportunità (quest'ultimo nel caso del turismo montano estivo nelle Marche); non si riscontrano comunque proposte di azioni in merito.

Va rilevato che alcune Regioni a importante vocazione turistica (oltre alla già citata Lombardia, Abruzzo, Basilicata, Friuli, Piemonte e Sardegna) hanno firmato il documento "Under 2 Memorandum of Understanding"¹⁰⁹ che tra le altre cose impegna i firmatari alla preparazione di un piano di mitigazione e adattamento. Infine già nel 2006 la Valle D'Aosta¹¹⁰ aveva prodotto uno studio molto dettagliato sulla vulnerabilità del territorio regionale ai cambiamenti climatici e sulle possibili opzioni di adattamento. Tuttavia a tale studio non sembra aver fatto ancora seguito alcuna iniziativa di policy regionale specifica per il settore turistico.

Tabella 1-43: Quadro riassuntivo dei principali impatti per il settore turistico italiano.

Impatto	Settori turistici interessati	Macroregioni maggiormente interessate
Variazione dell'appetibilità della destinazione a seguito della variazione delle sue condizioni climatiche	Tutti, ma più rilevante per il turismo balneare	Tutte
Diminuzione delle presenze dei turisti esteri	Tutti	Tutte
Ondate di calore	Turismo culturale nei centri storici	Tutte
Variazione (può essere sia positiva che negativa) delle presenze dei turisti italiani	Tutti	Tutte
Innalzamento livello del mare	Turismo balneare	Zone costiere di 6, 5, 2,1
Aumento dell'incidenza degli eventi estremi	Turismo balneare	Zone costiere di 6, 5, 2,1
Erosione costiera	Turismo balneare	Zone costiere di 6, 5, 2,1
Diminuzione delle risorse idriche	Tutti	Tutte, ma soprattutto 6 (isole)
Esplosione popolazione alghe e meduse	Turismo balneare, turismo lacustre	Tutte (per 5, 4, 3 in relazione alle alghe nei laghi)
Diminuzione copertura nevosa	Turismo invernale montano	5,4, 3
Cambiamenti nel paesaggio	Turismo montano e rurale	Tutte
Ritiro dei ghiacciai e scomparsa del permafrost (degrado del paesaggio, dissesto)	Turismo montano	5 e 4
Diminuzione livello laghi navigabili	Turismo lacustre	5,4, 3

¹⁰⁷ http://www.aptbasilicata.it/fileadmin/uploads/Statistiche/Statistiche__leggi_bandi/05_-_Documentazione_di_settore/PTR_BAS_2008.pdf

¹⁰⁸ http://www.turismo.marche.it/Portals/1/Documenti/Bandi/piano_triennale.pdf?ver=2015-12-04-141829-503

¹⁰⁹ <http://under2mou.org/>

¹¹⁰ http://www.regione.vda.it/territorio/pubblicazioni/cambiamenticlimatici/default_i.asp

Tabella 1-44: Proiezioni al 2050 della variazione dei flussi turistici totali e internazionali nelle province interne italiane in presenza di cambiamenti climatici¹¹¹.

Provincia	Turisti Internazionali	Turisti Totali	Macroregione prevalente
Alessandria	-23.34	-6.74	1
Arezzo	-23.12	-13.79	1
Asti	-23.17	-16.37	1
Firenze	-25.50	-22.83	1
Milano	-23.70	-14.86	1
Monza -Brianza	-25.50	-22.83	1
Novara	-22.39	-9.95	1
Padova	-24.54	-19.07	1
Piacenza	-22.70	-6.85	1
Pistoia	-24.64	-16.24	1
Prato	-25.22	-16.49	1
Siena	-23.34	-16.40	1
Treviso	-24.12	-14.16	1
Vicenza	-23.21	-9.12	1
Parma	-23.63	-3.75	1-2
Pavia	-24.02	-7.29	1-2
Perugia	-26.11	-18.68	1-2
Bologna	-23.83	-8.96	2
Cremona	-24.86	-16.82	2
Lodi	-24.61	-3.65	2
Mantova	-24.89	-10.20	2
Modena	-23.04	-9.03	2
Reggio nell'Emilia	-23.68	-7.04	2
Verona	-23.60	-20.31	2
Avellino	-24.25	2.48	3
Benevento	-25.34	-2.66	3
Frosinone	-24.04	-11.85	3
Isernia	-19.77	7.55	3
Enna	-25.69	-12.69	6

¹¹¹ Elaborazione degli autori su proiezioni dell'Hamburg Tourism Model.

SINTESI

Oltre ad “ospitare” più del 90% della popolazione Italiana, i centri urbani erogano servizi sociali e culturali essenziali. Risultano, di conseguenza, dei veri e propri “hot spot” per il cambiamento climatico condensandone gli effetti su una elevata percentuale di soggetti e attività sensibili. Sono sistemi prevalentemente artificiali, la loro resilienza deve quindi essere assicurata quasi esclusivamente dall’azione dell’uomo. Sono inoltre caratterizzati da un’elevata eterogeneità inter e intra specifica, determinata da caratteristiche topografiche, morfologiche, demografiche e socio economiche. Infine, spesso la loro vulnerabilità, e gli effetti delle misure atte a ridurla, si originano da e/o hanno ricadute su aree più vaste o diverse rispetto al centro urbano, andando a costituire un ambiente complesso o “Area Urbana”.

Queste caratteristiche peculiari degli insediamenti urbani rendono di fatto sostanzialmente orientative le indicazioni emergenti dal pur utile “downscaling” climatico proposto nel paragrafo 1.1.1. Tali indicazioni, se da un lato consentono di evidenziare in termini complessivi i principali impatti climatici che interesseranno gli insediamenti urbani nelle differenti macroregioni climatiche italiane, dall’altro rendono evidente come la selezione delle azioni di adattamento utili per ogni singola realtà urbana debba necessariamente essere preceduta da studi dettagliati riguardanti non solo gli *stressor* climatici locali ma anche i profili di esposizione, sensibilità, capacità di adattamento e quindi rischio, derivanti da condizioni territoriali, infrastrutturali, socioeconomiche specifiche e su di una scala di indagine appropriata alle problematiche emergenti. Dotare gli insediamenti urbani di questo supporto informativo e di conoscenza, attività che richiede l’impegno e il coinvolgimento delle amministrazioni locali e dei cittadini è la prima e più urgente azione di adattamento, la cui importanza si può da subito sottolineare.

Ciò detto, in coerenza con il riferimento alla zonazione climatica alla base di questo Piano Nazionale, in questo capitolo settoriale vengono identificati i principali *stressor* climatici, per macro area climatica, che concorrono alla definizione della propensione del rischio delle aree urbane e ne vengono discussi, in termini generali, gli aspetti più rilevanti. Il capitolo identifica in particolare: (i) eventi di precipitazione intensa che vedono gli indicatori associati - numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 mm e 95° percentile della precipitazione – in aumento sia nello scenario RCP4.5 che RCP8.5 in tutte le macroregioni climatiche della Penisola con associato rischio da dissesto idrogeologico; (ii) eventi estremi di temperatura e ondate di calore, con associati rischi per la salute sia diretti (stress da caldo) che indiretti attraverso gli impatti sulla qualità dell’aria. Anche questi sono generalizzati, ma particolarmente rilevanti nella zona meridionale del Paese. Infine, (iii) la riduzione delle precipitazioni con problemi associati di scarsità idrica caratterizzanti in particolare le aree insulari e il sud del Paese.

È importante sottolineare come l’elemento climatico sia nella maggioranza dei casi solo un fattore esasperante criticità pregresse dovute in larga parte a miope pianificazione e gestione delle risorse. In questo senso, il processo di urbanizzazione scarsamente controllato nel corso dell’ultimo secolo, la sistematica impermeabilizzazione del suolo e la trasformazione dei corsi d’acqua, associati in molti casi a sistemi scolanti inadeguati, hanno contribuito ad aumentare il rischio da dissesto idrogeologico urbano. La scarsità di vegetazione, l’abbondanza di superfici riflettenti, densità e altezza delle costruzioni, intensificano la vulnerabilità agli aumenti di temperatura con ricadute negative sulla salute. La cronica carenza di investimenti nella rete idrica ne aumenta le inefficienze con prelievi di acqua potabile in aumento anche a fronte di una domanda in calo accentuando la pressione della domanda sull’offerta e il conflitto tra usi alternativi.

Nonostante l’ormai diffusa presenza – nel contesto europeo – di strategie di adattamento nazionali e di piani di adattamento anche regionali e urbani, si evidenzia altresì una sostanziale assenza di discipline cogenti in materia di adattamento climatico urbano sia in ambito europeo che nazionale. Ciò tuttavia non ostacola il sorgere e la diffusione di iniziative significative come *Mayors Adapt* o la *Covenant of Mayors for*

Climate & Energy - cui ad oggi (marzo 2017) aderiscono circa 7 mila amministrazioni locali, rappresentative di circa 230 milioni di cittadini europei – nonché la sperimentazione di interessanti percorsi di adattamento in alcune realtà locali italiane.

Gli insegnamenti da tali esperienze evidenziano che per ridurre rischio e vulnerabilità ai cambiamenti climatici nelle aree urbane:

- Molte azioni efficaci si possono fare da subito e con costi nulli o comunque molto limitati, prima tra tutte un'applicazione estesa del principio di precauzione, evitando di urbanizzare aree potenzialmente a rischio dissesto e tutelando gli spazi liberi e le aree verdi (parchi, giardini, aree naturali protette etc.) soprattutto se ubicati in aree vulnerabili (fiumi, coste, etc.).
- Investire risorse nell'adattamento climatico non è “solo azione ambientale”, ma coincide con il promuovere la qualità di vita dei cittadini e la sostenibilità dello sviluppo.
- Le visioni di lungo periodo hanno un ruolo fondamentale. Se da un lato oggi possono essere supportate da strumenti conoscitivi solo pochi anni fa non disponibili, dall'altro richiedono la volontà di investire risorse per costruire le premesse scientifiche, amministrative, sociali, economiche necessarie al cambiamento verso una comunità consapevole.

INTRODUZIONE

Nella legislazione italiana i termini “urbano” e “città” non hanno una definizione precisa. I riferimenti alle unità amministrative che corrispondono a insediamenti urbani (ma anche a piccoli centri rurali) sono quelli del “comune”, e inoltre, in casi specifici, dell'area metropolitana. Mentre il comune si applica a tutte le unità amministrative locali senza alcuna distinzione tra aree urbane e rurali, le aree metropolitane costituite nel 2014 comprendono le agglomerazioni delle 14 maggiori città italiane. Anche a livello europeo non esiste alcuna definizione uniforme per distinguere città e aree urbane da quelle rurali. L'OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) e la Commissione Europea hanno recentemente proposto una definizione di “area urbana”, per fini statistici, basata sulla densità abitativa, (almeno 1500 abitanti per km²) e dimensione (almeno 50.000 abitanti), distribuzione della popolazione e un legame con il livello amministrativo (Dijkstra and Poelman 2012). Secondo ISTAT, nel 2013, negli insediamenti urbani ad alta o media densità abitativa viveva più del 75% della popolazione Italiana (Figura 1-65). Il presente capitolo – pur parlando di insediamenti urbani - intende però ricomprendervi tutti quelli che corrispondono alla categoria “centro abitato” utilizzata da ISTAT nei censimenti della popolazione e dove viveva, nel 2011, più del 90% della popolazione italiana (ISTAT 2016b).

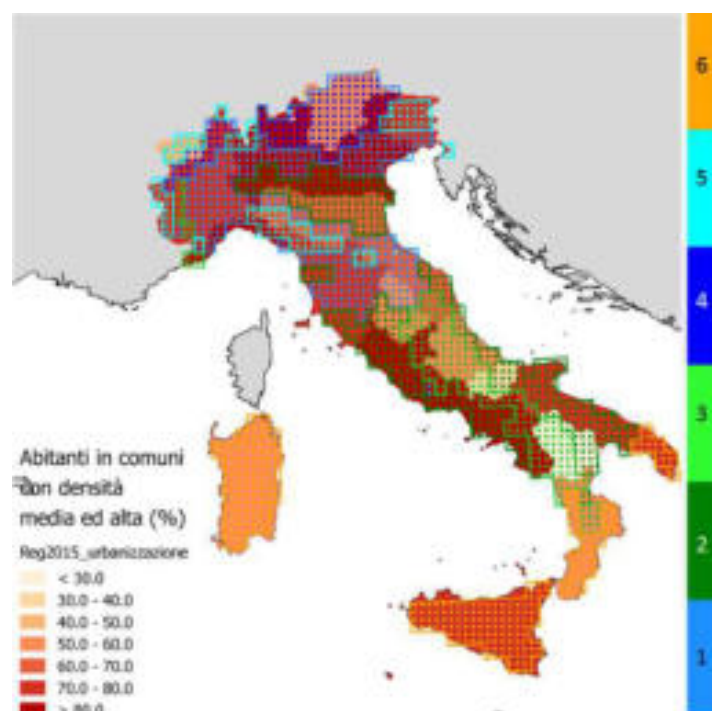


Figura 1-65: Distribuzione della popolazione in aree con densità di urbanizzazione media e alta e macroregioni climatiche¹¹².

Oltre ad “ospitarne” la popolazione, i centri urbani erogano servizi sociali e culturali essenziali risultando quindi soggetti d’importanza cruciale per lo sviluppo e la buona tenuta del tessuto economico e sociale nazionale.

Di conseguenza, sono anche dei veri e propri “hot spot” per il cambiamento climatico condensandone gli effetti nocivi su una elevata percentuale di soggetti e attività potenzialmente sensibili. Sono, al contempo, responsabili delle emissioni di gas serra, contribuendo in modo sostanziale e crescente al cambiamento climatico. Si stima infatti che nel 2013, a livello globale, le aree urbane siano state responsabili di circa il 64% dell’uso primario di energia e dell’emissione di circa 24 miliardi di tonnellate di CO₂, pari al 70% del totale mondiale.

Non è quindi un caso che la Strategia Europea per l’adattamento ai cambiamenti climatici veda le aree urbane come uno dei settori di intervento chiave per ridurre le vulnerabilità e aumentare la resilienza della società (EC 2013d), e che altrettanta enfasi sia loro riservata nella Strategia Nazionale di Adattamento dell’Italia.

Essendo gli ambienti urbani sistemi prevalentemente artificiali, la loro resilienza deve essere assicurata quasi esclusivamente dall’azione dell’uomo. Questa azione si deve confrontare con due elementi del tutto peculiari. Da un lato, gli insediamenti urbani sono caratterizzati da un’elevata eterogeneità interna, determinata sia da caratteristiche topografiche e morfologiche, che da quelle demografiche e socio economiche della popolazione residente. Dall’altro, spesso la vulnerabilità urbana e gli effetti delle misure atte a ridurla, si originano da e/o hanno ricadute su aree più vaste o diverse rispetto a quelle urbane. Vulnerabilità, rischio e adattamento vanno quindi considerati anche rispetto a queste dimensioni più ampie.

Alla luce di queste premesse, la struttura del capitolo è la seguente: la prima sezione identifica i principali rischi e *stressor* climatici suscettibili di ricadute a livello urbano secondo la zonazione climatica descritta in dettaglio nel paragrafo 1.1.1 che qui viene riassunta brevemente. Questa prima analisi ha natura orientativa proponendo considerazioni di carattere generale sulla propensione al rischio associata ad ogni macroregione climatica. Viste le peculiarità intrinseche degli insediamenti urbani, risulta pressoché

¹¹² Elaborazione da: ISTAT, 2014b.

impossibile fare un'analisi più specifica per caratterizzare “in senso stretto” la vulnerabilità e il rischio urbano basati su macro aree, né avrebbe una solida validità dal punto di vista del rigore scientifico. La caratterizzazione degli impatti dei cambiamenti climatici, della vulnerabilità e della propensione al rischio dei centri urbani, al contrario, deve e può essere fatta solo tenendo in considerazione tutte le caratteristiche proprie degli insediamenti e attraverso l'utilizzo di una scala di indagine appropriata che nella maggioranza dei casi deve essere spinta al dettaglio di “quartiere”.

Pertanto, nella seconda sezione, il capitolo propone un approfondimento su questi aspetti, andando in parte oltre il contesto della zonazione climatica. L'analisi focalizza in particolare la sua attenzione sugli impatti associati agli eventi di precipitazione intensa, agli estremi di temperatura e ondate di calore, ai cambiamenti nella qualità dell'aria, che risultano essere i più pervasivi e rilevanti per il contesto urbano e ne discute la rilevanza. Ciò però in termini necessariamente generali per lasciare agli utilizzatori finali del Piano decidere quale sia la vulnerabilità più caratterizzante il contesto urbano nel quale operano, in base ai suoi tratti specifici, climatici, topografici e socio economici, inclusa la capacità di adattamento e le eventuali azioni di adattamento pregresse.

Pur essendo il presente capitolo focalizzato sull'analisi di impatti e vulnerabilità, si ritiene utile proporre nella sua parte conclusiva alcune considerazioni generali di contesto che si possono già avanzare in tema di adattamento urbano lasciando i necessari approfondimenti al capitolo del Piano ad esso dedicato. In merito vengono delineati i “percorsi dell'adattamento urbano” riprendendo il panorama culturale e operativo maturato a livello europeo e nazionale ad esso riconducibile senza trascurare gli esempi più significativi delle iniziative di rilevanza locale.

STRESSOR CLIMATICI E IMPATTI POTENZIALI SUI SISTEMI URBANI, UN PRIMO QUADRO NAZIONALE

La zonazione climatica per l'Italia sviluppata nel paragrafo 1.1.1 identifica 6 macroregioni climatiche, a loro volta caratterizzate da 5 cluster di anomalie che ne descrivono l'evoluzione fino alla metà del secolo secondo due scenari di concentrazione di gas climalteranti, l'RCP4.5 e l'RCP8.5 (IPCC, 2013). La zonazione viene riproposta nella Figura 1-66 per offrire una orientativa corrispondenza tra stressor climatici e impatti ragionevolmente attesi sugli insediamenti urbani, operazione ritenuta utile ai fini della successiva identificazione delle azioni di adattamento da includere nel PNACC. La caratterizzazione delle anomalie per zona climatica viene riassunta in forma tabellare (vedi da Tabella 1-45 a Tabella 1-50). Oltre al valore numerico si è adottato un segno grafico che possa intuitivamente restituire la direzione e magnitudo della variazione; nello specifico, si utilizza un cerchio grigio per variazioni percentuali nell'intervallo [-10%; 10%] o, per gli indicatori espressi in termini di numero di giorni, qualora la variazione non ecceda ± 2 giorni; un cerchio giallo per variazioni [10%; 20%] rosso per [20%; 100%] e viola qualora eccedano il 100%. La scala adottata mira a diversificare le variazioni che ricadono in un intervallo confrontabile (nell'ordine del 20%) con l'errore medio della simulazione climatica nella riproduzione dei valori estremi e le variazioni che eccedono tale valore, e per le quali quindi si assume che il segnale di variazione sia più robusto.

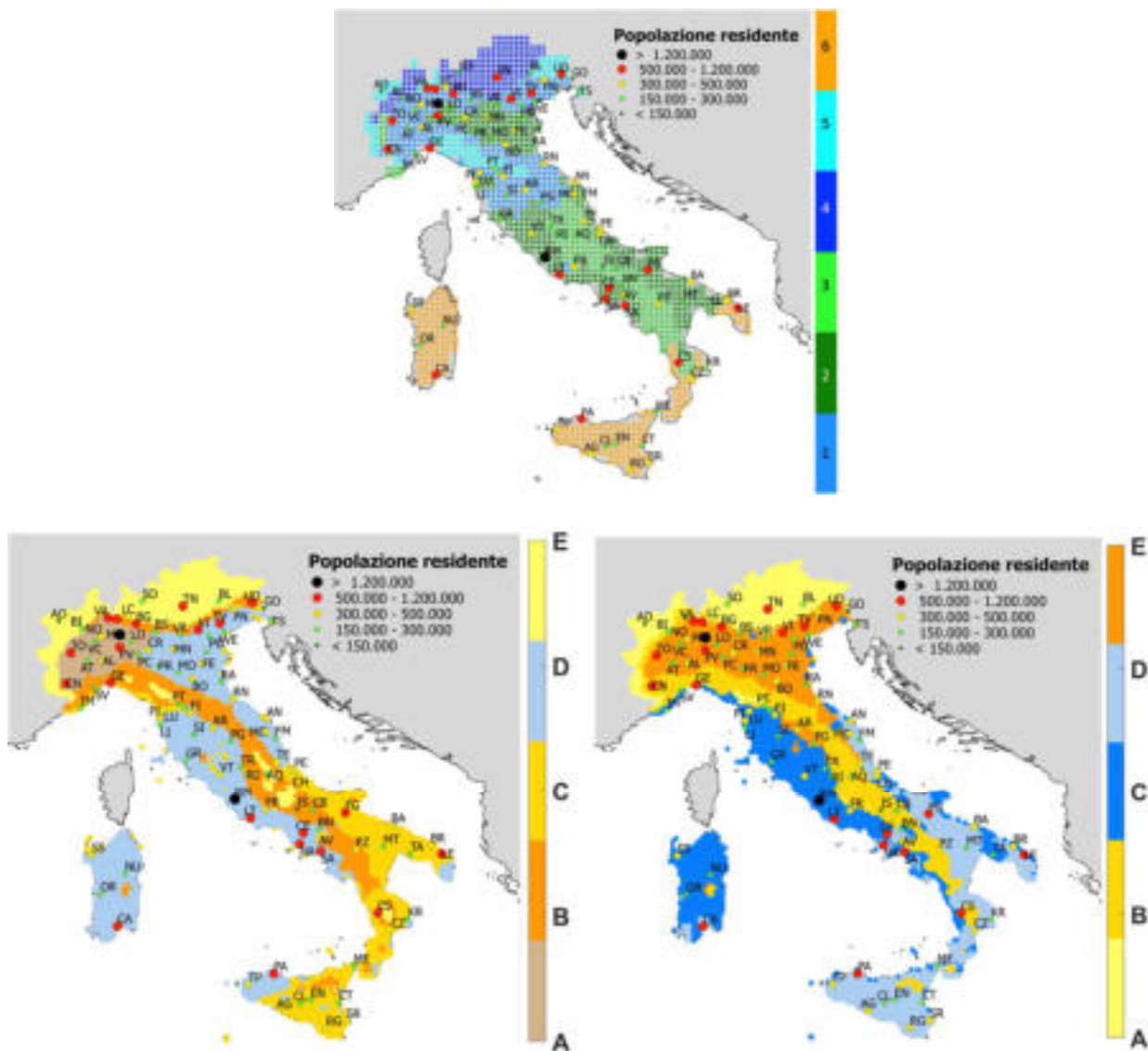


Figura 1-66: Macroregioni, anomalie climatiche e popolazione residente nelle province italiane. Zonazione climatica sul periodo di riferimento (sopra); zonazione delle anomalie climatiche nello scenario RCP4.5, (sx. sotto); zonazione delle anomalie climatiche nello scenario RCP8.5, (dx. sotto).

Le macroregioni identificate sono:

Macroregione 1: Prealpi e Appennino settentrionale. L'area è attualmente caratterizzata da valori intermedi di precipitazioni invernali ed estive, ma da valori elevati degli indicatori relativi ai fenomeni di precipitazione estrema (R20 e R95p). In un contesto generalizzato di aumento delle temperature medie, i due scenari climatici analizzati prevedono:

- per l'**RCP 4.5** una riduzione delle precipitazioni estive e invernali, anche se per la Toscana e per alcune zone del Veneto queste ultime sono previste in aumento, ed un loro aumento di intensità;
- per l'**RCP 8.5** un aumento più marcato delle temperature medie ed estreme, una riduzione delle precipitazioni estive ed un aumento di quelle invernali. Nella parte dell'area che ricade sulla Toscana si prevede un aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione e degli estremi.

Gli *stressor* climatici più rilevanti per gli insediamenti urbani dell'area sono quindi l'intensificarsi delle precipitazioni medie ed estreme, che in parte di Toscana e Veneto possono diventare anche più frequenti

aggravando un'esposizione già esistente, e la riduzione delle precipitazioni nel periodo estivo. Gli impatti potenziali più rilevanti sugli insediamenti urbani saranno ragionevolmente quelli associati ad eventi di dissesto idrogeologico in area urbana, con possibili incidenze su infrastrutture e servizi, nonché problemi legati alla scarsità e relativa gestione delle risorse idriche, soprattutto nel periodo estivo.

Tabella 1-45: Zona 1 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Zona 1	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		A	B	D		B	C	E	
Tmean (°C)	12.8	● 1.4	● 1.3	● 1.2		● 1.6	● 1.5	● 1.5	
R20 (giorni/anno)	11	● -1	● -1	● 1		● 0	● 1	● 1	
SUP95 (giorni/anno)	30	● 18	● 9	● 14		● 8	● 12	● 14	
R95 (%)	29	● 1	● 3	● 11		● 6	● 13	● 9	

Macroregione 2: Pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale (comprese le aree di Lazio e Campania che coincidono con le aree a più elevata urbanizzazione). La zona è attualmente caratterizzata dal maggior valore per la media di numero di giorni con temperature massime al di sopra dei 29,2°C¹¹³ e al contempo da temperature medie elevate; il regime pluviometrico, in termini di valori medi ed estremi, mostra invece caratteristiche intermedie. In particolare:

- l'**RCP 4.5** prevede un aumento significativo della temperatura e dei *summer days*. Il versante tirrenico e la maggior parte della Pianura Padana sono interessati da un aumento delle precipitazioni invernali e da una riduzione di quelle estive; la parte ovest della pianura Padana e del versante Adriatico da una generalizzata riduzione sia delle precipitazioni estive che di quelle invernali;
- l'**RCP 8.5** prevede trend più marcati di temperatura e *summer days* rispetto allo scenario RCP 4.5. Nella pianura Padana si prevedono un aumento rilevante delle precipitazioni invernali e una riduzione di quelle estive; le restanti aree della Zona 2 sono caratterizzate da un aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione anche estremi.

Gli *stressor* climatici più rilevanti per gli insediamenti urbani dell'area sono quindi le ondate di calore e l'intensificarsi degli eventi di precipitazione estremi, che si accompagnano ad una generalizzata riduzione delle precipitazioni nel periodo estivo e, sul versante Adriatico, anche in quello invernale. Potenziali impatti climatici di particolare rilievo saranno quelli sulla salute, derivanti dalle patologie legate all'aumento delle temperature, incluse le ondate di calore.

Tabella 1-46: Zona 2 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Zona 2	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		A	C	D		C	D	E	
Tmean (°C)	14.4	● 1.4	● 1.2	● 1.2		● 1.5	● 1.5	● 1.5	
R20 (giorni/anno)	5	● -1	● 0	● 1		● 1	● 0	● 1	
SUP95 (giorni/anno)	52	● 18	● 12	● 14		● 12	● 14	● 14	
R95 (%)	21	● 1	● 4	● 11		● 13	● 6	● 9	

Macroregione 3: Appennino centro-meridionale. La zona è caratterizzata da scarse precipitazioni estive e, in generale, da eventi estremi di precipitazione ridotti per frequenza e magnitudo. In particolare:

¹¹³ Il valore di 29,2°C corrisponde alla media del 95° percentile della distribuzione delle temperature massime osservate tramite E-OBS.

- lo scenario **RCP 4.5** prevede un aumento della temperatura e una riduzione complessiva dei *frost day*. Nell'Appennino centro-meridionale emerge inoltre una marcata riduzione delle precipitazioni estive, e, per l'area interna, anche di quelle invernali;
- lo scenario **RCP 8.5** prevede una riduzione significativa dei *frost day* (maggiore rispetto all'RCP4.5). Nell'Appennino centro-meridionale emerge una generale riduzione delle precipitazioni estive nelle aree interne, mentre per le aree più esterne si assiste ad un aumento delle precipitazioni estive e dei fenomeni di precipitazione estrema.

Gli *stressor* climatici caratterizzanti gli insediamenti urbani dell'area risultano essere la riduzione delle precipitazioni estive - soprattutto nelle zone appenniniche interne - e un aumento delle precipitazioni estreme nelle zone più esterne. I potenziali impatti climatici attesi sono quindi la scarsità idrica (con conseguente più difficoltosa gestione delle risorse idriche) e un incremento dei fenomeni di dissesto idrogeologico urbano.

Tabella 1-47: Zona 3 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Zona 3	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		B	E			B	C	D	
<i>Tmean</i> (°C)	12.5	● 1.3	● 1.2			● 1.6	● 1.5	● 1.5	
<i>R20</i> (giorni/anno)	4	● -1	● -2			● 0	● 1	● 0	
<i>SUP95</i> (giorni/anno)	18	● 9	● 1			● 8	● 12	● 14	
<i>R95</i> (%)	19	● 3	● -1			● 6	● 13	● 6	

Macroregione 4: Area alpina. È caratterizzata dalla media più bassa per le temperature minime e il massimo numero di *frost days*; le precipitazioni invernali sono meno abbondanti, mentre le precipitazioni estive sono significative. In particolare:

- lo scenario **RCP 4.5** prevede una riduzione nel numero di giorni di eventi estremi, una riduzione complessiva dei *frost days* e della copertura nevosa;
- dallo scenario **RCP 8.5** emerge una riduzione delle precipitazioni estive e un aumento di quelle invernali. Inoltre si ha una riduzione generale sia dei *frost days* che della copertura nevosa, come per lo scenario RCP 4.5.

Gli insediamenti urbani della Zona 4 dovranno quindi prevedibilmente fronteggiare un generalizzato incremento delle precipitazioni estreme nel periodo invernale, a carattere più piovoso che nevoso soprattutto nell'RCP 8.5. I principali impatti potenziali saranno di conseguenza legati al dissesto idrogeologico.

Tabella 1-48: Zona 4 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Zona 4	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		E				A			
<i>Tmean</i> (°C)	5.7	● 1.2				● 1.5			
<i>R20</i> (giorni/anno)	10	● -2				● 1			
<i>SUP95</i> (giorni/anno)	1	● 1				● 1			
<i>R95</i> (%)	25	● -1				● 5			

Macroregione 5: Area dell'Italia settentrionale, caratterizzata dai valori più elevati di precipitazione invernali ed estivi, sia medi che estremi.

Nel futuro si prevede:

- nello scenario **RCP 4.5** una riduzione significativa delle precipitazioni e dei *frost days* e una lieve riduzione delle precipitazioni estreme;
- nello scenario **RCP 8.5** una riduzione delle precipitazioni estive e un aumento della frequenza e della intensità di quelle invernali.

Gli insediamenti urbani della Zona 5, già caratterizzati da elevati valori di precipitazione, saranno prevedibilmente esposti ad una loro intensificazione ulteriore, soprattutto nel periodo invernale in uno scenario RCP 8.5. I potenziali impatti attesi comporteranno una accentuazione del dissesto idrogeologico, particolarmente acuta nel periodo invernale.

Tabella 1-49: Zona 5 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Zona 5	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		B		E		A			
Tmean (°C)	8.1	●	1.3	●	1.2	●	1.5		
R20 (giorni/anno)	22	●	-1	●	-2	●	1		
SUP95 (giorni/anno)	7	●	9	●	1	●	1		
R95 (%)	41	●	3	●	-1	●	5		

Macroregione 6: Aree insulari regioni meridionali. Zona mediamente più calda e secca con un numero più alto di giorni consecutivi senza pioggia, precipitazioni estive mediamente più basse ed eventi estremi di precipitazione ridotti per frequenza e magnitudo.

Negli scenari si prevede:

- per l'**RCP 4.5** un'ulteriore complessiva riduzione delle precipitazioni estive ed un aumento significativo dei *summer days*. La Sardegna e parte della Sicilia saranno caratterizzate da un aumento delle precipitazioni invernali;
- per l'**RCP 8.5** un aumento significativo degli eventi estremi e in generale delle precipitazioni estive, in opposizione a quanto osservato per lo scenario RCP 4.5.

Gli *stressor* climatici principali per gli insediamenti urbani nella Zona 6 saranno gli aumenti di temperatura medi ed estremi, la riduzione delle precipitazioni nel periodo estivo nell'RCP 4.5, ma comunque accompagnato da un aumento di quelle invernali associate a più eventi estremi; un potenziale aumento di precipitazioni ed estremi anche nel periodo estivo nell'RCP 8.5. I potenziali impatti sugli insediamenti urbani saranno prevedibilmente quelli sulla salute associati alle elevate temperature e ondate di calore, nonché la scarsità idrica nel periodo estivo e l'accentuarsi dei dissesti idrogeologici nel periodo invernale.

Tabella 1-50: Zona 6 Anomalie climatiche per il periodo 2021-2050 versus il periodo 1981 – 2010.

Zona 6	presente	RCP4.5				RCP8.5			
cluster		C	D			C	D	E	
Tmean (°C)	16	● 1.2	● 1.2			● 1.5	● 1.5	● 1.5	
R20 (giorni/anno)	3	● 0	● 1			● 1	● 0	● 1	
SUP95 (giorni/anno)	36	● 12	● 14			● 12	● 14	● 14	
R95 (%)	19	● 4	● 11			● 13	● 6	● 9	

La descrizione fin qui riportata per la macro-regionalizzazione fornisce un quadro generale sull'andamento dei cambiamenti climatici nelle aree urbane. Per andare oltre questo quadro generale e disporre dunque delle informazioni indispensabili per selezionare le azioni di adattamento più appropriate per ogni singolo insediamento urbano, sono necessari studi specifici in grado di evidenziare i futuri rischi modulandoli in funzione delle condizioni geografiche, morfologiche, insediative e sociali specifiche di ciascun territorio urbano e di ciascun città.

L'applicazione di strumenti modellistici a scala urbana risulta utile e fondamentale per caratterizzare le vulnerabilità delle singole aree urbane e per identificare più specificamente quelle aree all'interno delle città da considerare particolarmente vulnerabili e/o cruciali per mantenere o migliorare condizioni climatiche urbane sostenibili. Attraverso l'utilizzo di dati disponibili di diversa tipologia (es. condizioni sociali, reddito, formazione, ritardi nei pagamenti, classe energetica edifici, densità abitativa) insieme ai dati climatici ad alta risoluzione, è possibile costruire delle vere e proprie "mappe di propensione al rischio urbano" che diventano indispensabili per dare una priorità temporale e finanziaria all'applicazione delle azioni di adattamento.

L'obiettivo di questo documento è comunque quello di fornire agli utilizzatori finali approfondimenti e considerazioni di carattere generale da cui partire per poter, in un secondo momento, effettuare studi specifici di dettaglio e individuare le strategie di adattamento. Proprio per la difficoltà di evidenziare in modo unitario la propensione al rischio dovuta al cambiamento climatico nelle aree urbane, un'azione di adattamento da proporre potrebbe essere quella di rivedere gli eventi passati e gli impatti verificatisi a livello locale con il coinvolgimento degli amministratori e gestori dei servizi (*debriefing* nell'ottica del cambiamento climatico). Tali considerazioni sono oggetto delle prossime sezioni.

PECULIARITÀ DELLA VULNERABILITÀ E DELLA PROPENSIONE AL RISCHIO CLIMATICO IN AMBIENTE URBANO

La propensione al rischio dei centri urbani al cambiamento climatico, in quanto ambienti artificiali, è determinata tanto dai fattori climatici quanto da quelli non climatici che contribuiscono a definirne esposizione, sensibilità e resilienza.

Dei primi si è detto nella sezione precedente. Tra i secondi si citano: l'elevata densità di popolazione, beni e servizi indispensabili per la salute e la sicurezza (per es. distribuzione di acqua potabile ed energia, funzionamento del sistema fognario e rimozione dei rifiuti, infrastrutture di trasporto e comunicazione), la posizione (per es. rispetto a fiumi o coste, pendii più o meno stabili etc.), le caratteristiche morfologico-strutturali (per esempio scarsità di vegetazione e abbondanza di superfici riflettenti, densità e altezza delle costruzioni, suoli altamente impermeabilizzati), che ne accentuano la vulnerabilità a modificazioni nella temperatura dell'aria, nella direzione del vento e nel regime delle precipitazioni medie ed estreme.

Gli insediamenti urbani non sono poi dotati di resilienza "naturale": ovvero non sono in grado di rispondere in maniera autonoma a queste pressioni con trasformazioni utili ad adattare il sistema ai mutamenti esterni che, già presenti, verranno ulteriormente esacerbati dai cambiamenti climatici.

In Tabella 1-51 viene riportato un elenco dei principali fattori di stress climatico e delle relative ripercussioni di natura sociale ed economica specifici per le aree urbane.

Tabella 1-51: Principali stressor climatici e impatti dei cambiamenti climatici sulle città e sui servizi erogati¹¹⁴.

Stressor climatico	Evento indotto	Impatti
Eventi estremi di precipitazione (generalizzato, ma particolarmente rilevante nelle macroregioni 1, 2D RCP4.5, 2C RCP8.5, 3C RCP8.5 e 6D RCP4.5, 6C RCP8.5)	Alluvioni urbane	- Distruzione di case, luoghi di lavoro e infrastrutture - Degradazione del verde pubblico - Perdita di biodiversità - Perdita del patrimonio immobiliare e delle comunità private - Perdita di posti di lavoro e fonti di reddito - Danni al patrimonio culturale - Incertezza nella pianificazione dell'uso del suolo a lungo termine e nella progettazione di infrastrutture - Interruzione servizi pubblici e non - Costi per l'installazione di sistemi e incremento dei costi assicurativi - Costi per periodi improduttivi
Eventi estremi di temperatura (generalizzato e in particolare macroregioni 2 e 6, 5B RCP4.5)	Ondate di calore esacerbate da effetti di isola di calore urbana e diminuzione qualità dell'aria	- Problemi di salute pubblica - Danni al patrimonio culturale - Aumento domanda energetica degli edifici - Aumento del fenomeno dell'isola di calore - Aumento di aree geografiche e stagionalità per la diffusione di malattie trasmesse da vettori - Aumento rischio incendi - Perdita di biodiversità - Ridotta capacità di lavorare, ridotta produttività, ritardate consegne di prodotti e servizi ai clienti - Riduzione nell'uso degli spazi pubblici e quindi della vita sociale - Ostacoli nella fornitura di beni e nel trasporto di pendolari per danni a infrastrutture (strade/binari deformati dalle alte temperature) - Problemi di raffreddamento delle centrali energetiche e mancata erogazione di energia - Costi per periodi improduttivi
Aumento delle temperature medie (generalizzato e in particolare macroregioni 2 RCP8.5, e 4)	Riscaldamento area urbana	- Anticipo e aumento della durata di periodi di pollinazione - Problemi di salute pubblica
Riduzione media delle precipitazioni (macroregioni 1, 2, 3B RCP4.5, 3 RCP8.5 e soprattutto zona 6)	Scarsità/qualità idrica	- Competizione per uso dell'acqua con altri settori (agricoltura e turismo) - Diminuzione fornitura acqua - Limitato accesso all'acqua potabile - Aumentato rischio di contaminazione delle acque - Aumento rischio incendi
Aumento del livello del mare	Aumento erosione costiera e inondazioni	- Perdita di patrimonio privato di proprietà della comunità - Perdita di porzioni di spiaggia - Modifiche alle zone umide per livello del mare, erosione costiera e intrusione di acqua salata - Perdita di biodiversità - Perdita del patrimonio culturale

Nota: qualora non indicato il cluster di anomalie (A, B, C, D, E), le medesime sono da considerarsi caratterizzanti l'intera macroregione climatica.

¹¹⁴ Giordano et al. 2013.

Di seguito si esaminano in modo più approfondito i primi tre elementi riportati in Tabella 1-51 scelti tra quelli che permettono di meglio caratterizzare il contesto urbano e ai quali l'attribuzione della macroregione climatica di appartenenza risulta più consistente con l'analisi riportata nel paragrafo 1.1.1. È necessario comunque ricordare che questi possono caratterizzare insediamenti collocati in macroregioni in cui lo *stressor* generante è particolarmente debole o, vice versa, essere del tutto assenti in centri appartenenti a macroregioni in cui lo *stressor* generante è il più accentuato.

Eventi di precipitazione intensa

L'analisi condotta nel paragrafo 1.1.1 evidenzia come, gli indicatori R20 (relativo al numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 mm) e R95p (relativo al 95° percentile della precipitazione), sia per lo scenario RCP4.5 che RCP8.5, mostrino una tendenza quasi generalizzata all'aumento, già in un prossimo futuro e per praticamente tutte le macroregioni climatiche della Penisola.

La vulnerabilità urbana agli eventi di precipitazione intensa è ben rappresentata dagli episodi che negli ultimi anni si sono verificati in Italia provocando danni importanti e, in alcuni casi, anche vittime nelle aree urbane. Prendendo a riferimento l'ultimo quinquennio, a titolo di esempio si cita Genova, dove nel 2011 durante due eventi di questo tipo verificatisi a distanza di pochi giorni hanno perso la vita 19 persone e sono stati provocati danni nell'ordine di diverse decine di milioni di Euro (Silvestro et al., 2012), e sempre Genova nel 2014 con una vittima e danni nell'ordine di circa 100 milioni di Euro (Desiato et al. 2015). Anche se la zona ligure risulta quella più colpita, le cronache riportano eventi simili in Sardegna con Olbia e centri minori colpiti nel 2013 e 17 vittime (Desiato et al. 2014), Milano nel 2014, Noto e Veneto nel 2014, ancora Milano nel 2016.

Gli eventi di precipitazione intensa espongono le città a rischi dovuti principalmente a due fenomeni: esondazione di corpi idrici superficiali in seguito a eventi che interessano bacini idrici più o meno grandi a monte delle aree urbane, e inondazioni nelle aree urbane per mancata capacità dei sistemi di drenaggio di smaltire quantità di acqua superiori ai valori per i quali essi erano stati progettati. Il deflusso di queste acque avviene di conseguenza prevalentemente per via superficiale creando accumuli e corsi di acqua nelle strade, nelle zone e infrastrutture più basse come sottopassi, metrò, etc., e nei piani inferiori degli edifici.

L'esposizione degli insediamenti urbani in Italia agli impatti degli eventi di precipitazione intensa deriva, in parte dalle caratteristiche oggettive *geografiche e idrogeologiche* del territorio, ma soprattutto dalla loro forma e ubicazione. Qui, fattori antropogenici legati principalmente al processo di urbanizzazione scarsamente controllato nel corso di tutto l'ultimo secolo, hanno spesso privilegiato le aree alluvionali e i fondo valle di fiumi e torrenti, contribuendo al sostanziale incremento del rischio idrogeologico in tutte le aree urbane (Amanti et al. 2014). Anche la trasformazione del territorio e dei corsi d'acqua indotta dall'urbanizzazione ha agito in questo senso. Trasformando infatti suoli permeabili in superfici impermeabili quali strade, parcheggi, piazze ed edifici, e cementificando argini e letti dei corsi d'acqua, si è sostanzialmente aumentata la frequenza e l'intensità delle onde di piena nei centri abitati.

Desta particolare preoccupazione notare come nonostante il trend demografico che aveva spinto l'urbanizzazione in Italia nella seconda metà del ventesimo secolo sia ormai decisamente rallentato, quello della trasformazione del suolo in aree impermeabili, continui a crescere (vedi Figura 1-67).

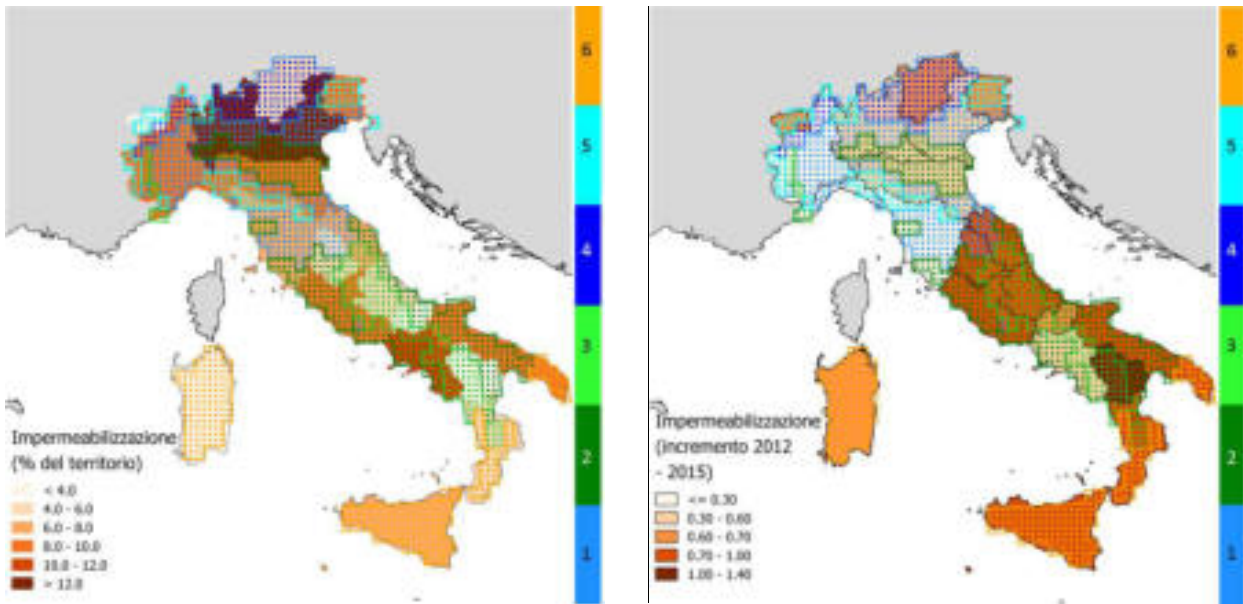


Figura 1-67: Stima del consumo del suolo nel 2015 nelle regioni Italiane e macroregioni. Percentuale dell'area impermeabilizzata (sx.); variazioni percentuali impermeabilizzazione dal 2012 al 2015 (dx.)¹¹⁵.

In questo senso è indicativo sottolineare come più di un quinto (il 21,5%, quasi 5.000 km²) del suolo consumato in Italia al 2015 sia concentrato nel territorio amministrato dalle 14 città metropolitane (Figura 1-68) (Munafò, 2016, p. 16), mentre all'interno delle maggiori città italiane, l'impermeabilizzazione raggiungeva o superava il 50% della superficie già nel 2006 (vedi Figura 1-69). È interessante notare come le quattordici città metropolitane ricadano attualmente in tre sole macroregioni climatiche (1 per Torino, Venezia e Firenze; 2 per Napoli, Milano, Roma, Bari, Bologna; 6 per le aree meridionali e insulari). In tali aree, tra gli *stressor climatici* caratterizzanti troviamo appunto l'aumento degli eventi di precipitazione estrema.

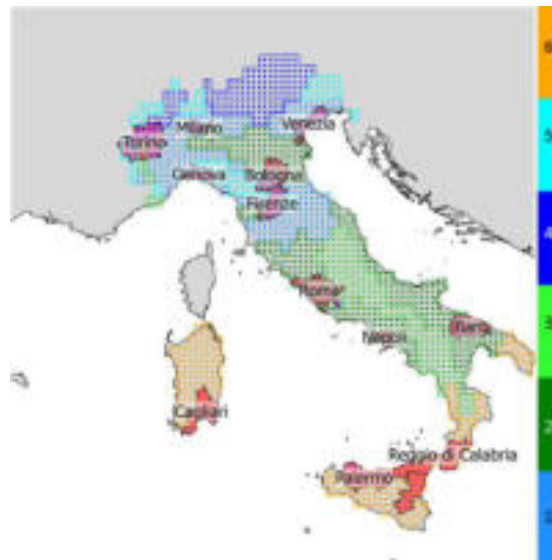


Figura 1-68: Aree metropolitane e macroregioni climatiche.

¹¹⁵ Fonte: Munafò, 2016.

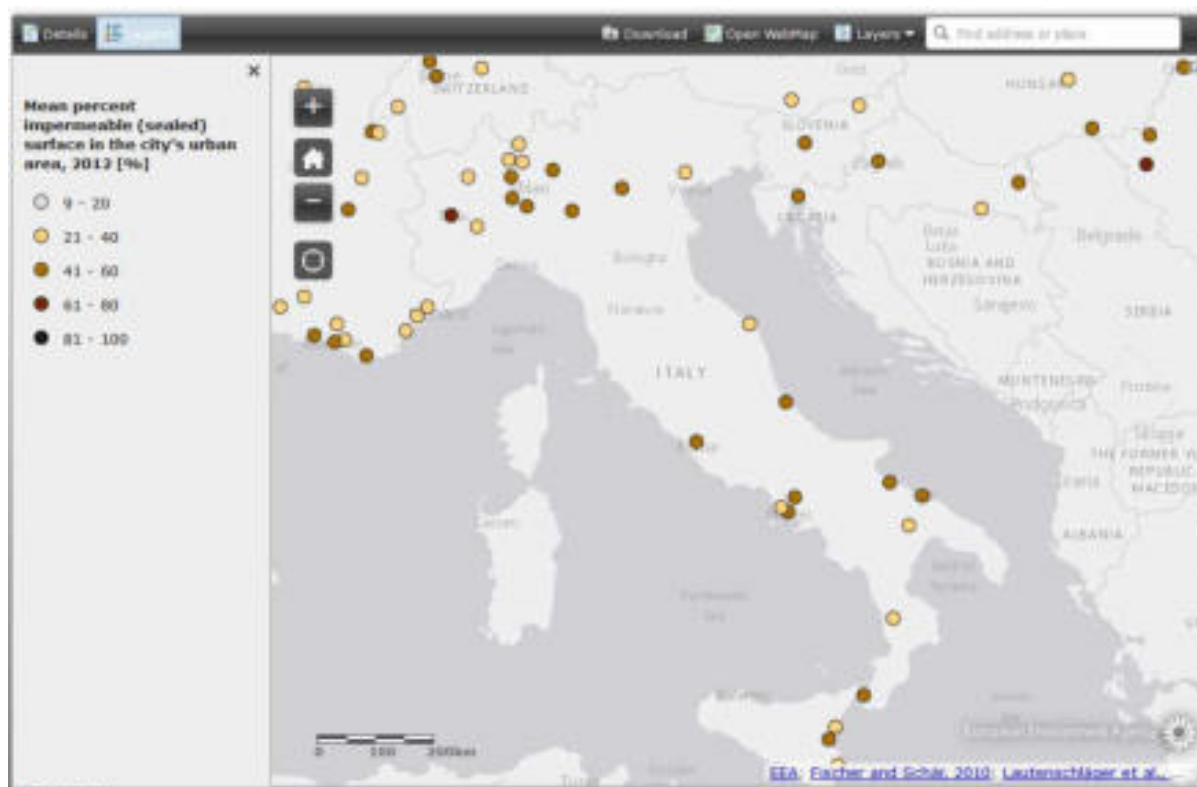


Figura 1-69: Percentuali di impermeabilizzazione del suolo nei centri urbani, 2006¹¹⁶.

È importante sottolineare che l'eterogeneità nella vulnerabilità tra i diversi insediamenti urbani si riproduce anche all'interno degli stessi. I tassi di sensibilità variano tra aree a seconda del modo in cui zone residenziali, servizi, aree produttive e infrastrutture sono disposte. Anche la composizione della popolazione (persone anziane, persone con problemi di deambulazione etc.) è un fattore da tenere in considerazione. Oltre alla sensibilità al rischio fisico, ce n'è una di tipo economico che sta suscitando crescente attenzione negli ultimi anni. È fatto documentato (Lindley et al. 2011) che nelle città inglesi le famiglie povere vivono più frequentemente in aree a rischio di inondazione e sono al contempo, per carenza di risorse, più sensibili ai danni causati da inondazioni. In Italia studi dettagliati in questo senso non esistono, tuttavia è un fatto oggettivo che aree marginali delle città spesso corrispondono a valori immobiliari inferiori e perciò possono attrarre una popolazione meno abbiente.

Eventi estremi di temperatura, ondate di calore e qualità dell'aria

Gli ultimi decenni in Italia sono stati caratterizzati da aumenti significativi delle temperature medie e degli eventi di ondate di calore, definiti da alcuni indici tra i quali il WSDI (*Warm Spell Duration Index*)¹¹⁷ che negli ultimi 50 anni (dal 1961 al 2013) ha sempre superato la media climatologica. I valori più elevati si sono registrati nel 2003 (con una anomalia della durata media in Italia dell'ondata di calore di 45 giorni), ma anche il 2007 e il 2011 hanno registrato valori delle anomalie prossimi ai 30 giorni (Gaudio et al. 2014). Le stime, inoltre, mostrano un incremento nella durata delle ondate di calore in Italia con un ritmo di circa 4 giorni ogni 10 anni, un incremento delle notti tropicali (cioè con temperature > 20°C), dei *summer days* (con temperature medie > 25°C) e ad una riduzione dei *frost days* (con temperature < 0°C) (Tabella 1-52).

¹¹⁶ Fonte Map Book EEA, Climate Adapt, dicembre 2016.

¹¹⁷ Tale indice individua un periodo di almeno 6 giorni consecutivi in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile della distribuzione, sulla stessa finestra temporale, rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 (Gaudio et al. 2014)

Gli ultimi anni, 2013, 2014 e 2015 sono stati progressivamente, anche in Italia, gli anni più caldi (temperatura media più elevata) a partire dal 1880, confermando il trend di incremento a scala globale. Nel 2015, la temperatura media in Italia è stata superiore di +1.6°C rispetto alla serie storica 1961-1990, con un'anomalia più marcata in estate (+2.5°C) (Desiato et al. 2016).

Tabella 1-52: Tasso di variazione degli indici di temperatura estrema delle serie medie italiane 1961-2012¹¹⁸.

Indice	Tasso di variazione (in n° giorni ogni 10 anni)
<i>Frost days</i>	- 2.1
<i>Summer days</i>	+ 5.7
Notti tropicali	+ 4.3
Durata delle ondate di calore	+ 4.5

Le proiezioni effettuate per i due scenari di concentrazione di CO₂ RCP 4.5 e 8.5 evidenziano un intensificarsi di questi fenomeni nel corso del secolo in particolare nelle macroregioni 2 e 6 che saranno quindi particolarmente vulnerabili a ondate di calore e temperature estreme.

Essendo un sistema artificiale, l'ambiente urbano è caratterizzato dalla presenza di superfici ricoperte da cemento e asfalto e con poche aree di carattere naturale (suolo e vegetazione). Gran parte del suolo risulta impermeabilizzato dall'asfalto ed estremamente secco, mentre gli edifici, attraverso i loro materiali di costruzione e le superfici lisce, assorbono la radiazione solare (diretta e riflessa dalle superfici circostanti come raggi infrarossi) accumulando e liberando calore che va ad aggiungersi a quello proveniente dai processi di combustione dei veicoli, dall'industria e dagli impianti di climatizzazione.

Le temperature medie dei centri urbani possono quindi risultare più elevate anche di 5-10 °C rispetto alle aree rurali circostanti, aumentando progressivamente dalla periferia al centro. Questo è il cosiddetto fenomeno della “**isola di calore**” particolarmente intenso nel periodo notturno in virtù della capacità degli edifici di cedere in modo differito il calore accumulato durante il giorno. Il fenomeno è esasperato dalla particolare struttura di molti agglomerati urbani (es. canyon), che riduce i moti convettivi, la ventilazione, e quindi anche la capacità di dispersione del calore rispetto alle aree naturali più aperte, cui segue un aumento della temperatura percepita.

Le principali conseguenze sono impatti sulla salute da stress termico che si traducono in incrementi di mortalità per cardiopatie ischemiche, ictus, nefropatie, disturbi metabolici etc. Particolarmente vulnerabili sono pazienti con patologie già in atto, anziani (> 75 anni), bambini, e persone che vivono in condizioni economiche svantaggiate, ma anche i lavoratori costretti ad esposizioni prolungate alle alte temperature per motivi professionali (lavoratori *outdoor*) (Gaudio et al. 2014).

La rilevanza di tali impatti è stata ampiamente documentata in occasione dell'ondata di calore dell'estate del 2003, in cui in Europa sono stati stimati più di 70000 decessi in eccesso (in particolare ultra 75enni) rispetto alla mortalità “standard”. In Italia, in alcune città del nordovest gli incrementi di mortalità nel gruppo degli anziani hanno superato il 30% (Conti et al. 2005).

Per completezza si deve comunque rilevare che anche le temperature rigide si ripercuotono in modo negativo sulla salute acuendo patologie cardiovascolari e respiratorie¹¹⁹. Di conseguenza la macroregione 3, attualmente caratterizzata da un numero elevato di *frost days*, che secondo le proiezioni dovrebbero ridursi, potrebbe sperimentare potenziali diminuzioni nei tassi di mortalità da freddo.

Come evidenziato da recenti studi, esiste inoltre una associazione piuttosto stretta tra condizioni climatiche e inquinamento atmosferico. Le attività antropiche proprie degli insediamenti urbani (traffico veicolare, centrali termoelettriche, riscaldamento e condizionamento degli edifici) sono responsabili dell'immissione in atmosfera non solo di gas ad effetto serra (CO₂, CH₄), ma anche di sostanze quali SO₂, NO₂, CO, benzene

¹¹⁸ Fonte ISPRA.

¹¹⁹ Ad esempio nell'inverno 2011-2012, in seguito ad un'ondata di freddo nel febbraio 2012, in Italia è stato registrato un incremento del 25% nella mortalità dei soggetti più anziani (Gaudio et al. 2014).

(C₆H₆), particolato fine (PM₁₀ e PM_{2.5}) e ozono troposferico (O₃) che compromettono la qualità dell'aria (IPCC, 2013). Oltre che dall'immissione diretta, queste sostanze derivano anche da reazioni chimiche secondarie, a partire dai loro precursori in atmosfera, innescate dall'energia fornita dal sole. I fenomeni atmosferici regolano i processi di trasporto, dilavamento e trasformazione chimica di questi composti (Hedegaard et al. 2012). Pertanto i cambiamenti climatici, alterando i primi (soprattutto il regime dei venti, delle precipitazioni, l'altezza dello strato di rimescolamento degli inquinanti, temperature e irraggiamento solare), incidono anche sui secondi (EEA 2013b) (IPCC 2013).

Sia l'Unione Europea (D.lgs. 155/2010) sia l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO 2000) hanno stabilito dei valori soglia nelle concentrazioni giornaliere e annuali di tali composti, che consentono di monitorare il rischio per la popolazione derivante da prolungate esposizioni ad elevati livelli di inquinanti (Tabella 1-53).

Tabella 1-53: Valori soglia dei principali inquinanti e principali rischi associati.

Inquinante	Valore limite giornaliero/orario	Valore limite annuale	Fonte	Rischi per la salute umana
PM₁₀	50 µg/m ³ (giornaliero) meno di 35 volte/anno	40 µg/m ³	D.lgs. 155/2010	- Malattie apparati respiratorio e cardiovascolare - Tumore polmonare - Parto pre-termine e basso peso neonati
PM_{2.5}		25 µg/m ³ entro 1/1/2015 20 µg/m ³ entro 1/1/2020	D.lgs. 155/2010 Direttiva 2008/50/CE	- Malattie apparato respiratorio e polmonare - Parto pre-termine e basso peso neonati
NO₂	200 µg/m ³ (orario) meno di 18 volte/anno	40 µg/m ³	D.lgs. 155/2010	- Irritazioni apparato respiratorio, occhi - Disturbi respiratori e cardiovascolari
O₃		120 µg/m ³ (OLT = Ob. Lungo Termine)	D.lgs. 155/2010	- Irritazioni/inflammazioni apparato respiratorio e polmonare - Disturbi respiratori e cardiovascolari - Morte prematura in presenza di malattie cardio-vascolari
Benzene		5 µg/m ³	D.lgs. 155/2010	- Agente cancerogeno
Arsenico		6 ng/m ³	D.lgs. 155/2010	- Agente cancerogeno
Cadmio		5 ng/m ³	D.lgs. 155/2010	- Agente cancerogeno
Nichel		20 ng/m ³	D.lgs. 155/2010	- Agente cancerogeno

Le analisi più recenti sulla qualità dell'aria, condotte da ISPRA e relative al 2014 e ai primi 6 mesi del 2015 (ISPRA 2015c), rivelano nel nostro territorio una sostanziale conformità rispetto ai parametri di legge dei composti quali arsenico, cadmio, nichel, e benzene (in quest'ultimo caso con superamento dei limiti solo in poche città).

Per quanto riguarda il PM₁₀, invece, superamenti del limite giornaliero hanno interessato circa 30 città nel 2014 e questo trend verrà probabilmente superato nel 2015, dove nei primi 6 mesi dell'anno si sono registrati già sforamenti in ben 18 città. Sono principalmente città di grandi e medie dimensioni (tutte con più di 40000 abitanti) sia del Centro e Sud Italia, ma soprattutto localizzate nella pianura padana (macroregione 2), con quindi maggiore esposizione della popolazione ai rischi associati. I valori soglia annuali di PM₁₀ non risultano invece superati, ad eccezione della città di Benevento, le cui caratteristiche

orografiche (città a quota modesta tra le colline appenniniche) rendono difficile il rimescolamento verticale delle masse d'aria determinando quindi fenomeni di stagnazione atmosferica con conseguenti prolungati periodi di inquinamento atmosferico.

Nessun superamento del limite annuale è stato invece riscontrato nel caso del $\text{PM}_{2.5}$, ad eccezione del comune di Milano (con inclusi anche Como e Monza). La maggior parte delle città italiane è inoltre entro i limiti previsti per il 2020 (Tabella 1-53), ad eccezione di alcuni grossi agglomerati ricadenti sempre nella Zona Padana (macroregione 2), in cui per conformazione geografica e orografica i fenomeni di stagnazione atmosferica risultano più accentuati.

È necessario ricordare però che i limiti annuali per PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$ imposti dall'OMS a protezione della salute umana (rispettivamente $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sono più stringenti rispetto a quelli delle Direttive Europee (Tabella 1-53). In base ai primi, l'88% degli abitanti residenti nelle aree urbane analizzate risulterebbero esposti a valori di PM_{10} e l'80% a valori di $\text{PM}_{2.5}$ oltre la norma.

I livelli di NO_2 e di O_3 sono caratterizzati da grande variabilità. Maggiori concentrazioni di NO_2 sono state registrate in prossimità di grosse arterie stradali. Entrambi i valori limite (orario e annuale) sono stati in gran parte rispettati. Il valore annuale imposto dalla normativa ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) coincide anche con la soglia imposta dall'OMS e il trend risulta in diminuzione rispetto agli anni precedenti. L'esposizione all' O_3 risulta invece sempre alta, avendo la quasi totalità delle città indagate superato i limiti imposti dalla normativa, specialmente nei grossi agglomerati del Nord Italia. Particolarmente significativi sono anche i livelli elevati di O_3 registrati nel periodo estivo del 2015, in cui le temperature medie dell'aria sono state simili a quelle registrate durante l'ondata di calore del 2003, favorendo le reazioni fotochimiche di formazione dell' O_3 troposferico.

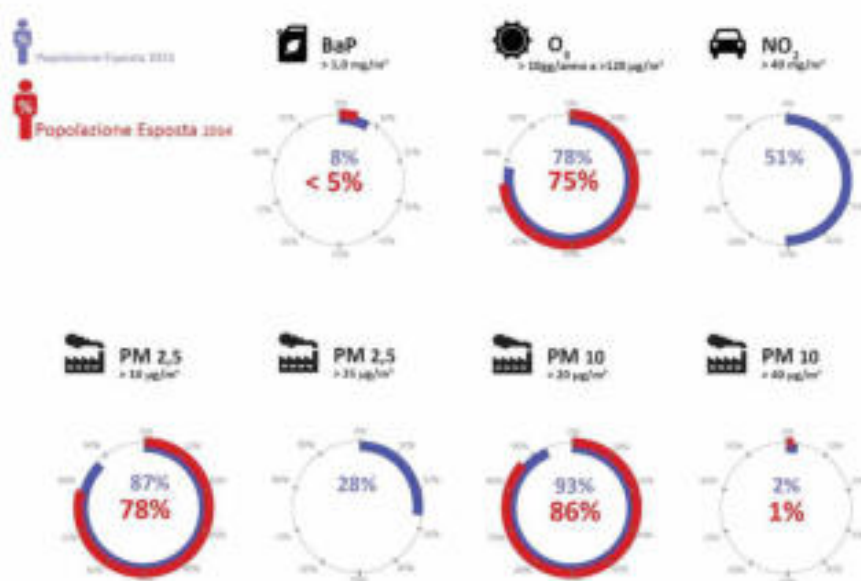


Figura 1-70: Esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici anni 2013-2014¹²⁰.

In genere anziani e bambini sono ancora una volta tra le categorie più sensibili in quanto già soggetti a malattie cardiache o polmonari, spesso non diagnosticate (i primi) o con apparati respiratori non ancora completamente sviluppati (i secondi). Esiste infatti una associazione tra l'aumento dei ricoveri ospedalieri per malattie cardiovascolari e ictus durante le ondate di calore e un incremento delle malattie respiratorie dovuto al legame tra concentrazioni di O_3 e PM_{10} e temperatura (Gaudioso et al. 2014). Reazioni allergiche

¹²⁰ Fonte ISPRA, 2015.

derivano anche dalla sinergia tra le variabili climatiche, gli inquinanti atmosferici e i processi di produzione e sulle caratteristiche degli aero-allergeni (D'Amato et al. 2010)

Se analizziamo il territorio italiano, particolarmente a rischio in seguito a cambiamenti delle variabili climatiche maggiormente coinvolte nei processi di formazione e trasporto degli inquinanti atmosferici, risultano le macroregioni 2, 3 e 6. Nel caso della Pianura Padana (Zona 2) in cui, come riportato precedentemente, la maggior parte degli agglomerati urbani presenta già superamenti nei valori limite degli inquinanti, i cambiamenti climatici potranno accentuare la già scarsa ventosità dovuta alle caratteristiche orografiche del territorio (Gobiet et al. 2014) riducendo quindi il rimescolamento degli strati atmosferici e aumentando i fenomeni di stagnazione atmosferica. Un aumento della concentrazione media estiva di O₃ troposferico di circa 4 ± 2 ppm è infatti previsto per il Centro e Nord Italia entro la fine del secolo, rispetto alla concentrazione media del periodo 1991-2000 (Katragkou et al. 2011), mentre incrementi trascurabili sono previsti nell'Italia del Sud.

Scarsità idrica

Un ulteriore *stressor* climatico rilevante per le aree urbane deriva dalla riduzione delle precipitazioni, soprattutto nel periodo estivo, caratteristica saliente in tutte le macroregioni climatiche italiane ad eccezione di alcune zone del Veneto e della Toscana e delle zone alpine. Questo fenomeno determinerà situazioni di siccità e scarsità idrica più frequenti con conseguente aumento della competizione tra domanda d'acqua potabile per uso urbano e per usi agricoli, industriali-energetici e per garantire il funzionamento dei servizi ecosistemici. Questo conflitto potenziale si colloca in un contesto di stress idrico medio-alto già oggi, in cui si sfrutta più del 30% delle risorse idriche rinnovabili, a fronte di un obiettivo di un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse che prevede di non estrarre più del 20% delle risorse idriche rinnovabili disponibili (vedi paragrafo "Risorse idriche").

In realtà, la richiesta di acqua potabile rappresenta solo il 12% delle derivazioni di acqua a livello nazionale, e la legislazione attribuisce inoltre la priorità dell'uso potabile su tutti gli altri usi (d. lgs. n 152/2006). Tuttavia, le città rimangono altamente vulnerabili alla scarsità idrica, soprattutto per la dipendenza da singole (e potenzialmente limitate) fonti di approvvigionamento. Questa vulnerabilità è emersa per esempio durante gli eventi di siccità del 2003/2007, in città come Ferrara e Parma che dipendono principalmente da prelievi da fiume (Mysiak et al. 2013). Un secondo fattore che determina la vulnerabilità delle aree urbane rispetto alla scarsità idrica è dovuto al fatto che il fabbisogno di acqua potabile sta crescendo. A fronte di consumi pro capite medi nazionali in diminuzione, grazie a strategie di incentivazione economica e di comunicazione che hanno promosso il risparmio idrico¹²¹ (Figura 1-72), sia la quantità di acqua prelevata per uso potabile, sia la quantità di acqua immessa nelle reti comunali di distribuzione, sono cresciute del 3,8 e del 2,6% rispettivamente.

Al contempo, le quantità di acqua disperse nella rete sono aumentate dal 2008 al 2012 dal 32,1% al 37,4% (Figura 1-71). Questo aumento può in parte essere attribuito ad una migliore contabilizzazione e maggiore diffusione di contatori, a correzione di una precedente sottostima del fenomeno. Si osserva però anche una oggettiva riduzione degli investimenti nel settore idrico, che comporta una riduzione delle attività di manutenzione degli impianti, e contribuisce al fenomeno di dispersione. Il fenomeno non è distribuito in maniera uniforme tra le regioni, e i tassi di efficienza della rete di distribuzione sono tendenzialmente inferiori proprio in quelle macroregioni climatiche (3, appennino centro-meridionale e 5, sud e isole) che sono maggiormente esposte a scarsità idrica.

¹²¹ Dal 2008 al 2012 il consumo pro capite di acqua potabile è diminuito da 253 a 241 l al giorno per abitante (ISTAT 2014a).

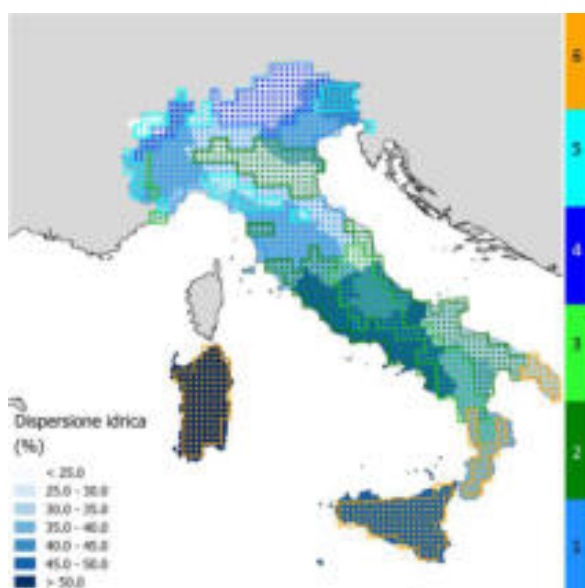


Figura 1-71: Dispersione idrica nel 2012 (differenza percentuale tra volume di acqua immessa in rete ed erogata) e macroregioni climatiche¹²².

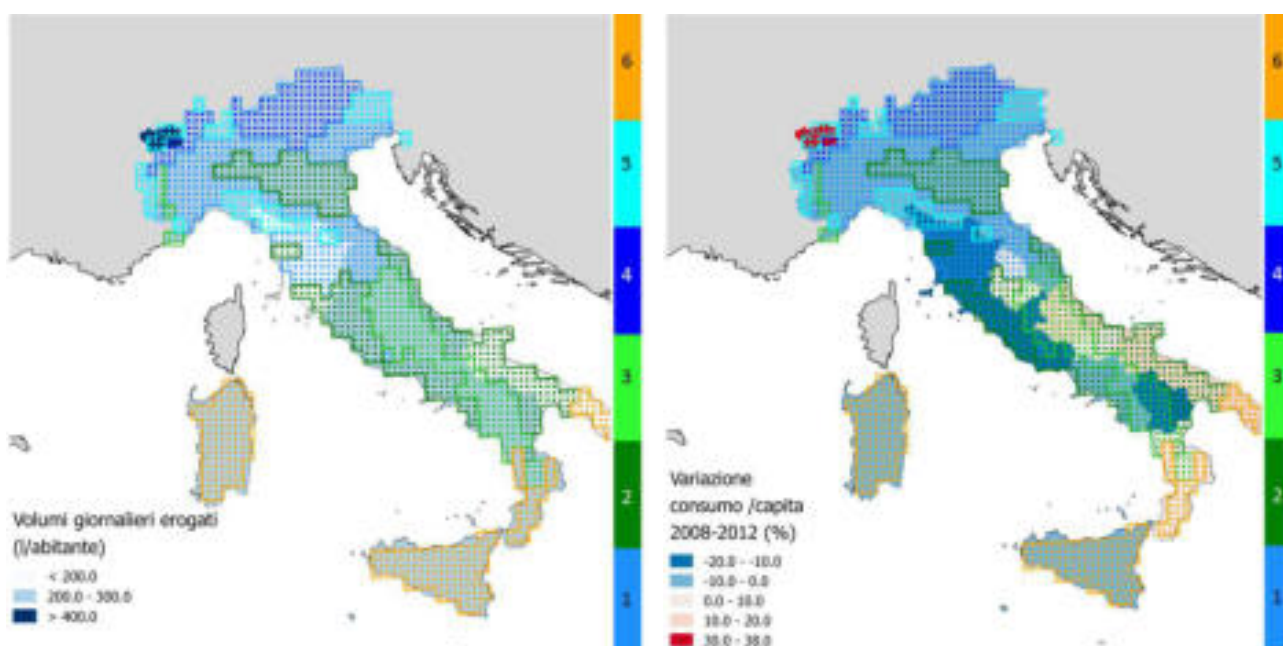


Figura 1-72: Consumi idrici pro capite nel 2012 (sx.) e variazioni percentuali dei consumi tra il 2008 e il 2012 (dx.)¹²³.

I PERCORSI DELL'ADATTAMENTO URBANO

Il quadro normativo europeo e nazionale: assente ma non influente

Il Rapporto *Analisi della normativa comunitaria e nazionale rilevante per gli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici* (Castellari et al. 2014b), redatto nell'ambito della SNAC, ha evidenziato l'assenza – sia a livello comunitario che italiano – di specifiche normative aventi per oggetto prescrizioni od obblighi in materia di adattamento climatico, e tale assenza permane oggi anche se vi sono

¹²² Istat 2014a.

¹²³ Istat 2014a.

ragionevoli probabilità che nel 2017 la Commissione Europea considererà – al fine di stimolare l’attuazione della *Strategia di Adattamento Europea* varata nel 2014 – la possibilità di predisporre strumenti vincolanti. Il Rapporto citato ha tuttavia nel contempo argomentato come tale *assenza* non si traduca nei fatti in una *ininfluenza* della normativa comunitaria e nazionale (non è stata trattata quella regionale, ma il discorso è del tutto estensibile) nei riguardi di possibili percorsi di adattamento climatico, attesa la loro ben nota natura *multi-settoriale* e *inter-settoriale*.

A livello di normative comunitarie viene in particolare rammentata l’incidenza positiva – ai fini dell’adattamento climatico – della applicazione delle *Direttive* inerenti le acque, l’ambiente e la biodiversità, l’agricoltura, il suolo, l’energia, gli insediamenti e le infrastrutture, il danno ambientale, la prevenzione dei rischi industriali rilevanti.

Le Direttive comunitarie hanno indotto – nella produzione legislativa nazionale e regionale degli ultimi decenni – una attenzione sempre maggiore alla considerazione esplicita degli aspetti ambientali nel governo del territorio (nozione che ha sostituito – con la riforma del Titolo V della Costituzione del 2001 – quella più tradizionale di urbanistica) e questa attenzione mette in condizione già oggi le amministrazioni locali di implementare strategie e azioni di adattamento incorporandole nelle ordinarie attività di governo. In altre parole, pur in assenza di espliciti riferimenti normativi alla natura e alle potenzialità dei Piani di Adattamento Climatico, azioni concrete di adattamento potranno anche nell’immediato trovare idonei contenitori negli strumenti ordinari di governo del territorio, ovvero nei Piani Strutturali e nei Piani Operativi (a livello comunale), nei Programmi di Rigenerazione Urbana oppure nei Programmi Complessi di varia denominazione (Piani di Recupero, Programmi di Riqualificazione Urbana attuabili sempre a livello comunale) nonché nelle pianificazioni di matrice ambientale – dal Piano di Gestione dei Rifiuti ai Piani di Bacino, dai Piani di Risanamento delle Acque ai Piani delle Aree protette – di livello sovracomunale.

Quanto ora richiamato consente di affermare che la odierna assenza di discipline cogenti in materia di adattamento climatico non rappresenti un ostacolo alla implementazione della SNAC, e ne sono testimoni alcune esperienze già realizzate di cui si tratterà brevemente di seguito. In prospettiva – e l’occasione più immediata è costituita dal PNACC – tale implementazione sarà comunque importante venga accompagnata da un insieme di azioni (non esclusivamente normative) che ne favoriscano la incorporazione nelle ordinarie politiche di governo del territorio, e non solo.

Insegnamenti dalle esperienze europee

L’Unione Europea, stimolata anche dall’attenzione che da circa un decennio alcune realtà urbane *forerunner* come Malmö, Copenaghen, Amsterdam, Rotterdam, Londra e Stoccarda hanno accordato ai temi climatici, si presenta a livello planetario come uno degli attori principali dell’adattamento urbano.

L’azione della EU è stata fin dall’inizio fortemente orientata al coinvolgimento delle amministrazioni locali, dapprima attraverso la *Covenant of Mayors* (lanciata nel 2008 e finalizzata a sensibilizzare le autorità locali sui temi del risparmio energetico, dunque tarata sui temi della mitigazione) e successivamente (2014) con l’iniziativa *Mayors Adapt* focalizzata sui temi dell’adattamento urbano. Nel 2015 le due iniziative sono state riunificate – riconoscendo la forte complementarità tra mitigazione e adattamento – nella *Covenant of Mayors for Climate & Energy*.

Le elaborazioni teoriche e le esperienze operative maturate nel contesto europeo sono sintetizzate nel recente *Urban adaptation to climate change in Europe 2016* (EEA 2016b) testo di grande utilità per comprendere l’entità e la natura dei contributi che l’azione europea può fornire allo sviluppo, nel contesto italiano, delle pratiche di adattamento urbano.

Si tratta di contributi che, in estrema sintesi possono essere ricondotti a tre *assi tematici* complementari.

Il **primo asse** è di natura *scientifica*, e si sostanzia in un insieme corposo di ricerche che Istituti di ricerca ed Università – autonomamente oppure stimolati da realtà amministrative ai vari livelli – hanno condotto e stanno conducendo sul cambiamento climatico e sui suoi effetti. Tale passo è indispensabile per

comprendere, valutare e misurare l'entità e i possibili effetti dei mutamenti in atto, premesse fondamentali per la successiva identificazione e selezione delle *cose da fare*.

Il **secondo asse** è di natura *metodologica* e concerne la definizione dei requisiti, delle condizioni, dei passaggi e dei percorsi necessari per alimentare la pianificazione e l'attuazione dell'adattamento urbano. Si tratta in sostanza di *linee guida* finalizzate al *come agire*, in un campo fortemente innovativo e sperimentale che vede la compresenza di attori e di campi di intervento numerosi e diversificati (per inciso, non è senza significato che le pratiche di adattamento urbano abbiano ravvivato il dibattito sulla *multi level governance*). In ambito europeo sono state sviluppate nel tempo *linee guida* diverse, recentemente ricondotte (Figura 1-73) al *The Urban Adaptation Support Tool* (UAST)¹²⁴. Va in ogni caso rammentato che, anche nel contesto nazionale, *linee guida* per l'adattamento urbano sono state elaborate da ISPRA nell'ambito del progetto Life-ACT.

Il **terzo asse** è di natura *operativa* ed è alimentato sia dalle iniziative di cui si è detto in precedenza, sia dalla promozione (attraverso finanziamenti di progetti europei) e dalla condivisione delle *buone pratiche* condotte da oltre un decennio in realtà urbane molto diversificate, esperienze raccolte e sistematizzate nella piattaforma Climate-Adapt¹²⁵, che rappresenta oggi uno strumento di importanza fondamentale per amministrazioni, istituti di ricerca, associazioni e cittadini che intendano impegnarsi in percorsi di adattamento (Figura 1-74).



Figura 1-73: I passi dell'Urban Adaptation Support Tool¹²⁶.

¹²⁴ <http://climate-adapt.eea.europa.eu/tools/urban-ast>

¹²⁵ <http://climate-adapt.eea.europa.eu>

¹²⁶ EEA 2016b.



Figura 1-74: Principali contenuti della piattaforma Climate-adapt¹²⁷.

Insegnamenti dalle esperienze italiane

Nel capitolo della SNAC dedicato agli “Insediamenti Urbani” è contenuta una sintetica disamina delle iniziative in materia di clima sviluppate nel contesto italiano. Se ne propone in questa sede un breve aggiornamento inerente due realtà specifiche, ovvero Roma e Bologna, che rappresentano nel periodo intercorso tra la redazione della SNAC e il momento in cui si scrive, le due realtà urbane che hanno compiuto passi significativi in materia di adattamento.

Roma

Nel caso di Roma, l’avvio del percorso di resilienza (inizi del 2014) è stato legato all’ingresso nel programma *100 Resilient Cities*, sostenuto sia sotto il profilo finanziario che logistico dalla Fondazione Rockefeller.

Le attività sinora svolte – riassunte nel rapporto *Valutazione preliminare di resilienza* del gennaio 2016 - hanno comportato un audit sociale molto ampio, teso a disegnare un quadro esaustivo dei punti di forza e di debolezza della città, delle tendenze esogene, delle azioni in corso, degli shock e stress percepiti, delle informazioni disponibili.

A valle di questo impegno ricognitivo sono state selezionate 5 *aree prioritarie di azione*, denominate *Territori e Connessioni* (come migliorare il benessere urbano e la qualità di vita), *Persone e Capacità* (come valorizzare il capitale umano), *Governance, Partecipazione e Cultura Civica* (integrazione degli attori e inclusione dei cittadini), *Sistemi, Patrimoni e Reti* (integrazione dei sistemi di mobilità e delle forme di fruizione del patrimonio culturale e ambientale), *Risorse e Metabolismi Urbani* (ottimizzazione delle risorse nella logica della resilienza).

Per ciascuna area prioritaria è stato individuato un insieme di azioni da porre in essere, azioni che nel loro complesso fanno capire come l’intenzione sia quella di perseguire la resilienza attraverso una manovra decisamente trasversale che investirà l’intera attività amministrativa; purtroppo il percorso *Roma resilient city* è stato interrotto subito dopo l’uscita del *rapporto preliminare*, e pertanto non è possibile dare conto dei suoi ulteriori sviluppi.

¹²⁷ EEA 2016b.

Bologna

Di converso, nel caso di Bologna si è riusciti a completare il progetto Life+ BlueAp, e dunque la città si è dotata – prima in Italia – di un compiuto *piano di adattamento*, che rappresenta una utilissima esperienza pilota per altre amministrazioni, fornendo importanti indicazioni di metodo che si tenterà brevemente di riassumere.

Anzitutto va sottolineata l’esplicita volontà di collocare l’esperienza BlueAp nel contesto internazionale, e di conseguenza l’intero progetto è stato sviluppato avvalendosi di un nutrito comitato scientifico cui hanno partecipato anche esperti danesi, australiani, olandesi, inglesi, statunitensi¹²⁸.

In seconda battuta va rilevato come si sia scelto di associare, nel processo di formazione del piano di adattamento, sia indicazioni derivanti dalla ricerca scientifica che dall’audit sociale. Oltre a coinvolgere saperi e informazioni espressi dalle diverse articolazioni amministrative e da associazioni e cittadini (come ha fatto anche Roma), Bologna ha infatti redatto un *profilo climatico* della città (elaborato dall’ARPA Emilia Romagna) inerente le mutazioni attese con orizzonte 2050 – in materia di temperature, ondate di calore, precipitazioni. Non si è trattato di un’operazione semplice (sono poche in Italia le strutture di ricerca che hanno adeguate competenze in materia, e disegnare scenari previsivi attendibili comporta un consistente impiego di risorse umane ed economiche) ma i suoi esiti sono stati decisivi per incrementare la consapevolezza sia dei decisori che dei cittadini; il *profilo climatico* ha infatti contribuito a far percepire l’urgenza del *dover fare qualcosa subito*, ovvero a far comprendere con chiarezza che per evitare mutamenti di lungo periodo occorra sì impostare strategie di lungo periodo, ma strategie che prevedano anche azioni da porre in essere in tempi brevi, perché i segnali del mutamento sono già in atto. In sostanza, il profilo climatico ha avvicinato i *tempi del mutamento* ai *tempi della amministrazione*, operando un passaggio essenziale per una efficace strategia di adattamento.

Coerentemente con questa impostazione, BlueAp ha corredato la *Strategia di Adattamento* (di lungo periodo) con *azioni-pilota* suscettibili di avvio immediato; selezionare *azioni-pilota* è infatti una pratica essenziale per assicurare lo *start-up* di una strategia, poiché consente in tempi brevi di sperimentarne la fattibilità e – attraverso il monitoraggio – gli effetti.

Le *azioni-pilota* hanno riguardato la *siccità e carenza idrica* (ridurre i prelievi di risorse idriche naturali, eliminare le acque parassite e la commistione tra acque bianche e nere, regolazione delle portate del Fiume Reno, Tutelare la produzione agricola locale), le *ondate di calore in area urbana* (tutelare e valorizzare le aree estensive alberate, incremento delle superfici verdi e delle alberature all’interno del territorio strutturato, migliorare l’isolamento e il *greening* degli edifici pubblici e privati, diminuire la vulnerabilità della popolazione esposta a rischi sanitari collegati con l’aumento delle temperature), *eventi estremi di pioggia e rischio idrogeologico* (migliorare la risposta idrologica della città, rendere il territorio più “resistente” alle precipitazioni intense, ridurre il carico inquinante sulle acque veicolato dalle piogge, aumentare la resilienza della popolazione e dei beni a rischio).

Un altro importante insegnamento di BlueAp discende dall’attenzione accordata ai temi della *governance*. Nella elaborazione del *piano di adattamento*, infatti, ci si è resi conto che l’amministrazione comunale avrebbe potuto attuare solo una parte delle azioni, e che per attuarne altre sarebbe stato necessario un coordinamento di area vasta. Questi aspetti sono stati chiaramente esplicitati nella componente strategica (Figura 1-75) e ciò ha contribuito a sensibilizzare altri soggetti – Regione, Area metropolitana, gestori di servizi, compagnie private – contribuendo ad estendere ad un ampio network istituzionale la sensibilità (e quindi a porre le basi per futuri impegni) in tema di cambiamento climatico.

¹²⁸ La composizione dello scientific board, coordinato da S. Castellari, è consultabile su <http://www.blueap.eu/site/membri-dello-scientific-board/>

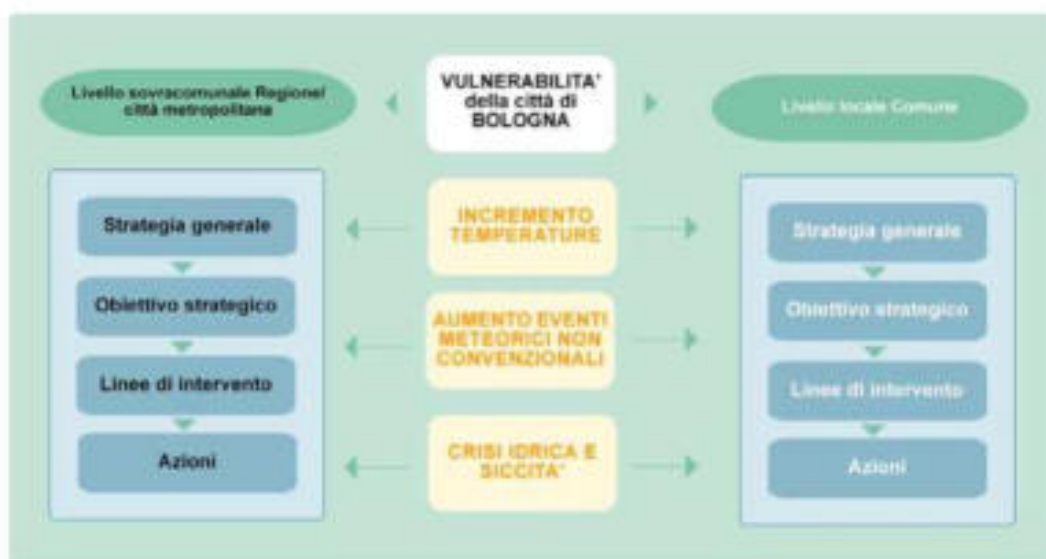


Figura 1-75: I diversi livelli di intervento per il Piano di adattamento del Comune di Bologna.

Un ulteriore messaggio rinvenibile nella esperienza BlueAp riguarda i percorsi di implementazione delle azioni di adattamento.

Nella visione bolognese, infatti, il complesso dei documenti costituenti il *Piano di Adattamento* non rappresenta un autonomo strumento *aggiuntivo* di governo territoriale bensì un *frame* che assicura organicità ad una innovativa dimensione del governo – quella introdotta dalle nuove sfide dell’adattamento climatico – le cui indicazioni operative sono da attuarsi prevalentemente – se non esclusivamente – attraverso la loro incorporazione in strumenti pregressi, la riprogrammazione delle risorse, la strutturazione di attività amministrative integrative e, non ultimo, attraverso la promozione della *governance multilivello* di cui si è detto in precedenza.

Questa impostazione culturale è testimoniata in particolare dalla scelta di attuare alcune azioni attraverso gli strumenti urbanistici esistenti, integrandone la disciplina con nuove regole e affidando alla gestione urbana la concretizzazione delle *attenzioni* climatiche in una logica di continuità con la pregressa attività amministrativa.

INFRASTRUTTURA CRITICA – TRASPORTI

SINTESI

La mobilità costituisce un sistema cardine all'interno della società, del territorio italiano e della sua economia, dal quale dipende il livello di produttività industriale, lo scambio delle merci, la qualità di vita degli abitanti, il tessuto connettivo in grado di creare valore aggiunto. Ma è anche fonte di disagio per uso di suolo, interferenze paesaggistiche, inquinamento e incidenti. Il contributo emissivo dei trasporti risulta secondo per dimensione alla sola industria energetica. Inoltre il suo peso percentuale è in aumento (ancorché in diminuzione in termini assoluti) all'interno del totale delle emissioni. Il sistema è allo stesso tempo sempre più sottoposto alle variazioni climatiche e inizia a mostrare situazioni di criticità – per ora limitate nella durata e nell'estensione. Il settore dei trasporti si trova quindi all'interno di una spirale di difficile soluzione perché contribuisce – con una quota significativa – all'innescare dei fenomeni che lo danneggiano. Non da ultimo il sistema della mobilità ha una sua importanza intrinseca rispetto a situazioni di emergenza, in quanto può e deve garantire – nelle modalità necessarie – l'accessibilità degli interventi di supporto ed eventualmente l'evacuazione della popolazione colpita. La stretta correlazione dei trasporti con la maggior parte degli altri settori è inevitabile; tra tutti il dissesto idrogeologico, l'aria, il sistema idrico, l'insediamenti urbani, l'industria, il turismo, l'energia.

Costruire una analisi unitaria della vulnerabilità del sistema della mobilità è necessario ma non facile. L'infrastruttura fisica è formata da archi e nodi, si esprime sul territorio diffusamente e con densità diverse, spesso correlate con utilizzi diversi (nel territorio densamente urbanizzato con spostamenti più brevi e frequenti, nelle aree a bassa densità sotto forma di lunghe percorrenze). La tipologia delle infrastrutture varia in base ai modi di trasporto, all'orografia e alle esigenze di connessione. L'usura del sistema – relazionata con il grado di utilizzo e di manutenzione – collabora (con effetti moltiplicativi) all'impatto innescato dai cambiamenti climatici (effetto combinato *"tear and wear"* in ambito stradale). Gli impatti possono riguardare non tanto la struttura ma, ad esempio, la gestione del servizio di trasporto pubblico con mezzi, orari, servizi, condizioni di sicurezza, qualità del servizio ed efficienza da garantire. I diversi modi di trasporto in particolare nelle aree urbane collaborano a fornire all'utente un servizio complessivo; ogni segmento (e quindi modo relativo) dello spostamento deve garantire la resilienza. Gli attori pubblici e privati coinvolti nel sistema sono molteplici e difficilmente coordinabili all'interno di un tavolo di concertazione (ad esempio gestori ferroviari e autostradali in concorrenza sulla stessa tratta).

La disponibilità di analisi sempre più dettagliate (sul territorio e nei caratteri climatici) e robuste, fornisce spunti per iniziare una riflessione sul metodo di analisi della vulnerabilità del settore. L'organizzazione nelle sei zone climatiche permette di organizzare una prima griglia di impatti per area geografica. Ogni elemento del sistema di trasporto dovrebbe essere associato ad una specifica caratterizzazione climatica; permettendo una valutazione degli impatti specifica per quell'elemento ed una conseguente migliore definizione delle azioni strategiche e delle priorità.

Il sistema di trasporto beneficia sicuramente di una prevista riduzione dei giorni con gelo e delle precipitazioni nevose, diffusa su tutto il territorio, ma significativa nei valichi alpini, nell'Appennino ligure e tosco-emiliano (macroregioni 4, 5 e parzialmente 1): si riduce il rischio di danneggiamenti delle infrastrutture, il costo degli interventi per rimozione della neve, e si aumenta la sicurezza nella movimentazione dei mezzi tutti. Il rischio è rappresentato dalla fragilità del territorio, che – nel passare da precipitazione nevosa ad una piovosa – vede aumentata la possibilità di dissesti idrogeologici.

L'aumento delle temperature estive è previsto in particolare nell'area della Pianura Padana e nell'agglomerato esteso della capitale (macroregione 2) oltre che nell'estremo sud (macroregione 6). La presenza di agglomerati urbani importanti rischia di enfatizzare le ondate di calore innescando effetti di isola di calore urbano. Le ondate di calore severe contraggono la mobilità non motorizzata (pedoni e ciclisti), mettono alla prova i mezzi con motori termici oltre ad esaltare i consumi energetici dovuti alle

molteplici azioni di raffrescamento (auto, mezzi pubblici, stazioni, aeroporti). Le sedi stradali, o le parti asfaltate (piazze di manovra nei porti e negli interporti, piste aeroportuali), vengono sottoposte a cicli di surriscaldamento tali da degradarne le caratteristiche tecniche e funzionali. Le strade ferrate (tranvie e ferrovie) rischiano dilatazioni, seppur marginali, sufficienti a modificare l'assetto dei binari con conseguente rischio di deragliamenti o più facilmente di rallentamenti. L'aumento delle temperature estive associato alla scarsità idrica potrebbe influire sul sistema navigabile padano.

La previsione di aumento delle precipitazioni medie ed estreme caratterizza sicuramente la Toscana e il territorio della macroregione 1 (indicativamente pianura e Prealpi piemontesi e Prealpi lombarde). L'evidenza delle stime per l'area toscana e la densità di infrastrutture di trasporto nell'area settentrionale della macroregione, impongono una riflessione urgente, sia di natura gestionale che strutturale, e soprattutto per tutti i diversi modi di trasporto.

L'innalzamento del mare stimato, sebbene limitato, non può non essere considerato vista l'estensione della costa nel territorio nazionale. Oltre ai porti, nautiche e le tratte di trasporto (stradale e ferroviario ma anche ciclopeditone) saranno esposti al rischio di allagamenti ed erosione.

Per quanto concerne piani/programmi di adattamento il settore trasporti è ancora molto acerbo (Eisenack et al. 2011) anche a livello europeo. La produzione scientifica di linee guida e studi è invece in grande fermento (EEA 2014b; UN Expert group 2014), ma ancora disomogenea. La Commissione Europea ha introdotto il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici nel settore dei trasporti per la rete TEN-T, anche attraverso l'aggiornamento delle linee guida per l'elaborazione di VAS e VIA. In Italia il settore dei trasporti solo recentemente ha aggiornato i propri strumenti per quanto riguarda la mitigazione dei cambiamenti climatici. Grazie alla elaborazione e approvazione della Strategia Nazionale per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici (2014) si è avviata una fase istituzionale, in evoluzione ora anche a livello regionale. Le politiche e le azioni di adattamento messe in campo sono poche e occasionali: il programma #italiasicura (Presidenza del Consiglio dei Ministri 2016) integra le criticità legate alle alluvioni e al dissesto idrogeologico (e quindi indirettamente all'adattamento).

Dall'analisi documentale dei piani/programmi di settore emerge urgente la necessità di un *mainstreaming* strutturato sui temi dell'adattamento nei trasporti, a più livelli. La resilienza richiede infatti conoscenze di base (monitoraggi e basi dati), *master planning* e progettazione integrata e sviluppo di tecnologie innovative, al fine di evitare il rischio di investire risorse in progetti non "*climate-proof*".

INTRODUZIONE

Il settore della mobilità è al centro di una forte attenzione per il suo contributo emissivo rispetto sia ai gas ad effetto serra (GHG) sia agli inquinanti relativi alla qualità dell'aria. La ricerca scientifica, le metodiche e gli esempi di pianificazione affrontano il sistema di mobilità come un importante comparto emissivo e promuovono a vario titolo strategie e misure di mobilità sostenibile ai fini della mitigazione delle sue emissioni.

L'idea che il sistema della mobilità stesso possa a sua volta risultare "impattato" - ovvero compromesso - dagli effetti dei cambiamenti climatici, ai quali pur contribuisce in misura rilevante, viene raramente considerata. Nonostante spesso ci si riferisca al sistema della mobilità come ad un sistema vitale per l'economia e la socialità e particolarmente vulnerabile agli impatti climatici, la ricerca che ne analizza gli aspetti industriali, di servizio e insediativi è relativamente povera e ancora ad uno stadio preliminare: gli argomenti trattati hanno uno sguardo generale o esaminano spesso dettagli tecnici (Eisenack et al. 2011).

Il sistema della mobilità ricopre un ruolo inequivocabile all'interno della nostra organizzazione sociale: che si tratti di persone o di merci, di spostamenti pendolari o turistici, di area urbana o di lunga percorrenza, con ogni modo e con ogni combinazione di modi, la nostra quotidianità e il nostro stile di vita è comunque fondato sulla mobilità fisica.

La natura complessa del sistema richiede la collaborazione di attori diversi con strategie diverse, come del resto è evidenziato dalla differenziazione di competenze negli esperti di settore. Analizzando molto sinteticamente la complessità del sistema si evidenziano i seguenti elementi:

- l'infrastruttura fisica è formata da archi e nodi, ovvero si esprime diffusamente sul territorio con densità e concentrazione diversa;
- effetti combinati tipo “*wear & tear*” (le condizioni del sistema - ad esempio le tratte stradali - dipendono dall'effetto combinato di impatto climatico ed uso del sistema stesso: una tratta stradale particolarmente frequentata vedrà inaspriti effetti di degradazione indotti dal clima);
- la densità del sistema è spesso relazionata dal carattere funzionale dell'area in esame: ad esempio differisce in ambito urbano ed extraurbano con modalità operative e di funzionamento distinte;
- le competenze del sistema sono distribuite - sia per i diversi attori pubblici e privati - che per territori amministrativi.

La pervasività e il senso di connessione del sistema della mobilità rende complessa una sua organizzazione per parti autonome: l'efficientamento di un sottosistema non è necessariamente proporzionale all'efficientamento del sistema nel suo complesso. Come successivamente descritto nella sezione relativa alle connessioni con altri settori, gli aspetti di mobilità urbana sono spesso presi in esame dal settore “insediamenti urbani”, per i quali la mobilità - urbana appunto - costituisce un servizio funzionale che deve essere garantito alla città.

Indicativamente i diversi sottosistemi di mobilità (strade, ferrovie, aeroporti e porti) sono accomunati dal fatto di costituire un valore di *asset* (fisico e immateriale) oltre che da “*operational lifetimes*” importanti. Considerando infatti che la durata di vita utile delle infrastrutture di trasporto è nell'ordine di diverse decine di anni, il ventaglio di possibilità oscillerà tra infrastrutture datate e realizzate con criteri progettuali e costruttivi del passato e nuove infrastrutture che dovranno garantire il loro funzionamento virtualmente per 50-100 anni e quindi, sicuramente, dovranno confrontarsi con i cambiamenti climatici potenzialmente attesi tenendo anche conto delle relative incertezze.

Entrambi i fatti suggeriscono un approccio attivo di adattamento, finalizzato al mantenimento del bene e della sua funzione.

Tabella 1-54: Vita utile degli elementi stradali¹²⁹.

Struttura	Vita utile (anni)
ponti/viadotti	100
strade	30-40
pavimentazione stradale	10-25
sistemi di drenaggio superficiale	20

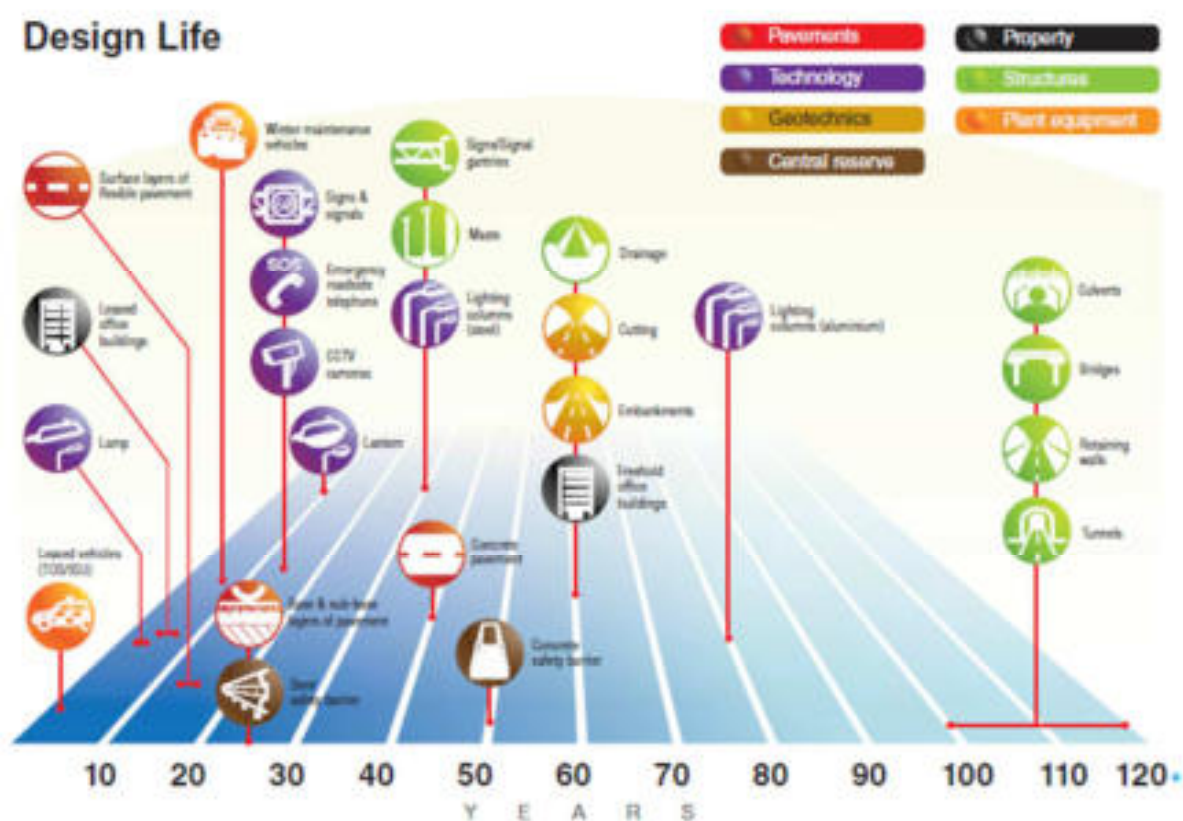


Figura 1-76: Vita utile degli asset¹³⁰.

Box 1-1 Tipologie di impatto sul sistema della mobilità

Per definire vulnerabilità e impatti sul sistema è utile ricordare la complessità e la diversità con cui si possono presentare.

Mentre con impatto **diretto** si indica un effetto del cambiamento climatico che incide direttamente sul funzionamento del sistema (ad esempio un'ondata di calore che deforma i binari della ferrovia), esistono invece, in particolare sul territorio nazionale, casi di impatto **indiretto**. Ad esempio l'aumento della probabilità di dissesti idrogeologici dovuti alle mutazioni della piovosità, costituiscono impatti a sé stanti, che possono coinvolgere del territorio edificato così come il sistema della mobilità.

L'analisi del fenomeno di cambiamento climatico ha messo in luce come la modifica dei valori di riferimento si manifesta sia come lenta **modifica dei valori medi** sia come alterazione delle probabilità di ricorrenza di **eventi estremi**. Il sistema della mobilità può essere messo sotto stress in modo lento e continuativo (temperature estive

¹²⁹ Elaborazione su fonte JRC 2012.

¹³⁰ UN Expert group 2014.

sempre maggiori) o occasionalmente con eventi severi e/o catastrofici (nubifragi, piene). Il trattamento di questi *stressor* non è necessariamente identico; una valutazione programmatica delle priorità e delle vulnerabilità deve valutare la tipologia di adattamento prescelta.

La valutazione dell'impatto deve considerare anche la localizzazione dello stesso: diffusa sul sistema o localizzata in un sotto ambito ristretto. La mappatura degli impatti e delle vulnerabilità sulle quali agire deve considerare opzioni che possano essere ripetibili (se l'impatto è diffuso) o specifiche. Il grado di priorità dell'intervento e la stima del budget necessario possono beneficiare da una pianificazione programmata di interventi in serie.

Gli impatti del cambiamento climatico possono manifestarsi con caratteri temporanei, ad esempio un allagamento da evento piovoso grave, con effetti limitati nel tempo (ovvero blocco temporaneo della circolazione) o persistenti (danneggiamento della sede stradale). Entrambe le manifestazioni possono essere gravose in base alla vulnerabilità specifica, ma possono essere trattate con metodiche gestionali diverse in base all'obiettivo funzionale che si vuole raggiungere. L'evento temporaneo può essere affrontato con un sistema adeguato di prevenzione, di allarme e di gestione della criticità. Se la probabilità di accadimento dell'impatto supera il livello di sopportabilità del sistema-bersaglio, è possibile mettere in campo soluzioni adattative fisiche mirate a ridurre la probabilità di accadimento o gli effetti dell'evento. Un impatto che gradualmente e in modo persistente va ad agire sul sistema richiede una trattazione programmata per tempo e nel tempo, ad esempio con un piano di manutenzione straordinaria progressivo.

Caratteristiche dei sottosistemi di trasporto

La struttura del sistema stradale in Italia è organizzata per livello funzionale, oltre che per le caratteristiche tecniche della carreggiata e del tipo di gestione. La rete autostradale che accorpa 27 gestori concessionari somma poco meno di 6.000 km di rete in esercizio, di cui il 68% a due corsie per senso di marcia, per un totale di quasi 80 miliardi di chilometri percorsi all'anno (AISCAT 2015). L'ente ANAS, gestore della rete stradale e autostradale di interesse nazionale (ad esclusione delle tratte in concessione, di cui sopra) aggiunge ulteriori 1.300 km di rete principale, tra raccordi e tratte in gestione diretta. Ulteriori 20.000 km sono costituiti da strade statali vere e proprie¹³¹. A fronte di quasi 30.000 km di rete stradale principale gestita da enti a carattere nazionale, regioni e province ne hanno in carico almeno 5 volte tanto, per un totale complessivo nell'ordine dei 260.000 km (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015).

La rete ferroviaria al 2014 è composta da 16.723 km di binari per più del 70% elettrificati. La rete principale misura circa 6.500 km (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015). Le tramvie presentano nello stesso periodo una estensione pari a 510 km, pur con trend in crescita costante; 197 invece sono i km di rete metropolitana. Risultano poi in servizio, nell'intero territorio nazionale, 24 impianti a fune gestiti da 19 società, per una lunghezza totale d'esercizio pari a 22,4 chilometri.

La rete fluviale italiana si appoggia sul fiume Po con i suoi canali e affluenti. Nel 1996 l'idrovia padana è stata inserita all'interno nella rete Transeuropea delle vie navigabili. Il sistema idroviario ha uno sviluppo complessivo di 950 km (anno 2014) e attraversa 4 regioni. La navigazione lacustre e del bacino del lagunare veneziano (ACTV) somma ulteriori 612 km di linee (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015).

Porti e aeroporti costituiscono i nodi, iperqualificati ad elevato livello tecnologico, di interconnessione con il territorio per il sistema di navigazione (anche aerea): per loro natura concentrano in spazi relativamente ridotti una dimensione importante di mobilità, permettendo un cambio di modo da e per il territorio circostante. Il rapporto tra porti/aeroporti e territorio nel contesto morfologico estremamente complesso della penisola italiana non è certo trascurabile: la forma del territorio, le catene montuose e collinari che la percorrono costituiscono ancor oggi un ostacolo alla creazione di connessioni agevoli tra i nodi e il territorio.

Lungo le coste della penisola (oltre a 7.500 km) sono disseminati 282 porti e 1988 accosti (dato aggiornato al 31/12/2015 - (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2015) tra porti commerciali e turistici, recentemente riorganizzati secondo il Decreto Legislativo 4 agosto 2016, n. 169 in 15 Autorità di sistema

¹³¹ <http://www.stradeanas.it/it/le-strade/la-rete-anas>

portuale, centri decisionali strategici con sedi nelle realtà maggiori in particolare tra i porti "core". Il decreto prevede che alle nuove Autorità di sistema portuale faranno riferimento 54 porti di rilevanza nazionale. Le Regioni possono chiedere l'inserimento nelle Autorità di Sistema di ulteriori porti di rilevanza regionale.

Alle sedi di Autorità di Sistema Portuale viene affidato un ruolo strategico di indirizzo, programmazione e coordinamento del sistema dei porti della propria area. Dalla riforma risultano semplificate anche le procedure per l'approvazione dei Piani regolatori portuali e prevista la scelta della sostenibilità energetica e ambientale dei porti con particolare riferimento alla mitigazione (Art.5).

L'infrastruttura più complessa nell'ambito dei porti commerciali nel settore marittimo prevede moli esterni, interni, banchine, fari, gru, magazzini e piazzali di stoccaggio, terminal oltre a strade e ferrovie per le connessioni con il territorio.

La rete aeroportuale italiana comprende 38 scali la cui organizzazione gerarchica è in fase di aggiornamento nel redigendo Piano degli Aeroporti. All'interno della relazione di VAS dello stesso piano si affrontano alcuni aspetti ambientali, includendo però solo gli aspetti relativi alla mitigazione delle emissioni in atmosfera e alla qualità dell'aria. Gli attori coinvolti all'interno dei processi decisionali e operativi degli aeroporti sono molteplici e strettamente regolati da norme internazionali. Aviazione Civile (ENAC), gestori aeroportuali, operatori aeroportuali sono potenzialmente responsabili di politiche di adattamento che siano condivise e coordinate dalle autorità nel rispetto delle normative internazionali.

Sebbene in un contesto nazionale i sistemi descritti sopra costituiscano la rete fondamentale della mobilità, analizzando contesti di dettaglio come città o aree suburbane non si può prescindere dal considerare anche modi di trasporto "non motorizzati" come la ciclabilità e la pedonalità. Pur con limiti nella dimensione degli spostamenti, la diffusione della ciclabilità e della pedonalità non può essere trascurata in quanto: (i) su piccole distanze rappresenta un sistema efficiente, (ii) in alcuni casi rappresenta l'unica alternativa al trasporto veicolare, e (iii) non è sempre e solo un'alternativa ma anche una co-modalità di trasporto, relativa a brevi, spostamenti pedonali tra un modo e l'altro o per lo svolgimento dell' "ultimo miglio".

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Ai fini dell'analisi del sistema dei trasporti, l'organizzazione funzionale elaborata di Mills e Andrey è probabilmente l'unica riconosciuta e ben sistematizzata. Il diagramma concettualizza come gli elementi climatici contribuiscono ai rischi che a loro volta influenzano i trasporti nelle infrastrutture, nelle operazioni e nella domanda (Mills and Andrey 2002).

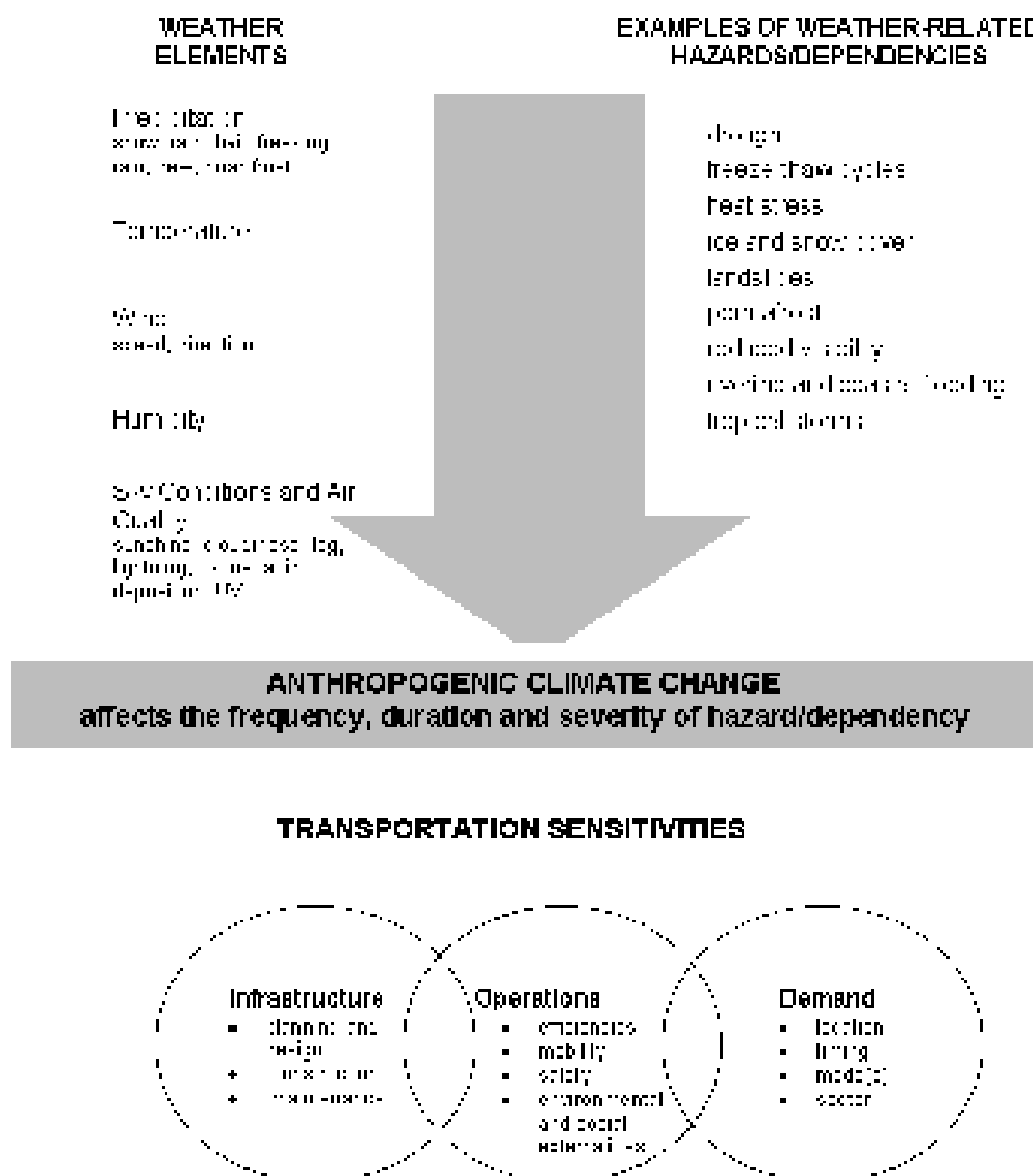


Figura 1-77: Aspetti dei trasporti potenzialmente sensibili ai cambiamenti climatici.

Il territorio europeo, e analogamente il contesto nazionale, è caratterizzato da una elevata densità di infrastrutture di mobilità, compresi porti ed aeroporti, che alimenta un sistema economico globale, con valenza oltre i propri confini e di grande scala. Per questo motivo i potenziali impatti dei cambiamenti climatici sul settore della mobilità rischiano di essere rilevanti e vanno indagati con attenzione e dettaglio. Uno studio del 2012 del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti d'America (USDOT 2012) aveva evidenziato che:

- gli *asset* del sistema di trasporto sono più sensibili ad eventi estremi che a variazioni incrementali dei singoli fattori climatici: ovvero un sistema di trasporto ha una intrinseca capacità di adattamento sulla variazione dei trend medi, ma subisce l'impatto di eventi estremi;
- i servizi di mobilità sono più sensibili degli *asset* fisici agli *stressor* climatici; infatti l'impatto sul servizio si rileva anche solo con ritardi o disagi temporanei che non implicano danni fisici all'infrastruttura;
- gli *asset* infrastrutturali sono particolarmente sensibili ad eventi rari (non solo estremi) che sollecitano le strutture in modi imprevisti e non convenzionali.

Gli impatti legati ad eventi estremi e alla variazione dei trend medi interessano tutti i modi e tipi di trasporto, le infrastrutture, i veicoli, le operazioni/servizi nonché gli utilizzatori (merci e passeggeri). Gli effetti possono variare dai danni permanenti alla performance (in termini di sicurezza, efficienza, costi, etc.).

Alcuni aspetti dei cambiamenti climatici previsti possono invece contribuire positivamente al sistema dei trasporti: un esempio è la riduzione di costi dovuta alle temperature invernali più miti (*de-icing*, rimozione neve, riduzione rischio incidenti).

Impatti potenziali relativi all'aumento delle temperature estive

L'aumento delle temperature estive interessa le infrastrutture di trasporto per le quali la resistenza dei materiali e della struttura è vulnerabile alla temperatura. In particolare il fenomeno si manifesta, e nel caso accentua, laddove sono presenti superfici estese ad esempio:

- superfici stradali asfaltate importanti (autostrade e strade a più corsie);
- piste aeroportuali;
- piazzali di sosta o di manovra (nelle città, nei nodi di interscambio, nei porti e negli aeroporti).

Gli effetti dell'aumento della temperatura possono indurre una modificazione delle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni e determinarne quindi:

- un degrado accelerato nel tempo (che richiede interventi manutentivi più importanti o ravvicinati);
- una riduzione della sicurezza nell'uso della struttura ad esempio per variazione del rapporto di aderenza tra la superficie pavimentata e la ruota.

La presenza di superfici asfaltate (scure) inoltre accentua il surriscaldamento della superficie stessa e dell'ambiente circostante come evidenziato dagli studi legati all'isola di calore urbana.

Gli impatti legati all'aumento delle temperature possono interessare anche le strade ferrate laddove l'espansione termica delle leghe dei binari arrivi a deformarli. Una anche minima variazione dell'asse dei binari o della loro sagoma risulta particolarmente pericolosa per la sicurezza del servizio ferroviario, a maggior ragione all'interno della rete europea (e nazionale) di treni ad alta velocità. Una deformazione dei binari può portare in casi estremi al deragliamento, e più frequentemente ad una riduzione della velocità di percorrenza a garanzia della sicurezza, impattando quindi il livello di servizio ferroviario.

L'innalzamento della temperatura impatta anche localmente, laddove esistono delle fragilità particolari nella struttura ad esempio nei giunti dei ponti e delle grandi strutture.

A livello operativo l'aumento delle temperature può mettere a prova la performance di locomozione dei veicoli a motore termico. Questo aspetto viene inoltre aggravato dalla necessità, per il mantenimento di un livello di qualità del servizio accettabile, dalla necessità di raffrescare gli ambienti per i passeggeri. Autobus e carrozze ferroviarie devono prevedere sistemi di raffrescamento efficiente che inducono un sovraccarico di lavoro per la meccanica dei veicoli (oltre che un aumento dei consumi energetici). Il raffrescamento interessa anche gli ambienti di attesa degli utenti, siano essi stazioni ferroviarie che metropolitane.

L'aumento delle temperature comporta un disagio per gli utenti tale da influire sulla propensione alla ciclabilità e pedonalità, riducendo tale quota modale.

Sebbene in Italia il peso del sistema di trasporto fluviale sia marginale, l'aumento delle temperature estive e fenomeni di siccità prolungate può riflettersi su una riduzione del livello dei bacini tale da mettere in difficoltà (e sospendere) tratte di trasporto fluviale. In particolare, il cambiamento climatico atteso nella macroregione padana si caratterizzerà per una diverso *pattern* di precipitazioni tali da incrementare sensibilmente variazioni di portata del fiume Po e quindi la profondità di acqua utile alla navigazione. Si renderanno pertanto necessarie azioni di dragaggio dell'alveo fluviale più frequenti e più profonde anche in funzione del maggiore pescaggio delle attuali navi cargo impiegate nella navigazione mercantile in modalità mare-fiume.

Impatti potenziali relativi all'aumento delle temperature invernali

L'aumento delle temperature invernali costituisce un potenziale impatto positivo sul sistema dei trasporti:

- riduce il rischio di gelate e di conseguente danno della superficie asfaltata;
- riduce quindi la necessità di manutenzione della struttura.

Ulteriori benefici da valutare rispetto alla riduzione degli eventi nevosi e dei giorni di freddo (gelo) sono:

- riduzione degli interventi di rimozione della neve;
- riduzione degli interventi di applicazione sistemi antigelo;
- aumento della sicurezza degli utenti alla guida;
- aumento della propensione all'uso di modi non motorizzati (pedonalità e ciclabilità).

Tecnicamente la modifica delle temperature invernali deve essere considerata all'interno della progettazione dei lavori e delle realizzazioni di opere – in particolare per la posa degli asfalti bituminosi), nel cadenzare adeguatamente i periodi utili di costruzione.

Impatti potenziali relativi all'aumento delle precipitazioni e delle alluvioni

Gli impatti diretti dell'aumento delle precipitazioni (anche sotto forma di eventi estremi) sulle infrastrutture di trasporto sono:

- l'erosione alla base dei ponti o delle strutture di trasporto;
- il cedimento di argini e terrapieni per erosione;
- il danneggiamento delle superfici asfaltate per allagamento o erosione dovuto allo scorrimento delle acque (in particolare l'erosione accentua danni o imperfezioni preesistenti);
- il drenaggio e la gestione delle acque pluviali raccolte su ampie superfici impermeabilizzate quali strade a più corsie, parcheggi, piazzali aeroportuali o portuali.

La gestione delle acque pluviali sulle superfici impermeabilizzate viene considerata un problema strutturale in quanto la relativa soluzione va affrontata adeguando l'infrastruttura o il relativo progetto, prevedendo sistemi di raccolta più capienti ed efficaci, valutando geometrie materiali e tecnologie utili a contenere gli allagamenti delle sedi pavimentate.

Il rischio maggiore, collegato agli eventi piovosi estremi e in generale all'aumento delle precipitazioni, è di natura indiretta: alterazioni del territorio quali frane e cedimenti che interessino le infrastrutture di trasporto. Tale aspetto è particolarmente rilevante in alcune zone del territorio nazionale, ma richiede una trattazione concertata con il settore relativo alla gestione del territorio e la difesa del suolo.

A livello di operatività gli impatti principali che si manifestano sono:

- l'aumentato rischio nella circolazione veicolare per pavimentazioni bagnate (riduzione dell'aderenza e della visibilità);
- la sospensione dell'operatività per allagamento delle infrastrutture quali strade, autostrade aeroporti, ed di sistemi ipogei;
- difficoltà di circolazione pedonale e ciclistica nelle aree urbanizzate allagate;
- la rimessa in funzione degli stessi sistemi richiede inoltre interventi straordinari di manutenzione e pulizia dei residui lasciati dall'allagamento.

Impatti potenziali relativi all'aumento valori estremi di ventosità e loro frequenza

I fenomeni di aumento e di eventi estremi di ventosità possono creare danni alle strutture e sovrastrutture ferroviarie, nei porti (veicoli/macchine per la movimentazione, gru, gru a ponte) e aeroporti (impianti quali antenne, sistemi di rilevamento). In generale la segnaletica verticale può subire danni e, se divelta, costituire essa stessa un pericolo.

Per quanto riguarda l'operatività l'impatto si può esprimere:

- nelle fasi di decollo e atterraggio degli aeromobili;
- nella movimentazione delle merci (container) nei porti e negli interporti;
- nell'aumentato rischio per la guida (sulle strade) in particolare per i mezzi pesanti;
- disagio e aumentato rischio per ciclabilità e pedonalità.

Impatti potenziali relativi all'innalzamento livello medio dei mari ed estremo per tempeste

La variazione del livello medio dei mari e l'aumento delle tempeste interessa le infrastrutture di trasporto lungo costa, siano esse di natura marittima (come i porti) che di natura terrestre (strade e ferrovie).

L'innalzamento del livello del mare è a livello globale un rischio molto elevato; sebbene le dinamiche all'interno del Mediterraneo, dove si affacciano gli oltre 7500 km di coste italiane, siano in termini dimensionali meno impattanti (Mare Adriatico +6 cm e Mar Tirreno +8 cm¹³²), restano molto complesse anche in funzione del disegno frastagliato e irregolare delle coste.

Un aumento incrementale del livello del mare può avere ripercussioni sulle strutture che vengono a contatto, in modo imprevisto, con l'acqua marina (salata); quindi ogni elemento strutturale costruito (sia nei porti, che per infrastrutture lineari, strade ferrovie, ponti etc.) deve essere verificato rispetto al mantenimento delle specifiche caratteristiche di resistenza alla corrosione e di solidità. L'analisi deve prendere in esame sia la necessità di manutenzione aggiuntiva, che di adeguamento e infine di riprogettazione.

Oltre all'azione corrosiva specifica sulle strutture, l'innalzamento del livello del mare (oltre che la manifestazione di tempeste) può agire sulla stabilità dei versanti e del territorio e impattare quindi indirettamente, ma sostanzialmente sull'infrastruttura di trasporto.

Anche l'allagamento permanente di superfici portuali (anche parziale), tratte stradali o ferroviarie, anche se più direttamente impattante sull'operatività che sulla struttura, richiede una soluzione strutturale, sia essa di contenimento che di modifica dell'esistente.

I porti risultano particolarmente e intrinsecamente fragili a questi fenomeni:

- la posizione sulla costa;
- l'altezza delle banchine e dei piazzali;
- le ampie superfici pavimentate e piani per le operazioni di smistamento delle merci e dei passeggeri;
- la presenza di strutture mobili e fisse per la movimentazione delle merci.

Pur rimandando la trattazione all'interno del capitolo dedicato al settore turistico, si ricordano i potenziali impatti sulle marine e i porticcioli turistici distribuiti lungo la costa.

Impatti potenziali relativi al degradamento del permafrost

La variazione climatica relativa al degradamento del permafrost influisce sul sistema di trasporto all'interno di un quadro di degrado della stabilità del suolo. Gli impatti sono pertanto analoghi a quanto già descritto nei capitoli precedenti. Il danneggiamento o l'alterazione delle caratteristiche della struttura stradale per cedimento del suolo – e il relativo conseguente impatto sulla funzionalità del sistema - vanno trattati coerentemente all'impatto originale ovvero all'interno degli aspetti di difesa del suolo al fine di prevedere, evitare e contenere i cedimenti infrastrutturali.

¹³² Le differenze maggiori si hanno nelle stagioni primaverile ed autunnale, in cui i valori del livello del mare nel Tirreno e nell'Adriatico superano rispettivamente 10 e 8 cm

Descrizione dei principali *stressor* climatici per macroregioni (zone) climatiche omogenee

Il quadro aggiornato di scenari climatici comprensivo di *cluster analysis* al paragrafo 1.1.1 offre l'opportunità di affrontare l'analisi degli impatti in modo strutturato e spazialmente specifico, condizione particolarmente importante proprio per le caratteristiche intrinseche del sistema dei trasporti. L'analisi dei vari indicatori climatici nel periodo di riferimento 1981-2010 ha portato alla definizione di 6 regioni omogenee. Per le stesse regioni sono di seguito riportate sinteticamente le previsioni principali stimate per il lungo periodo, al fine di identificare per ciascuna macroregione climatica i principali *stressor* che interessano il settore trasporti.

La **macroregione 1** accorpa Prealpi e Appennino Settentrionale, stima una temperatura media di 13°, 51 giornate di gelo (FD) e 33 giorni aridi (CDD), valori cumulati di pioggia equivalenti nel periodo estivo e invernale (168 contro 187) e fenomeni di precipitazione estrema rilevanti, valutate in R20 (giorni con precipitazioni superiori a 20 mm) pari a 10 e R95p (95esimo percentile nella distribuzione di frequenza delle precipitazioni) pari a 28 mm. I dati riportati si riferiscono a valori medi della zona di riferimento (1981-2010). La macroregione 1 presenta una caratterizzazione eterogenea in termini di cluster delle anomalie. Per l'orizzonte 2020 - 2050 l'analisi evidenzia una riduzione rilevante delle precipitazioni estive e dei *frost days*, a fronte di un aumento delle precipitazioni invernali. La Toscana potrebbe risultare particolarmente vulnerabile ai fenomeni di precipitazione anche in forma di eventi estremi (in particolare nello scenario RCP 8.5).

La tendenza indica come *stressor* climatici principali:

- l'aumento delle precipitazioni anche estreme in tutto il territorio della macroregione, con possibili criticità nell'area toscana e veneta;
- la riduzione dei *frosty days* invernali;
- la tendenza all'aumento delle temperature estive.

L'attenzione per questa macroregione si concentra sugli impatti legati all'aumento delle precipitazioni e la relativa gestione delle acque di scorrimento - data la presenza di importanti aree urbane (e conseguentemente di infrastrutture per la mobilità) e la natura economica dei flussi di trasporto che attraversano Prealpi e Appennino Settentrionale - nonché sugli impatti indiretti legati alla stabilità dei versanti.

L'aumento delle temperature estive potrebbe rivelarsi importante nel mantenimento della qualità del servizio del trasporto pubblico (urbano e di lunga percorrenza), mentre è meno probabile il rischio di danni strutturali per temperature elevate e ondate di calore.

La riduzione dei *frosty days* (a beneficio del sistema) va parzialmente a compensare i danni potenziali descritti.

La **macroregione 2** accorpa la Pianura Padana, l'alto versante adriatico e le aree costiere dell'Italia centro-meridionale (comprese le aree di Lazio e Campania a più elevata urbanizzazione) e si caratterizza per la predominanza degli indicatori della temperatura e dei giorni aridi (in aumento). La stagione estiva è più secca di quella invernale. I valori relativi ai *frosty days* (FD), Consecutive *dry days* (CDD) e temperatura media (Tmean) sono secondi solo alla macroregione climaticamente più calda / meridionale (macroregione 6).

Le previsioni legate alle precipitazioni ne confermano la riduzione nella stagione estiva e l'aumento nella stagione invernale su buona parte della Pianura Padana, potenzialmente anche in forma di eventi estremi.

Gli scenari coincidono quindi nell'indicare come principale *stressor* climatico l'aumento delle temperature e le ondate di calore. La presenza di zone densamente urbanizzate e infrastrutturate suggerisce la massima priorità nella valutazione ai fini dell'adattamento.

Inoltre la presenza di una vasta superficie asfaltata e impermeabilizzata come nel caso delle zone densamente urbanizzate, tende ad amplificare la tendenza climatica sotto forma di isole di calore urbano.

Il rischio per gli eventi estremi di precipitazione e aumento delle precipitazioni invernali costituisce un caso interessante per una valutazione di rischio più approfondita, che consideri l'aumento della dimensione degli eventi piovosi estremi, ma all'interno di un quadro complessivo di aumento della temperatura e del periodo secco. In tali condizioni una strategia di adattamento all'impatto sulla precipitazione, non è assoluta (non assimilabile ad un caso "*no-regrets*"). Potrebbe infatti non essere opportuno investire nell'adeguamento dei sistemi di raccolta e gestione delle acque piovane se il danno è limitato nel tempo e alla funzionalità operativa, mentre potrebbe essere utile una forma di adattamento legata all'azione di monitoraggio e di sistemi di allerta e di ri-organizzazione del traffico.¹³³

È utile citare all'interno di questa macroregione la relazione esistente tra concentrazione di inquinanti e condizioni climatiche. La modifica dei parametri meteorologici dell'aria (dovuta ai cambiamenti climatici previsti) impatta anche sulle dinamiche di formazione, trasporto e dispersione degli inquinanti presenti. Le aree densamente urbanizzate all'interno della macroregione 2, in particolare la zona padana e l'area metropolitana romana, possono subire significativi aumenti della concentrazione degli inquinanti.

La **macroregione 3** è costituita prevalentemente l'Appennino centro-meridionale, caratterizzato da dimensioni di precipitazione divergenti fra estate e inverno (76mm vs 182mm) ed una previsione di eventi piovosi estremi relativamente bassa sia per frequenza che per magnitudo. Anche il numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia risulta essere significativo (CDD). Il valore di *frosty days* è intermedio tra quelli delle macroregioni 1 e 2.

Le previsioni per il futuro mostrano l'evidenza della riduzione dei *frosty days*; inoltre gli scenari collimano nell'indicare una marcata riduzione delle precipitazioni estive per l'Appennino centro-meridionale. Le aree interne vedono una riduzione delle precipitazioni sia estive che invernali, mentre per le aree più esterne si assiste ad un aumento delle precipitazioni estive e dei fenomeni di precipitazione estremi.

La variazione climatica prevalente consente di poter beneficiare di una riduzione dei *frosty days*. Meno evidenti sono le ulteriori indicazioni sulla precipitazione e sulla variazione della temperatura per le quali è necessario un approfondimento al grado di dettaglio locale.

La **macroregione 4** corrisponde sostanzialmente alla zona alpina e si caratterizza per gli estremi di giornate di gelo (FD=152), temperatura media (Tmean=5.7) e precipitazioni estive (SP=286).

Gli effetti futuri dell'aumento tendenziale della temperatura si traducono in una riduzione complessiva dei *frost days* e della copertura nevosa. Le precipitazioni estive sono previste in riduzione mentre quelle invernali in aumento. È attesa anche una probabile riduzione degli eventi estremi.

A fronte dei benefici relativi alla riduzione dei fenomeni legati alla stagione fredda (*frosty days* e precipitazioni nevose) esiste la possibilità di un aumentato rischio di dissesto idrogeologico con impatti indiretti anche sul settore stradale. L'analisi delle vulnerabilità richiede una trattazione specifica a dettaglio locale.

La **macroregione 5** individua alcune aree distribuite nel quadrante settentrionale definite quasi come ritagli di altre aree e poco confrontabili con distretti amministrativi. Queste aree (confine nord occidentale, confine orientale e una lingua di territorio tra la costa ligure e l'Appennino) sono caratterizzate dai valori più elevati di precipitazione sia in termini di valori medi invernali (321 mm) che estremi (R20 e R95p). Per gli indicatori legati alla temperatura (Tmean, FD e SU95p) dall'analisi delle mappe per singolo indicatore, emerge il peso (statistico) del territorio alpino di confine.

Negli scenari futuri, all'interno della macroregione 5, che per il periodo di riferimento (1981-2010) è caratterizzata dai valori più rilevanti di precipitazione, si assiste ad una riduzione significativa delle precipitazioni estive e dei *frosty days*. Le precipitazioni invernali risultano a seconda degli scenari in aumento o in riduzione.

In generale le infrastrutture di trasporto potrebbero beneficiare del clima mite invernale, ma essere localmente soggette ad impatti indiretti legati al dissesto idrogeologico.

¹³³ Non è intenzione dello scrivente anticipare indicazioni sulle strategie di adattamento ma offrire uno spunto di riflessione sull'utilizzo dell'informazione climatica.

La **macroregione 6**, che accorpa le aree insulari e l'estremo sud dell'Italia, è la zona mediamente più calda e secca, che lascia ipotizzare impatti legati al fattore calore.

Le previsioni per questa macroregione sono di più difficile interpretazione in quanto in opposizione tra i due scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 e non in linea con l'andamento osservato nel periodo di riferimento (1981-2010). Viene infatti simulato il rischio di un aumento significativo degli eventi estremi (anche estivi) e sulle isole maggiori un potenziale aumento delle precipitazioni invernali.

Lo *stressor* climatico principale è rappresentato dall'aumento della temperatura e dalle ondate di calore nel periodo estivo. L'elevata probabilità del fenomeno atteso è tale da rendere indispensabile una strategia adattiva in tal senso. Meno scontata è la valutazione del rischio legato ai fenomeni di precipitazione intensa che potenzialmente possono risultare molto pericolosi ma anche concentrati in ambiti locali. In questi casi si raccomanda una strategia di tipo incrementale e comunque strettamente monitorata negli anni.

Approfondimento sugli impatti attuali e futuri sul sistema stradale

Il carico veicolare e il clima sono le due cause principali del degrado delle condizioni del sistema. Altre cause che possono contribuire all'usura dell'infrastruttura sono gli incidenti, i furti, i difetti di costruzione.

Le variabili climatiche sono già oggi un fattore di usura e di degrado delle condizioni stradali, come ad esempio rotture o deformazioni dell'asfalto (ormae, avvallamenti, fessurazioni, buche) o l'ostruzione dei sistemi di raccolta delle acque piovane.

L'effetto combinato di clima e uso può aggravare il degrado della sede stradale (effetto "*wear & tear*") ad esempio nel caso di ondate di calore su un tratto stradale ad elevata frequentazione di mezzi pesanti: non è peraltro possibile (né opportuno) analizzare i due fenomeni separatamente. Questi impatti sono già oggi presenti e una serie di studi ha cercato di valutare il peso percentuale dei due contributi con risultati molto variabili in base a fattori (climatici e di utilizzo) strettamente locali.

Attualmente le analisi mettono in evidenza che il costo relativo alla gestione del deterioramento delle strade nei climi freddi è maggiore dell'impatto del caldo nei climi caldi (in Norvegia si osserva un incremento di circa il 30% dei costi della manutenzione complessiva).

L'analisi degli **impatti attuali** - ovvero già osservati e quindi misurati - permette alcune riflessioni sulla dimensione dei costi di sistemazione, che può essere utilizzata all'interno degli scenari previsionali (anche di adattamento). La ricerca europea FP7 WEATHER ha preso in esame i danni relativi a tre principali impatti climatici:

- neve/ghiaccio;
- piovosità/allagamenti;
- tempeste.

E ne ha quantificato i danni (ovvero i costi di ripristino) per sei elementi del sistema stradale:

- *asset* infrastrutturali;
- operatività dell'infrastruttura;
- *asset* veicolari;
- operatività veicolare;
- ritardi (valore del tempo);
- sicurezza degli utenti.

Il monitoraggio ha evidenziato che il danneggiamento delle infrastrutture e i ritardi sono le situazioni più frequenti, mentre eventi piovosi (eventualmente con locali allagamenti) e tempeste (con allagamenti) rappresentano le criticità principali nel sistema stradale.

All'interno del sistema analizzato il comparto stradale rappresenta l'80% dei costi del sistema complessivo dei trasporti. Il clima invernale e gli eventi piovosi incidono su più dell'85% degli stessi costi. Nell'area mediterranea i danni legati ad eventi piovosi e allagamenti sommano la quasi totalità dei costi, nell'area

alpina il contributo scende a circa 65% e acquisiscono un ruolo maggiore gli effetti del clima invernale e marginalmente i danni provocati dalle tempeste.

Mediamente a livello europeo i costi sul sistema stradale legati agli eventi estremi (osservati nel periodo attuale) sono nell'ordine del 4% dei costi di manutenzione, percentuali che variano a livello regionale tra 0.5% e 13.2% (valori con affidabilità limitata dai limiti dello studio e dall'approssimazione dei costi di manutenzione) (Nemry and Demirel 2012).

Gli **scenari previsionali** di cambiamento climatico permettono una riflessione di massima sull'evoluzione degli impatti nel futuro:

- il degrado della pavimentazione stradale per precipitazioni piovose si aggrava per aumenti di piovosità dell'ordine di circa 100mm/24h. tale condizione non dovrebbe manifestarsi nel contesto nazionale e quindi non incidere sensibilmente sui costi ordinari di manutenzione. resta inteso che una scarsa (non adeguata) manutenzione della pavimentazione contribuisce negativamente all'impatto del clima invernale (neve e gelo) che aumenta le piccole increspature dell'asfalto incrementando pericoli e danni potenziali;
- le ondate di calore, e in generale l'aumento delle temperature, misurate in termini di "7-day maximum temperature" sono previste in aumento in particolare nelle macroregioni climatiche 2 e 6. tale indicazione suggerisce la necessità di una specifica sistemazione adattiva per l'asfalto stradale, in particolare all'interno dell'ambito 2 (pianura padana);
- le ondate di gelo possono provocare gravi danni in particolare alla sede stradale. È comunque prevista una diminuzione dell'indice *frosty days* per tutte le macroregioni nazionali a beneficio di una riduzione dei rischi legati alla sicurezza di guida (costi da incidentalità) e della manutenzione dei danni.

Per quanto concerne la previsione sugli eventi estremi il progetto europeo FP7 EWENT ha definito una scala dimensionale che mette in relazione la dimensione dell'evento piovoso con il potenziale rischio sul sistema stradale:

- 50 mm/24h: strade allagate, riduzione dell'aderenza dell'asfalto;
- 100 mm/24h: criticità nel sistema di scarico delle acque, rigurgito dai fossetti, allagamenti dei sottopassi e delle tratte stradali particolarmente basse (non in rilevato); sollevamento dei coperchi dei pozzetti e delle caditoie che diventano elementi di pericolosità per il deflusso veicolare; visibilità ridotta;
- 150 mm/24h: la struttura stradale può collassare; i ponti inondati; i veicoli a motore si bagnano e possono smettere di funzionare; l'acqua può penetrare nei veicoli; l'allagamento della sede stradale può trasportare veicoli o altri detriti.

Anche la misura delle precipitazioni massime su 7 giorni rappresenta un buon indicatore per gli impatti (danni) da eventi piovosi intensi e prolungati.

Proposta di approfondimento della vulnerabilità del settore

Se nei capitoli precedenti si è cercato di mettere in luce la correlazione fra aspetti diversi che concorrono all'impatto sul sistema complessivo della mobilità, le valutazioni degli impatti descritte costituiscono un utile, ma ancora parziale, sistema di valutazione della vulnerabilità. In questi anni la ricerca, la divulgazione e la standardizzazione delle analisi ha fatto notevoli passi avanti offrendo potenzialmente l'opportunità di sistematizzare la valutazione delle vulnerabilità. Da quanto finora fatto e disponibile si può quindi provare a strutturare una metodologia di valutazione più robusta, fissando almeno gli elementi ad oggi disponibili e segnalando quelli che richiedono ulteriori approfondimenti.

Cercando di limitare l'analisi al settore trasporti, senza dimenticare tuttavia le importanti correlazioni con altri settori, la vulnerabilità dipende dalle caratteristiche del sistema di trasporto e dalle variabili climatiche. Per quanto concerne il sistema di trasporto vanno considerate per ogni macroregione climatica (elenco non esaustivo):

- tipologia delle infrastrutture e servizi dei diversi modi di trasporto: strade, ferrovie, porti, aeroporti e reti di pedonalità/ciclabilità;
- la dimensione/presenza nel territorio di ciascuna di esse;
- le caratteristiche geometriche significative;
- le condizioni orografiche;
- la presenza in aree soggette a dissesto idrogeologico;
- le modalità costruttive (principali) ;
- la presenza di punti di fragilità (ponti, viadotti, tunnel ipogei) ;
- la manutenzione prevista;
- il grado di importanza della tratta /nodo (garanzia di accessibilità al territorio) ;
- il livello di utilizzo (valutazione relativa all'usura e all'esposizione degli utenti) ;
- le proprietà di robustezza delle reti di trasporto (singolarmente e in interconnessione tra loro), intesa come capacità di offrire soluzioni alternative in caso di evento.

Per quanto concerne le previsioni climatiche vanno considerate per ogni macroregione:

- tipologie principali di variabili climatiche;
- il relativo grado di affidabilità / di incertezza;
- gli indicatori specifici per la definizione progettuale (ad esempio i livelli di piovosità nelle 24h) ;
- la numerosità e la dimensione degli eventi all'interno delle stagioni e nell'arco dell'anno;
- ipotesi sulla valutazione dei tempi di ritorno degli eventi massimi;
- revisione dei valori medi correlati con le norme di progettazione;
- la conoscenza di tali parametri a livello dettagliato, da potere sovrapporre ad una mappa dei sistemi di trasporto (soprattutto nei casi di elevata variabilità all'interno della macroregione o di incertezza delle previsioni).

Una volta definita la matrice degli impatti per ogni macroregione climatica, dimensionata rispetto alla presenza delle infrastrutture di trasporto, è possibile definire una strategia complessiva che stabilisca priorità di intervento, bilanciando le diverse realtà e ottimizzando gli investimenti necessari.

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI

Il sistema della mobilità non ha una identificazione chiara all'interno degli esempi, anche europei, di piani e programmi per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Nonostante il peso economico e l'importanza funzionale, non risulta sempre tra i settori prioritari e spesso è accorpato all'interno di un generico capitolo "sviluppo del territorio", unitamente al sistema insediativo o degli insediamenti urbani.

In Italia, anche per le caratteristiche morfologiche del territorio, il sistema dei trasporti è estremamente complesso e disomogeneo. Le barriere montuose e il notevole sviluppo costiero hanno reso necessario, oltre che possibile, ogni possibile modo di trasporto, realizzato con tipologie diverse in funzione delle differenze climatiche, dei bisogni di mobilità e delle caratteristiche morfologiche e geotecniche dei terreni.

A prescindere dalle relazioni intersettoriali alcune considerazioni di ordine superiore rendono di fatto il settore dei trasporti inevitabilmente "trasversale" se non di fatto sovrapponibile ad altri settori:

- i sistemi di trasporto costituiscono il sistema di connessione di tutti gli altri settori: il sistema di mobilità permette di accedere a un insediamento urbano, così come lo stesso sistema permette di accedere ad un'area industriale. in pratica, ogni settore vede coinvolto un sistema di trasporto;
- i sistemi di trasporto rappresentano (anche) le vie di fuga in caso di evacuazione oltre che di accesso per i mezzi di soccorso. devono quindi offrire una garanzia minima di funzionalità per agevolare l'intervento quando necessario e a maggior ragione in caso di evento eccezionale o catastrofico;
- esiste una stretta relazione tra mitigazione e adattamento nel campo dei trasporti.

Volendo favorire modi di trasporto sostenibili, la trasformazione verso una mobilità “*low carbon*” sposterà il peso degli investimenti verso modi alternativi. Le attuali scelte di indirizzo verso una mobilità *low-carbon* si sviluppano perlopiù in un’ottica di tipo incrementale, ovvero implementando sviluppo e innovazione su alcuni elementi per garantire e migliorare la funzionalità del sistema esistente. Un’accelerazione nella dimensione e negli effetti degli impatti potenziali dei cambiamenti climatici unitamente al perseguimento degli obiettivi di mitigazione, potrebbe innescare un vero e proprio cambio di paradigma e determinare il superamento di alcuni principi consolidati della mobilità, fino alla necessità di abbandonare degli elementi dell’infrastruttura e sollevando quindi un aspetto di “*retrofitting*”.

Più specificatamente gli **insediamenti urbani** sono pervasi di mobilità (stradale, ferroviaria, metropolitana, pubblica, pedonale e ciclabile, aree di sosta) e garantiscono in questo modo uno degli indicatori di qualità di una città o di un agglomerato urbano. Il sistema della mobilità ha caratteristiche diversificate e molteplici e una separazione dei due settori (trasporti e insediamenti urbani) deve essere valutata in base alle condizioni specifiche del contesto in esame. Azioni di adattamento legate all’aumento delle temperature e alla gestione delle acque meteoriche (ad esempio in occasione di precipitazioni eccezionali) nell’ambito del settore degli insediamenti urbani riguardano anche il settore dei trasporti e viceversa.

Lo sviluppo della componente trasportistica all’interno dell’area urbana può innescare trasformazioni del sistema anche esponenziali, sia in funzione delle strategie di mitigazione che di adattamento. Ad esempio basti pensare al peso delle aree di sosta veicolare (a raso e ipogee) all’interno delle nostre città. Le aree superficiali impermeabili contribuiscono al raggiungimento del livello critico di funzionamento del sistema di raccolta delle acque in situazioni di eventi piovosi severi e aumentano la probabilità di innesco di isole di calore urbane in periodi estivi. I parcheggi ipogei, realizzati in passato, si trovano a dover affrontare movimenti di falda e in generale di gestione delle acque meteoriche per i quali le prescrizioni progettuali del tempo non imponevano nessuna salvaguardia. Entrambe le vulnerabilità potrebbero più facilmente trovare una soluzione attraverso la diffusione dei sistemi di *car-sharing* tali per cui il fabbisogno di aree di sosta veicolare all’interno delle aree urbane, viene a ridursi notevolmente. L’utilizzo di opzioni di *car-sharing* riduce il numero di auto di proprietà (e quindi la necessità di sosta “statica”) e tende a mantenere in movimento le auto condivise, che per la maggior parte del tempo occuperanno quindi la sede stradale e non le aree di sosta. La dimensione della penetrazione nella popolazione dell’uso del *car-sharing* e il relativo consolidamento potrebbe quindi a lungo termine avviare una riflessione sul recupero, il riutilizzo o la riconversione di spazi urbani ad oggi occupati (con valore aggiunto nullo) da veicoli fermi in sosta.

Sia per la necessità di gestione delle acque piovane, sia per i rischi derivanti da pericoli idrogeologici, le azioni previste per la **gestione delle acque** e dei dissesti **idrogeologici**, vedono una potenziale sinergia con il settore della mobilità e dei trasporti.

Il trasporto è un sistema energivoro (ad esclusione della mobilità pedonale e ciclabile) che richiede una rete di alimentazione (elettrica, di rifornimento carburante, o quant’altro) diffusa sul territorio. Basta pensare quanto la mancanza di una solida e pervasiva rete di punti di ricarica sia vista oggi come uno dei maggiori ostacoli alla diffusione dei veicoli elettrici. Il **sistema energetico** unitamente alle **reti IT** (che regolano i tanti sistemi di guida e sicurezza dei sistemi di trasporto) si configura, anche per il settore dei trasporti, vitale per garantire le opportunità di spostamento e acquisisce elevata priorità nell’elenco delle azioni di adattamento da implementare.

L’importanza del **settore turistico** per l’economia nazionale (l’Italia è al 5° posto nel mondo per affluenza di turisti) (ENIT 2015)¹³⁴ impone che i sistemi di supporto quali i trasporti, non riducano l’efficienza del settore per cause legate agli impatti dei cambiamenti climatici. Sia per connettere le destinazioni turistiche, sia per garantire le occasioni turistiche che si basano su infrastrutture di trasporto (sciovie, funivie, porti, etc.) ancora una volta i trasporti si confermano pervasivi e fondamentali all’interno del sistema economico.

Una forma di sinergia è possibile anche con l’**industria** che - utilizzando le proprie capacità innovative e di sviluppo di business - dovrà affrontare la ricerca e la produzione di materiali, elementi e tecnologie

¹³⁴ Agenzia Nazionale del Turismo: <http://www.enit.it/it/studi.html>

finalizzate all'adattamento del sistema trasporti: asfalti drenanti, asfalti resistenti al calore, veicoli resistenti a più alte temperature, sistemi di raffrescamento e quant'altro utile e necessario per l'evoluzione adattiva del sistema dei trasporti.

NORMATIVE, PIANI E PROGRAMMI ESISTENTI PER L'ADATTAMENTO

Il contesto Europeo

Da un'analisi condotta nel 2013 (EEA 2014b) a livello europeo emerge che il ruolo dei trasporti all'interno delle politiche di adattamento in Europa non era ancora centrale. Solo poche nazioni davano spazio al tema all'interno dei propri strumenti di pianificazione. Germania e Spagna risultavano essere i paesi più avanzati sul tema.

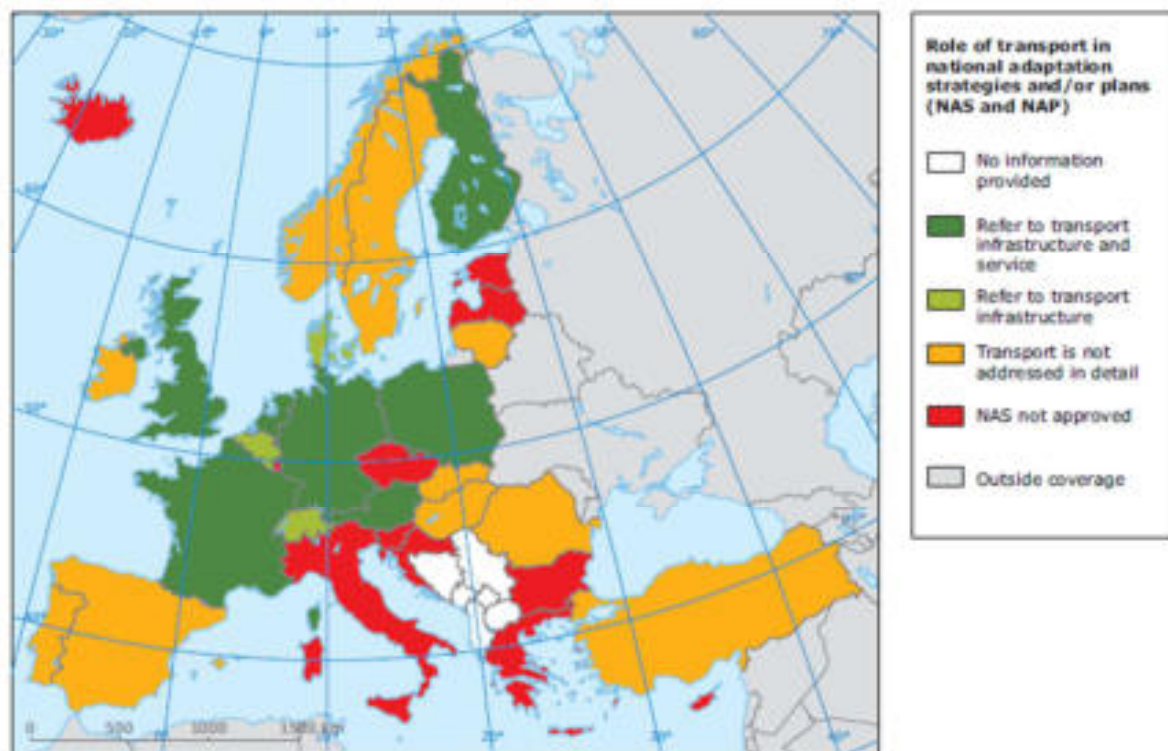


Figura 1-78: Ruolo dei trasporti nelle strategie (NAS) e piani (NAP) nazionali¹³⁵.

Dall'analisi dei piani e programmi si rileva la tendenza ad esaminare il settore per singola infrastruttura (o modo di trasporto) in modo disgiunto dagli altri sottosistemi (altri modi di trasporto) dimenticando quanto tutti i modi collaborino per offrire un servizio di mobilità all'utente. Sia per gli spostamenti di persone che di merci lo spostamento complessivo è composto da diverse tratte concatenate, effettuate con modi diversi. I diversi sottosistemi offrono complessivamente un servizio di trasporto superiore alla somma dei singoli elementi. A questa visione d'insieme di un sistema interconnesso si preferisce – si ipotizza per facilità di approccio – una analisi segmentata sui singoli modi di trasporto.

Piani e programmi di adattamento tendono, inoltre, a prendere in esame i modi principali – il sistema stradale – tralasciando la trattazione dei modi minori (meno diffusi o meno utilizzati). Sebbene in Europa e sicuramente in Italia il modo preponderante sia il mezzo su strada (sia esso privato o pubblico, per passeggeri o merci), come sopra anticipato, solo il sistema di mobilità nel suo insieme garantisce la ridondanza e l'efficienza all'utente. Modi minori possono essere essenziali per un corretto deflusso degli spostamenti anche se incidono anche solo per una piccola porzione di viaggio.

Gli impatti analizzati sono spesso diversi, inevitabilmente coerenti con le condizioni locali (ondate di calore, allagamenti, erosione delle coste, etc.). Si rileva comunque un isolamento del sistema della mobilità dal *mainstreaming* dell'adattamento. In ogni nazione il tentativo di inclusione è in corso in modi diversi: in

¹³⁵ EEA 2014b.

alcuni casi il ministero dei trasporti viene esplicitamente sollecitato a produrre uno strumento di pianificazione ad hoc, in altri casi le valutazioni (ancora generiche) di adattamento vengono inserite all'interno degli strumenti pianificatori esistenti. Anche l'opzione di aggiornare lo strumento dell'EIA (VIA) è stata presa in esame.

Un problema analogo esiste per la gestione del rischio di eventi estremi, dove solo in pochi casi il sistema di trasporto ha una sua specifica trattazione. In generale la gestione degli eventi estremi ha come unica procedura omnicomprensiva quella sui rischi (protocollo generale di emergenza). La gestione del rischio per eventi estremi potrebbe invece costituire un utile punto di partenza per sviluppare una strategia adattiva dagli attori e stakeholder del settore, come sta avvenendo in alcuni casi specifici (Austria e Svizzera, servizi aeroportuali in Francia, gli studi sul tema della DHL).

Oltre ad un percorso di programmazione e pianificazione, alcune realtà europee hanno affrontato direttamente il problema attraverso la revisione di standard e norme. Francia, Inghilterra, Svizzera e Norvegia hanno attivato processi di revisione degli standard di progettazione, costruzione e manutenzione degli *asset* dei sistemi di trasporto.

Lo stato dell'arte europeo

Le Linee Guida delle reti TEN-T sono state aggiornate e approvate nel dicembre 2013, specificando che lo sviluppo delle reti deve considerare l'impatto dei cambiamenti climatici e degli eventi estremi di natura antropogenica. Le reti devono essere pianificate, sviluppate e operabili con un approccio che ottimizzi l'efficienza delle risorse considerando adeguatamente la vulnerabilità dei trasporti. In particolare le Linee Guida prevedono i seguenti aspetti:

- i progetti comunitari devono analizzare con metodi di analisi benefici/costi gli impatti socioeconomici del progetto e del relativo adattamento;
- nella fase pianificatoria, gli stati membri e altri promotori devono affrontare il progetto con un approccio di tipo *"risk assessment"*, favorendo la resilienza ai cambiamenti climatici e ai rischi naturali;
- le misure necessarie per migliorare e garantire il mantenimento della qualità dell'infrastruttura in termini di sicurezza, efficienza e resilienza (ai cambiamenti climatici e ai grandi rischi) e la performance ambientale hanno la priorità;
- il piano d'azione per lo sviluppo dei corridoi deve includere l'analisi degli impatti potenziali e, se necessario, la proposta di misure per aumentarne la resilienza.

Inoltre le Linee Guida promuovono fortemente il *mainstreaming* dell'adattamento all'interno dei punti chiave della politica comunitaria:

- nell'ambito dell'accesso al finanziamento;
- nello sviluppo di una rete comprensiva a livello europeo per la quale la resilienza e l'impatto climatico rappresentano una priorità di sviluppo e per la quale l'innovazione e lo sviluppo tecnologico offrono opzioni in merito;
- nel definire un livello *"core"* dei corridoi/reti che non può prescindere da un approccio resiliente e adattivo.



Figura 1-79: La rete TEN-T.

Per poter garantire affidabilità nel tempo a questa rete principale, l'Europa ha iniziato a valutare percorsi metodologici che affrontino specificatamente il tema dell'adattamento.

Il regolamento EU 1315/2013 sugli orientamenti dell'Unione per lo sviluppo della rete transeuropea dei trasporti premette (comma 34) che *“Durante la pianificazione delle infrastrutture, gli Stati membri e gli altri promotori di progetti dovrebbero attribuire la necessaria considerazione alle valutazioni del rischio e alle misure di adattamento dirette a migliorare la resilienza ai cambiamenti climatici e ai disastri ambientali”*. Inoltre all'art.4 d) iii) specifica come obiettivo *“il sostegno alla mobilità anche in caso di disastri naturali o provocati dall'uomo e assicurando l'accessibilità ai servizi di emergenza e di soccorso”*.

Un'ulteriore indicazione ai principi dell'adattamento è sviluppata all'interno delle comunicazioni EU relative alle linee guida per le procedure di VAS e di VIA. In particolare il documento **“Guidance on Integrating Climate Change and Biodiversity into Strategic Environmental Assessment”** descrivendo lo spirito della direttiva pone il tema della resilienza e della gestione adattiva come chiave di lettura dei cambiamenti climatici. All'interno di piani e programmi si deve quindi impostare una strategia che risponda ad un sistema ambientale in continua evoluzione. Il cambiamento potenziale va studiato in modo preliminare e piani e programmi devono essere sviluppati tenendo in conto le modifiche prospettate. Soprattutto ricorda

che la resilienza si ottiene attraverso un processo costante di adattamento e che per sua natura il processo non può finire con il piano/programma.

Analogamente ma in modo più specifico, il documento **“Guidance on Integrating Climate Change and Biodiversity into Environmental Impact Assessment”** affronta il tema della resilienza ai cambiamenti climatici e fornisce delle linee guida specifiche per integrare i percorsi di adattamento ai cambiamenti climatici all’interno delle Valutazioni di Impatto Ambientale. In generale il documento offre parecchi spunti per attivare una adeguata consapevolezza e impostare l’approccio *climate-proof* all’interno dell’elaborazione delle analisi.

Il contesto nazionale

L’importanza del sistema della mobilità per l’economia nazionale e per lo sviluppo del territorio oltre alla sua intrinseca natura di infrastruttura a rete, rendono il tema condiviso e sovrapposto fra diversi settori. Gli atti di indirizzo, i piani e i programmi sulla mobilità si interfacciano con settori diversi e spesso affrontano una dimensione di contenuti molto ampia. Riuscire a realizzare il *mainstreaming* del concetto di cambiamento climatico nelle specifiche politiche di settore costituisce già da solo un’azione importante e faticosa, ancorché necessaria.

Inoltre, nell’affrontare il tema dei cambiamenti climatici, si osserva in generale una forte attenzione al concetto di **mitigazione**, mentre prevale una trattazione superficiale del concetto di adattamento. Se la sensibilità alla qualità dell’aria e ai relativi rischi per la salute ha reso possibile lo sviluppo di piani e di delibere specifiche per il controllo degli inquinanti atmosferici, la stessa attenzione è stata trasferita sulla mobilità solamente nella ricerca di un sistema di mobilità “sostenibile” ai fini di un contenimento delle emissioni climalteranti (e/o nocive).

Lo stato dell’arte in Italia

Oltre alla Strategia Nazionale per l’Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC), approvata con Decreto Ministeriale il 16 Giugno 2015, che costituisce premessa al presente piano e che ha avuto il ruolo di introdurre formalmente il tema dell’adattamento in Italia, alcune altre esperienze istituzionali si sono sviluppate a livello regionale.

La conferenza Stato - Regioni lavora per l’elaborazione di atti a livello regionale, con un approccio di partecipazione dal basso e di coinvolgimento intersettoriale. Iniziative specifiche di SRACC erano o sono attivate in Lombardia, Abruzzo, Sardegna ed Emilia Romagna. Regione Lombardia nel dicembre 2016 ha adottato il Piano di Azione sull’adattamento a conclusione del processo avviatosi con l’adozione della Strategia Regionale di Adattamento (2014).

Inoltre:

- la regione toscana ha analizzato alcuni aspetti specifici di piano ambientale ed energetico all’interno del quale sono affrontati i temi di adattamento;
- sei regioni hanno aderito al programma under2mou (the climate group 2015) per la mitigazione (e marginalmente l’adattamento ai cambiamenti climatici);
- le regioni valle d’aosta, piemonte e liguria hanno predisposto studi e piani specifici attraverso fondi interreg italia-svizzera (progetto strada 2.0, 2016);
- la regione lazio si è confrontata con i temi dell’adattamento per la difesa della costa;
- la regione veneto ha affrontato il tema della resilienza urbana (anche alle mutazioni del clima) all’interno della variante del ptrc del 2006;

- la regione trentino alto adige ha delegato la materia alle province mentre la regione friuli venezia giulia ha sviluppato una interessante analisi degli impatti (regione autonoma friuli venezia giulia 2015), comunque non specifica sul settore trasporti;
- la regione Umbria ha esaminato alcuni aspetti di adattamento nell'ambito dell'agricoltura e degli ecosistemi all'interno della VAS dell'ultimo Piano di Sviluppo Regionale.

Box 1-2 La Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici della Regione Lombardia

Il percorso di adattamento ai cambiamenti climatici sviluppato e in fase di completamento in **Regione Lombardia** (DG Ambiente, Energia, Sviluppo Sostenibile) si è articolato in tre fasi successive: le Linee Guida, la Strategia (SRACC) e il Piano di Azione (denominato Documento di azione) (DARACC) - quest'ultimo recentemente adottato da parte della Giunta Regionale della Lombardia. I tre documenti sono stati sviluppati con il supporto tecnico-scientifico della Fondazione Lombardia per l'Ambiente (FLA).

La prima fase, sviluppata nel **2012**, è rappresentata dalla pubblicazione delle **Linee Guida per un Piano di Adattamento ai cambiamenti climatici** (PACC). All'interno delle Linee Guida vengono descritte le dieci sfide legate al cambiamento climatico di cui impattanti sul settore trasporti le seguenti:

- (a) Ondate di calore,
- (b) Piene e alluvioni,
- (c) Innalzamento del limite della copertura nevosa
- (d) Deglaciazione e scioglimento del permafrost,
- (e) Peggioramento della qualità dell'aria.

La seconda sezione delle Linee Guida è dedicata a descrivere le metodologie di costruzione della strategia, individuando dieci requisiti indispensabili.

- La partecipazione
- La gestione operativa e organizzazione amministrativa del piano
- Coprire le lacune conoscitive
- Definizione delle vulnerabilità del territorio
- Individuazione delle priorità
- Finanziamento
- Piani di azione settoriali e intersettoriali e *governance* multilivello
- Integrazione nelle politiche settoriali
- Monitoraggio e valutazione periodica
- Comunicazione e sensibilizzazione

La seconda fase (**2014**) è costituita dalla **Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SRACC)** ed ha analizzato, dopo una dettagliata analisi dei trend climatici attuali e attesi nel secolo, impatti e misure di adattamento anche per il settore della mobilità, mettendo in luce la variabilità delle condizioni climatiche all'interno dei confini amministrativi, dove si confrontano climi alpini e mediterranei sulle diverse componenti e modalità di trasporto.

La Presidenza del Consiglio dei Ministri ha recentemente promosso il programma **#italiasicura**, ampiamente descritta nel portale <http://italiasicura.governo.it/site/home.html> con l'obiettivo di impostare una strategia di pianificazione e gestione del territorio e delle infrastrutture, tale da agire con prevenzione e superare la logica delle emergenze. Tale strategia prevede tre filoni chiave di cui uno funzionale potenzialmente anche se indirettamente ad un approccio adattivo. La fragilità caratteristica del territorio nazionale - quasi un catalogo di rischi naturali - negli anni passati sottovalutata da una carenza pianificatoria e manutentiva, appare ora essere messa alla prova - oltre il limite di tolleranza - dall'accelerazione e dall'intensificarsi di fenomeni climatici estremi quali "*flash floods*" e nubifragi. Tutte le Regioni sono coinvolte al massimo livello di responsabilità politica e gestionale per accelerare l'utilizzo delle risorse e sbloccare i fondi strutturali europei e statali e i cantieri ancora bloccati per diversi motivi. All'interno del programma è stato lanciato il **Piano Nazionale 2015-2020 contro il dissesto idrogeologico** e

in particolare il **Piano contro le Alluvioni nelle Città Metropolitane**, confermando la centralità di questi territori per uno sviluppo sostenibile (a più livelli) già introdotto dagli ultimi PON. La Delibera CIPE n.32/2015 ha definito i primi 33 interventi finalizzati perlopiù alle sistemazioni idrauliche nelle città metropolitane più a rischio.

All'interno del pacchetto **#italiasicura** sono in fase di redazione, con un approccio partecipativo a livello subnazionale, le Linee Guida per le attività di programmazione e progettazione degli interventi per il contrasto del rischio idrogeologico, che costituiscono un buon esempio di approccio adattivo ancorché non specifico sulle infrastrutture di trasporto ma sul territorio in generale.

Altri strumenti di pianificazione e programmazione del territorio potrebbero utilmente essere influenzate dai principi dell'adattamento ai cambiamenti climatici, trattando di gestione e sviluppo del territorio e quindi, indirettamente anche di mobilità, sia nei territori più antropizzati che nelle aree a bassa densità. I Piani Territoriali di Coordinamento (**PTCP**), i Piani di Governo del Territorio (**PGT**) e i Programmi Operativi Nazionali (**PON**) costituiscono solo alcuni esempi strumenti di studio e lavoro nell'ambito della pianificazione e progettazione degli elementi del sistema di mobilità e come tali rappresentano canali per la diffusione delle informazioni e di consapevolezza sul tema dell'adattamento e della resilienza.

Strumenti del settore dei trasporti

Nell'ambito specifico dei trasporti i documenti di riferimento sono redatti a cura del Ministero di competenza. Coerentemente con le premesse del capitolo, l'analisi documentale dei piani e programmi specifici del settore trasporti evidenzia una carenza della trattazione del tema dei cambiamenti climatici, su tutti i livelli: dalla progettazione *climate-proof* a strategie di manutenzione e di *risk assessment*, dalla definizione dei ruoli e delle competenze alla definizione di proposte esemplificative tipo *grey*, *green* e *soft*. Sicuramente il settore potrebbe beneficiare da un'azione di *mainstreaming* fondata sul concetto dell'adattamento ai cambiamenti climatici analogamente a quanto si sta facendo in relazione alle politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici. La mitigazione è infatti spesso presa in esame, nel monitoraggio sia delle emissioni che nelle caratteristiche emissive del parco veicolare. Per esempio recentemente sono state gettate le basi per una strategia di infrastrutturazione per la diffusione dei veicoli elettrici.

Tabella 1-55: Documenti di settore a livello nazionale.

Titolo documento	Anno di redazione
Conto Nazionale Trasporti 2013-2014	2015
Piano Generale dei trasporti e della Logistica	2001
Piano Nazionale della Logistica 2011-2020	2010
Piano degli aeroporti	in fase di ultimazione (2016)
Piano Strategico Nazionale della Portualità e della Logistica	2015
Piano nazionale per la sicurezza stradale	2002
Piano nazionale infrastrutturale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica	2014

Oltre ai documenti specifici di settore, il tema dei trasporti, per la sua rilevanza all'interno delle tematiche economiche e di sviluppo del territorio, viene preso in considerazione anche da altri settori. Se ne riportano alcuni esempi significativi, ma certamente non esaustivi.

L'allegato tecnico **Strategie per le infrastrutture di Trasporto e Logistica** del Documento di Economia e Finanza 2016 (Ministero dell'Economia e delle Finanze 2016) descrive dettagliatamente il percorso di programmazione delle opere infrastrutturali, ricordando che le misure dovranno basarsi sul Piano Generale dei trasporti e della Logistica (PGTL) e sul Documento di Programmazione Pluriennale (DPP). Il documento sottolinea la necessità di una programmazione degli interventi con una valutazione preventiva degli scenari, attraverso il sistema di simulazione SIMPT (Sistema Informativo per il Monitoraggio e la Pianificazione dei Trasporti). Al suo interno, unitamente alla salvaguardia energetica e alla sostenibilità ambientale, sono ricordati i concetti chiave di valorizzazione del paesaggio e qualità estetica. La salvaguardia ambientale è però ancora limitata al principio di mitigazione.

L'innovazione portata da quest'ultimo porta al tavolo della discussione la riflessione sull'opportunità di ragionare in termini di revisione delle **norme di progettazione**. Le infrastrutture stradali costituiscono elementi di ingegneria civile soggetti a una rigida normativa, sia nella progettazione che nella gestione, per garanzia di sicurezza e interoperabilità. Un esempio sul quale sono già attive e consolidate ricerche scientifiche riguarda ad esempio l'analisi e i criteri *climate-proof*, progettuali e realizzativi, dei manti stradali; ovvero lo studio della realizzazione di superfici stradali che siano adattive rispetto ad eventi piovosi estremi (per la durabilità e la sicurezza della guida) e agli effetti degenerativi delle ondate di calore. Il contributo su questi temi può potenzialmente essere favorito dalla creazione di gruppi di lavoro congiunti con stakeholder privati, quali i gestori autostradali, che per necessità sono già attivi su questo tipo di sperimentazioni.

Analogamente, la collaborazione pubblico-privato potrebbe essere ricercata con gli stakeholder del comparto trasporto ferroviario, anche di tipo locale, affinché eventuali riflessioni adattive possano essere considerate in una futura revisione dei **contratti di servizio per il trasporto pubblico locale**.

A livello sub-nazionale altri strumenti specifici di settore dovrebbero essere resi coerenti con il *mainstream* nazionale sull'adattamento. I Piani Regionali dei Trasporti (**PRT**) i Piani Urbani della mobilità (**PUM**) e il nuovo approccio dei PUMS - particolarmente rilevanti a livello di città metropolitana - e i Piani Urbani del Traffico (**PUT**) si occupano di mobilità sostenibile, di riduzione del traffico veicolare e in generale dei trasporti che emettono gas climalteranti e dannosi per la salute umana, ma ancora non interpretano la necessità di adattamento agli impatti dovuti alla variazione del clima.

Analogamente, i tavoli di lavoro (regionali o distrettuali) sulla gestione delle merci in area urbana, approfittando dell'approccio innovativo e orientato alle nuove tecnologie, potrebbero aggiungere ai temi di lavoro anche misure di adattamento nella gestione del business (misure *soft*) all'interno dei processi di controllo e monitoraggio dei movimenti di merci già attivi.

Per gli elementi nodali quali **Porti** e **Aeroporti** si rammenta che esistono specifici **Piani Regolatori e Masterplan di sedime**, data la natura autonoma della gestione dei siti. La caratteristica di esclusività e specificità di questi nodi, per i quali il principio della ridondanza in caso di malfunzionamento non è applicabile, dovrebbero a maggior ragione affrontare il tema dell'adattamento, supportati dalla stretta relazione di convenienza economica di salvaguardare il proprio business.

CONSIDERAZIONI RELATIVE A GAPS E OPPORTUNITÀ

L'analisi delle misure previste dagli atti nazionali offre una prima interessante panoramica che nel tempo andrà a strutturarsi e declinarsi con il supporto del necessario monitoraggio e del coinvolgimento dei diversi attori del settore. Il presente capitolo viene pertanto sviluppato con un approccio propositivo, finalizzato a correggere e potenziare l'azione già intrapresa, a volte anche irrobustendo misure già abbozzate.

L'analisi dei documenti specifici di settore evidenzia un ampio margine di lavoro e di miglioramento delle **azioni di comunicazione e disseminazione** del concetto adattivo nella pianificazione dei trasporti. La diversificazione dei settori e la molteplicità degli attori non può e non deve diventare una giustificazione ad una mancata integrazione del processo adattivo anche nei trasporti.

I percorsi adattivi richiedono, come si è mostrato nei capitoli precedenti, un sostanziale coordinamento, pur sviluppandosi con sistemi bottom-up. Nella ricerca scientifica finalizzata all'individuazione di nuove tecnologie e nella pianificazione devono essere concentrati gli sforzi per aumentare la conoscenza (diffusione delle informazioni e delle basi dati) e, di conseguenza, la consapevolezza. Le tecniche di *value engineering* e di *risk management* dimostrano l'importanza di soffermarsi - e quindi investire risorse - nella fase della **pianificazione e del masterplanning** per garantire una progettazione e a una realizzazione delle opere efficienti ed efficaci.

Proprio in queste fasi preliminari di *masterplan* e di pianificazione vengono infatti affrontate riflessioni di lungo periodo che affrontino anche visioni alternative, quali la trasformazione degli stili di vita con cambiamenti comportamentali della domanda di mobilità, anche a causa dei cambiamenti climatici. Impatti sulla domanda di mobilità, anche nel lungo periodo, porrebbero temi paradigmatici come il rischio di **lock-in** insito nella realizzazione di elementi di trasporto di lunga gestazione e durata utile e di conseguenza anche un tema di **retrofitting** di elementi di trasporto che potessero divenire obsoleti.

Valutazioni più specifiche sui percorsi di adattamento quali l'assicurarsi una opportuna **ridondanza** dei sistemi - considerando anche le opzioni pedoni e biciclette - o individuare tutte le misure finalizzate ad un adattamento degli elementi in una **logica incrementale**, richiede la collaborazione di specialistici e tecnici del settore.

Una misura mai esplicitamente indicata, ma solo sottintesa, dovrebbe introdurre un sistema di analisi e gestione dei dati condiviso secondo uno **schema GIS**. La geometricità degli elementi di trasporto non può prescindere da una conoscenza puntuale delle condizioni di sistema, sia di assetto del territorio che climatico. Ogni tipo di dato utile per valutare non solo la vulnerabilità, ma anche l'esposizione e il rischio, dovrebbe essere accessibile dallo stesso sistema.

La ricerca scientifica (Nemry and Demirel 2012), (FP7 EWENT Project)¹³⁶ ha messo in evidenza anche l'importanza - e allo stesso tempo la difficoltà - di avere **soglie condivise** di rischio. Come soglia di rischio si intende il valore limite di un indicatore oltre il quale si riscontrano (e sono attesi) effetti dannosi o

¹³⁶ http://cordis.europa.eu/project/rcn/93531_en.html

distruttivi. La diversa natura dei codici e delle norme di costruzione, oltre alla variabilità del clima all'interno del territorio nazionale, rendono particolarmente difficile questo compito.

Nonostante queste difficoltà, il concetto di "soglie limite" è considerato un importante collegamento tra resilienza delle attività e gli *stressor* climatici, ad esempio:

- l'erosione che agisce alla base dei ponti sui fiumi è funzione dalla velocità dell'acqua, dal tipo di sedimento (sabbia o altro) del letto del fiume e del livello di protezione delle fondazioni. nonostante gli studi scientifici in corso ancora oggi non si è in grado di comprendere nel dettaglio il fenomeno e a descrivere tutti i meccanismi fisici e dei parametri in gioco;
- temperature elevate possono danneggiare le strade asfaltate inducendo screpolature ad altre forme di fragilità. molti sforzi sono stati fatti per sviluppare la ricerca nel campo degli asfalti. le sperimentazioni in atto potrebbero fornire utili informazioni per una revisione delle norme costruttive e realizzative di un elemento (il manto d'asfalto) relativamente semplice all'interno del percorso progettuale;
- il sistema delle "soglie-limite" potrebbe facilitare la gestione delle acque piovane di una superficie stradale, facendo collaborare asfalti drenanti e sistema di raccolta. con specifici valori-soglia identificati, le quantità degli eventi assumono una dimensione e possono quindi essere trasferiti in una revisione dei criteri progettuali.

L'approccio adattivo e resiliente si applica perfettamente ad una gestione degli *asset* attenta e continua, basata sulle analisi di rischio. Lo scenario adattivo ideale è rappresentato da un **programma di manutenzione** degli *asset* che tenga conto delle variazioni del contesto - anche climatiche - e che sia quindi in grado di "assorbire e metabolizzare" per adeguamenti successivi e programmati variazioni di lungo periodo all'interno dei normali programmi manutentivi, abbandonando quindi l'ottica del ripristino post evento - se non volontariamente considerata - e preparando gli *asset* preventivamente - o meglio per tempo - ad offrire le caratteristiche di resistenza necessarie.

Come indicato nel paragrafo "Connessioni con altri settori" la pervasività di elementi di natura trasportistica nonché l'importanza della mobilità all'interno degli insediamenti urbani richiede la maggiore integrazione possibile tra i due settori. Se il settore dei trasporti ha in passato posto maggiori attenzioni sulle grandi infrastrutture di connessione, delegando all'urbanistica molti aspetti di dettaglio nel contesto abitato, ora, consapevole della dimensione dei movimenti urbani, deve investire le proprie risorse settoriali anche a supportare adeguatamente le riflessioni di adattamento negli insediamenti urbani. La stretta correlazione, le opzioni *win win* e le sinergie potranno essere valorizzate solamente attraverso una profonda collaborazione tra i due settori, evitando sovrapposizioni e ambiguità nella gestione delle competenze, delle norme, delle policy e delle procedure.

INFRASTRUTTURA CRITICA - INDUSTRIE E 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, etc.).

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, previsto nel trentennio 2021-2050 (in particolare nello scenario RCP8.5) in alcune delle zone del Paese (pianura Padana, regioni tirreniche, Sardegna), potrebbero direttamente produrre effetti sulle attività industriali e le infrastrutture ivi localizzate che utilizzano processi e sostanze chimiche pericolosi, nonché sulle operazioni che in essi vengono svolte.

La capacità produttiva di alcuni settori industriali potrebbe dunque essere influenzata negativamente da 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, sia per i lavoratori e la popolazione che vive nelle aree circostanti, per i 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 di abitazioni in conseguenza di incendi ed esplosioni, etc.), sia per gli ecosistemi localizzati nelle vicinanze.

Si concretizzerebbero, in sostanza, quelli che vengono definiti come **eventi NaTech**, acronimo che definisce gli eventi nelle quali un disastro **Naturale** innesca uno o più disastri **Tec(h)nologici**.

Sebbene gli eventi NaTech siano stati in passato eventi relativamente rari, c'è sempre maggiore evidenza che essi stiano aumentando. Studi dedicati ai cambiamenti climatici evidenziano come l'aumento della frequenza delle alluvioni comporterà anche un aumento degli eventi NaTech, in parte anche dovuto al maggior numero di strutture industriali e persone esposte: ad esempio 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 e della presenza di un 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 possono mettere 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 in Europa, e dunque anche nel nostro Paese, a normative che prevedono l'adozione di precauzioni contro le alluvioni e gli altri eventi meteorologici estremi; le norme dell'UE e nazionali prevedono un riesame periodico dei rischi e dell'adeguatezza delle misure di prevenzione. In questo settore dunque adattamento significa prendere misure tempestive per adattarsi alle probabilità e alle intensità modificate degli eventi meteorologici estremi, che interesseranno secondo le previsioni aree significative del territorio nazionale, e prepararsi a limitare e a gestire i potenziali danni risultanti dai loro effetti sulle industrie e le infrastrutture pericolose in esse localizzate.

Anche per questo settore la strategia di adattamento ai cambiamenti climatici si deve basare su un insieme di approcci e misure complementari per la gestione dei maggiori rischi associati all'incremento degli eventi meteorologici estremi.

INTRODUZIONE

I cambiamenti climatici probabilmente aumenteranno la frequenza, l'intensità 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 e incendi boschivi. Attività industriali già esposte ad eventi idrometeorologici possono essere le più vulnerabili in caso di aumento delle precipitazioni estreme e di alluvioni riconducibili ai cambiamenti climatici: ad esempio, nel mondo 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 in ambito assicurativo (Munich Re 2012)¹³⁷ e riportati dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA 2012c), il numero dei disastri naturali nei Paesi UE mostra una tendenza all'aumento a partire dal 1980 (vedi Figura 1-80); mentre però il numero e l'impatto degli eventi meteorologici e collegati al clima sono cresciuti considerevolmente tra il 1980 e 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.

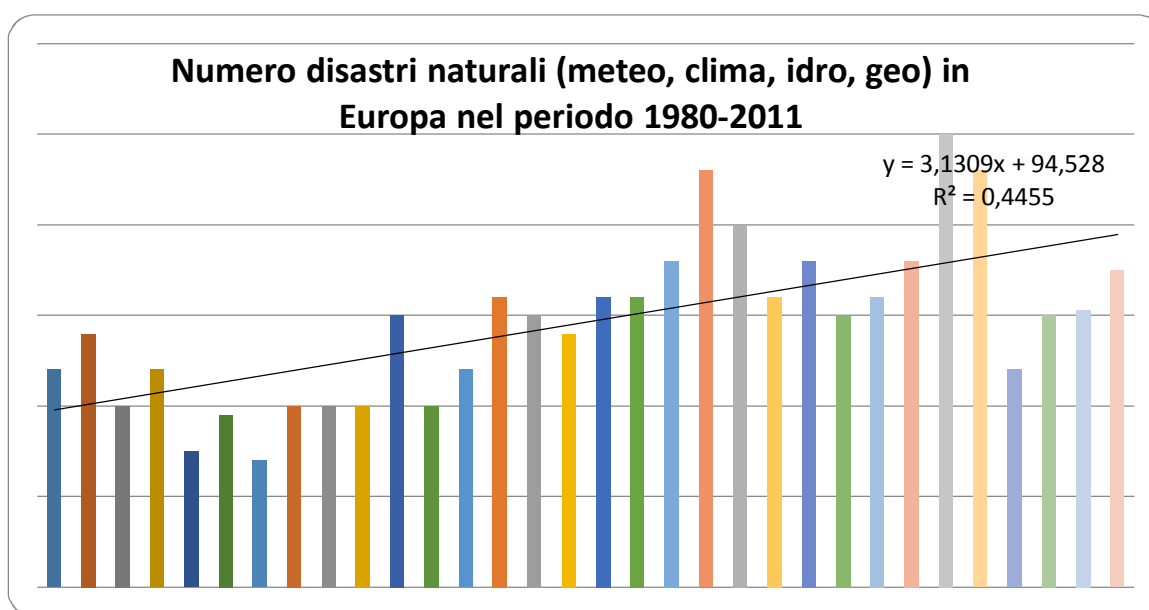


Figura 1-80: Numero di disastri naturali verificatisi in Europa nel periodo 1980-2011¹³⁸.

Circa due terzi delle perdite economiche riconducibili a disastri naturali nel periodo 1980-2011 sono stati causati da alluvioni e 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.

¹³⁷ <http://www.munichre.com/geo>

¹³⁸ Fonte: European Environment Agency, 2012.

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 e analisi dei dati. Normalizzando, sulla base dei cambiamenti intercorsi nel periodo di osservazione della ricchezza e/o della popolazione, gli andamenti delle perdite economiche e 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 ad essi, 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 e 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 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 minore frequenza delle precipitazioni nevose.

Per quanto riguarda l'Europa, sono attesi incrementi del pericolo di alluvioni, sulla base delle simulazioni effettuate con modelli idrologici alimentati con dati relativi ad un set 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.

Le inondazioni fluviali sono un disastro naturale piuttosto comune in Europa e, insieme alle tempeste, il più importante pericolo di origine 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 e infrastrutture, che a loro volta possono provocare effetti dannosi alla salute umana, all'ambiente e al patrimonio culturale.

Gli effetti sulla salute umana si manifestano attraverso annegamenti, disturbi cardiaci, ferimenti, infezioni, conseguenze psicosociali, nonché per danni indotti dalle sostanze chimiche (presenti nei sedimenti o nelle attività industriali danneggiate) 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 sono state in passato ricavate dai database disponibili (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, EM-DAT314; Munich Re, NatCatService¹³⁹, entrambi focalizzati sull'aspetto impatti e Dartmouth Flood Observatory database, focalizzato invece sugli eventi).

È comunque emersa la necessità di una più dettagliata e comprensiva banca dati a livello europeo, che includa anche gli eventi non caratterizzati da danni catastrofici, in modo da separare gli effetti dei cambiamenti climatici da quelli derivanti da cambiamenti socioeconomici.

Da segnalare come la Direttiva 2007/60/CE "alluvioni", preveda, come parte della valutazione preliminare del rischio di alluvioni (c.d. PFRA), che ogni Paese UE fornisca una panoramica delle alluvioni accadute in passato; una banca dati europea sugli impatti potrebbe mettere insieme tutti i catasti nazionali 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.

¹³⁹ <https://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/nathan/index.html>

Anche se un vero e proprio database europeo sugli impatti delle alluvioni, non è stato finora disponibile, tuttavia importanti progressi in questa direzione sono stati recentemente effettuati, ottenendo una panoramica complessiva degli eventi significativi (e relative impatti) accaduti nei 39 Paesi membri e cooperanti dell'EEA, sulla base delle informazioni fornite dai Paesi UE nelle valutazioni preliminari del rischio di alluvioni, effettuate ai sensi dell'art.4 della Direttiva alluvioni, integrate con le informazioni estratte dai database globali già citati (EM-DAT e Dartmouth Flood Observatory).

E' stato così possibile ottenere una panoramica più esaustiva delle alluvioni in Europa a partire dal 1980; il database risultante, che include informazioni sull'impatto sull'ambiente e sui beni culturali, dove disponibili, oltre ai dati sui danni economici e alle persone, è operativo, per correzioni e integrazioni, dal febbraio 2015 (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-past-floods>) ed evidenzia tra il 1980 e il 2010 ben 3563 eventi alluvionali accaduti in 37 Paesi europei, di cui 40 in Italia (accesso eseguito il 5 ottobre 2016).

Indubbiamente la quantità di informazioni rese disponibili è aumentata significativamente dopo l'introduzione dell'obbligo di reporting dei PFRA, così come le informazioni sono oggi meglio strutturate grazie al formato di reporting imposto dalla Direttiva alluvioni.

Tuttavia i report PFRA, da soli, non sono sufficienti a fungere da database unico europeo, anche perché le alluvioni, per loro natura, non sono contenute dai confini amministrativi, e inoltre, non sono disponibili informazioni sui paesi non-UE.

Pertanto, secondo l'EAA, ad oggi non possono essere, sulla base dei dati disponibili, tratte conclusioni circa il *trend* delle alluvioni in Europa, a causa della non omogeneità nel metodo di reporting; l'Agenzia si propone pertanto di migliorare ulteriormente la conoscenza sulle alluvioni occorse e sui loro impatti, incluse le analisi dei *trend* nelle diverse regioni europee.

Tali incertezze senza dubbio penalizzano, come già evidenziato, una chiara quantificazione dell'impatto del cambiamento in atto sul ciclo idrologico, anche perché la variabilità spaziale (tra le diverse aree geografiche, nelle diverse macroregioni climatiche), è senza dubbio elevata.

Queste incertezze si confrontano 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 e alle organizzazioni internazionali (World Economic Forum 2014), interrogati in merito alla percezione dei cambiamenti climatici e della loro connessione con gli eventi meteorologici.

Un sondaggio condotto 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 maggiore impatto, oltre a quelli economici, sono i rischi ambientali, e in particolare quelli associati ad una maggiore incidenza degli eventi meteorologici estremi, il fallimento delle misure di mitigazione e 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), i rischi antropogenici (incidenti industriali e tecnologici), le crisi idriche, il fallimento delle misure di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici.

Ai fini dell'indagine per *maggior incidenza di eventi meteorologici (alluvioni, tempeste, incendi)* si è inteso l'aumento dei danni a beni, infrastrutture e all'ambiente connesso agli sviluppi in aree soggette al pericolo e l'aumento della frequenza degli eventi, mentre per *fallimento delle misure di mitigazione e adattamento dei cambiamenti climatici* si è inteso che i governanti e 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.

Per l'Italia importanti 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 è 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.

VALUTAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL SETTORE INDUSTRIE E INFRASTRUTTURE PERICOLOSE

Le considerazioni di carattere generale riportate nel paragrafo 1.1.1 sono confermate dalle simulazioni attraverso modelli riportate nella sezione "Aree Terrestri" di questo documento, che consentono, al fine di supportare l'analisi degli impatti per il settore *Industrie e infrastrutture pericolose* oggetto di questo paragrafo, di individuare le aree del territorio nazionale che potrebbero essere esposte a variazioni climatiche tali da indurre un aumento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi, in riferimento ai valori stimati attesi per gli indicatori R20 (che restituisce una misura della frequenza delle precipitazioni intense >20mm/giorno) e R95p (ovvero il 95° percentile della distribuzione delle precipitazioni giornaliere, scelto come stima di intensità degli eventi).

Nel paragrafo 1.1.1, per quanto concerne gli eventi meteorologici estremi, si stima (in particolare sotto lo scenario RCP8.5) un aumento generalizzato della loro intensità (indicatore R95p) mentre per la frequenza (indicatore R20), le variazioni evidenziate dal modello riportano un aumento nell'Italia Centro-Settentrionale ed una riduzione nelle aree meridionali.

Gli impatti più significativi sulle attività pericolose che si attendono nel nostro Paese saranno dunque determinati dalle modifiche nel regime delle precipitazioni, caratterizzato da eventi estremi più frequenti e intensi, per tutto l'anno o nella stagione invernale o estiva, in alcune significative aree del territorio nazionale, quali le Prealpi (macroregione climatica 1), la Pianura Padana, l'alto versante adriatico e le aree costiere dell'Italia centro-meridionale (macroregione climatica 2), la Sardegna e la Sicilia (macroregione climatica 6), in cui sono localizzati oltre i ¾ degli stabilimenti con pericoli di incidenti rilevanti, nonché alcune delle importanti infrastrutture di trasporto di sostanze pericolose quali oleodotti e gasdotti; ciò comporterà maggiori rischi di allagamenti e frane, influenzando negativamente la stabilità dei terreni e di conseguenza delle infrastrutture e delle componenti principali delle attività industriali (serbatoi, apparecchiature di processo, tubazioni, etc.) localizzate in contesti instabili, o comunque vulnerabili.

Ulteriori impatti sul settore, connessi ai cambiamenti climatici, potranno inoltre derivare:

- dall'innalzamento del livello del mare, con 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;
- dall'aumento del rischio di incendi coinvolgenti infrastrutture e attività industriali pericolose a causa della maggiore frequenza di fulminazioni e di incendi boschivi nelle aree circostanti.

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 e alle tempeste (ivi compresi i detriti prodotti da questi eventi meteorologici estremi).

Tipicamente, 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 ed ecotossiche, alcune delle quali possono essere estremamente dannose anche in caso di 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 contenenti sostanze pericolose (effetto domino).

Come evidenziato nel paragrafo 1.1.1, gli eventi meteorologici estremi, riconducibili ai cambiamenti climatici, con il loro corredo di alluvioni, frane e fulminazioni, già appaiono in aumento (pur con le cautele indotte dalle incertezze dei modelli e dei sistemi di reporting degli eventi occorsi evidenziati).

Tali eventi naturali provocano nel mondo e in Europa danni ad infrastrutture e 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 forti 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 (JRC and ISDR 2004) sono riportati dettagli su molti eventi NaTech occorsi in Europa e negli USA. 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 1-56). Poiché la frequenza e l'intensità di questi fenomeni è, come in precedenza evidenziato, probabilmente destinata ad aumentare in alcune zone del Paese a causa dei cambiamenti climatici, ne consegue che gli impatti sulle infrastrutture (e.g. gasdotti, oleodotti, condotte trasportanti sostanze infiammabili o tossiche) e attività industriali pericolose (ad es. stabilimenti a rischio di incidente rilevante e altre attività produttive che utilizzano sostanze chimiche pericolose) presenti in queste aree saranno sempre più significativi.

Tabella 1-56: Eventi NaTech accaduti in Italia nel periodo 1991-2014¹⁴⁰.

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, OLIO COMBUSTIBILE	12 000	ALLUVIONE TRASCINÒ 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 SOVRAPRESSIONE 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			TRACIMAZIONE 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 INTERESSE' 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 INNECATO DA FULMINE
25/01/91	AREZZO	CONDOTTA	FRANA	RILASCIO GAS	METANO		ROTTURA CONDOTTA

¹⁴⁰ Fonte: Banca dati incidenti industriali ISPRA.

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 e infrastrutture pericolose, riportati in Tabella 1-57.

Tabella 1-57: Fattori di impatto più rilevanti per alcune tipologie di industrie e infrastrutture pericolosi.

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

Nelle valutazioni della vulnerabilità dei settori esposti ai cambiamenti climatici, 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, essendo invece prevalente la considerazione delle nuove opportunità che questi potranno offrire ad alcuni business (e.g. delle tecnologie ambientali, dei materiali di costruzione e per l'isolamento, etc.).

Tuttavia i cambiamenti climatici comportano non solo opportunità ma anche rischi, in particolare per le attività industriali che utilizzano processi e sostanze chimiche pericolosi. L'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, con il loro corredo di fulminazioni, alluvioni e frane, potrebbero direttamente produrre effetti su tali infrastrutture e attività industriali, 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 sia per i lavoratori e la popolazione che vive nelle aree circostanti, per la quale 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, etc.), sia per gli ecosistemi localizzati nelle vicinanze.

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 e 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. 49/2010, 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 all'epoca vigente D.lgs.59/2005, recepimento nazionale della normativa europea IPPC, ora sostituito dalle disposizioni per le AIA contenute nel D.lgs.152/2006 e s.m.i.). 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. 105/2015, recepimento della Direttiva europea Seveso III; 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 (Ministero dell'Interno e Regioni), 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, di un piano di emergenza esterno (prefetture) e di misure per il controllo dell'urbanizzazione nel territorio circostante (comuni). Le misure adottate dal gestore, il rapporto di sicurezza, il piano di emergenza interno e quello di emergenza esterno, includono ora, secondo le richieste esplicite della normativa nazionale emanata nel luglio 2015 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;"* (cfr. D.lgs. 105/2015 allegato 1-punto 4 a) iii e allegato C-punto C.4.1).

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 rilevante (soggetti alle norme Seveso) 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, etc.) che potrebbe aumentare di frequenza e intensità a causa dei cambiamenti climatici.

I risultati evidenziano che circa il 13% del numero totale di stabilimenti a rischio di incidente rilevante è ubicato entro 100 metri da un corpo idrico superficiale e il 6% entro 100 metri dalla linea di costa.

Focalizzando poi sugli stabilimenti (circa 500) che detengono prodotti petroliferi e altre sostanze e preparati ecotossici, 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 categorie dei prodotti petroliferi e delle altre sostanze pericolose per l'ambiente, evidenziando 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 di categoria E1 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 E2 di pericolosità per l'ambiente 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 all'accadimento di un evento NaTech che interessi queste attività.

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 in esse presenti: 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, dove, 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:

- 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;
- mancanza di stime sulle probabilità di accadimento di eventi natech (mappe di rischio), condizione necessaria per stimolare e facilitare una migliore pianificazione;
- valutazioni della vulnerabilità rispetto ai rischi tecnologici spesso affidata unicamente alla parte industriale, che spesso risultava trascurare gli eventi natech;
- permanenza anche in caso di adeguamenti degli standard per far fronte ai natech di situazioni di pericolo negli stabilimenti più vecchi;
- piani di emergenza tarati su eventi singoli e non anche sull'accadimento di eventi simultanei e multipli.

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI

Alla luce delle considerazioni svolte nei paragrafi precedenti, pur nella consapevolezza che si tratta di un settore costituito da un numero non elevatissimo di potenziali sorgenti di rischio, appaiono evidenti le connessioni esistenti con gli altri settori oggetto di attenzione del PNACC.

In primo luogo con il dissesto idrogeologico, a sua volta correlato con gli eventi meteorologici estremi, e che dunque può costituire causa diretta (o concausa) dell'accadimento degli eventi NaTech (tipicamente per frana, inondazione o fulminazione) che conducono al rilascio nell'ambiente di sostanze pericolose.

Vi sono poi da considerare le connessioni dovute agli impatti conseguenti all'accadimento degli eventi NaTech riconducibili ai cambiamenti climatici (in quanto questi potrebbero determinarne una maggiore frequenza o intensità) su altri settori quali:

- le risorse idriche per l'approvvigionamento di acque potabili per usi civili o per usi industriali (ad es. industria alimentare);
- gli ecosistemi terrestri, marini, di acque interne o di transizione, in stretta relazione con la localizzazione dell'industria o dell'infrastruttura;
- i settori economici e produttivi, quali l'agricoltura, la pesca, il turismo, in relazione oltre che alla localizzazione della attività, alla natura delle sostanze pericolose rilasciate nell'ambiente;
- la produzione di energia, specie per ciò che riguarda gli impatti possibili su infrastrutture strategiche quali gli oleodotti o i gasdotti e i nodi e le linee della rete di distribuzione elettrica;
- la salute umana, direttamente (come effetto dell'incendio, dell'esplosione o del rilascio di sostanze tossiche), o indirettamente (attraverso le acque potabili e la catena alimentare, o l'interruzione di servizi essenziali).

Infine, la localizzazione di molte di queste attività pericolose in contesti urbani o sub-urbani, o comunque in aree urbanizzate, conseguenza della geografia fisica ed umana del nostro Paese, nonché della storia dello sviluppo del nostro sistema industriale e infrastrutturale, fanno identificare come settore connesso anche quello degli insediamenti urbani.

NORMATIVE, PIANI E PROGRAMMI ESISTENTI PER L'ADATTAMENTO

Preso atto dei punti deboli evidenziati precedentemente, successive iniziative in ambito Unione europea (ad es. Direttiva 2007/60/CE "alluvioni") e OECD (workshop nel 2012 e 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 (ad es. 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 e inondazioni; 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 ed è stata inoltre predisposta una specifica Linea guida per i gestori dei siti pericolosi per fronteggiare al meglio eventuali inondazioni.

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 e 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. art.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 stata finora presa in considerazione solo in termini preliminari e parziali, facendo riferimento soltanto parzialmente ai fenomeni di cambiamento climatico sopra indicati, ovvero rinviando la presa in considerazione del loro eventuale impatto sul rischio di inondazione ai successivi cicli di aggiornamento della pianificazione, quando saranno disponibili dati, procedure e scenari più definiti e omogenei a livello nazionale.

Ciò 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.

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 recepita nel luglio 2015 dal D.lgs. 105/2015), 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 soggetti alla Direttiva europea Seveso o IPPC - oggi IED - in quanto ritenuti tutti in grado di provocare gravi disastri ecologico-ambientali o perdite di vite umane).

Per gli stabilimenti assoggettati al D.lgs. 105/2015, sviluppi sono attesi dagli esiti delle attività di controllo, avviate nel 2016, e aventi ad oggetto i rapporti di sicurezza sui rischi di incidenti rilevanti elaborati dai gestori, ma non sono ancora disponibili informazioni di dettaglio in merito.

Tra le iniziative in corso a livello nazionale, sia pure inserita in un quadro più ampio, in quanto rivolta all'ambito industriale ma non specificamente rivolta alle infrastrutture e industrie pericolose, va segnalato il progetto LIFE IRIS – *Improve resilience of industry sector* (LIFE14 CCA/IT/000663)¹⁴¹, coordinato da ERVET SpA - Emilia Romagna Valorizzazione Economica Territorio con partners quali: CAP (Consorzio Attività Produttive Aree e Servizi), ERGO S.r.l., Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento Sant'Anna, Carlsberg Italia, TerrAria s.r.l., SIPRO (Agenzia Provinciale per lo Sviluppo).

Il progetto si prefigge di sostenere le aziende, specialmente le PMI, nel diventare più resilienti al cambiamento climatico, mirando ad individuare e implementare misure di adattamento al cambiamento climatico. L'approccio scelto dal progetto è quello di *cluster* e quindi la fase di sperimentazione avrà luogo su gruppi di imprese, intesi con una duplice valenza: imprese appartenenti ad una stessa area produttiva - imprese afferenti ad una stessa filiera produttiva.

Per il primo filone di sperimentazione, sono state scelte due realtà industriali emiliano-romagnole nelle province di Modena e di Ferrara, mentre per la filiera è stata coinvolta una delle maggiori imprese nella produzione della birra, ubicata in Lombardia ma la cui filiera, dai fornitori agli utilizzatori finali, spazia a livello internazionale.

Tra i principali obiettivi del progetto LIFE-IRIS vi sono quelli di promuovere azioni di adattamento climatico nel settore industriale, contribuire a sviluppare un'economia a basse emissioni di carbonio, efficiente nel consumo di risorse e che promuova l'adattabilità ai cambiamenti climatici, incentivare la diffusione di strumenti finanziari per premiare le imprese resilienti o appartenenti a cluster industriali resilienti, aumentare la consapevolezza degli operatori industriali e finanziari sugli effetti del cambiamento climatico, trovare sinergie tra le misure di adattamento climatico e altre politiche ambientali.

Il progetto, che si sviluppa nel periodo 2015-2019, prevede le seguenti azioni, per ogni area industriale/filiera:

- analisi del rischio dovuto ai cambiamenti climatici;
- realizzazione di un piano d'azione di adattamento climatico;
- diffusione di uno strumento finanziario per la valutazione del rischio di credito dovuto ai cambiamenti climatici;
- creazione e diffusione di un portale web contenente strumenti utili per l'adattamento climatico.

I risultati ottenuti potranno dunque indubbiamente costituire un riferimento utile per questo settore.

¹⁴¹ <http://www.lifeiris.eu/>

INFRASTRUTTURA CRITICA – PATRIMONIO CULTURALE

SINTESI

La conoscenza dell'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale in Italia si basa, innanzi tutto, sull'identificazione dei parametri climatici prioritari che ne determinano il degrado sia in ambiente esterno (principalmente patrimonio architettonico, archeologico, etc.) che in ambiente interno (musei, chiese, ipogei, etc.).

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 (patrimonio architettonico, archeologico, etc.) che in ambiente interno (musei, chiese, ipogei, etc.). 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, etc.).

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 CO₂ 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.

INTRODUZIONE

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.

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, e 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 (i.e. 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 i.e. acidità delle precipitazioni e concentrazione di gas, quali SO₂, CO₂, HNO₃ e O₃ (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 data base 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.

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 MiBACT (Clarelli et al. 2008; Giavarini et al. 2008).

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 monomateriali.

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 19 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 E VALUTAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL PATRIMONIO CULTURALE

Materiali lapidei

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 and 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 CO₂ atmosferica e con specie gassose presenti in atmosfera (NO_x e SO₂ 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 CO₂ 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 CO₂. 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, i.e. 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, i.e. 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 and 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 µg·m⁻³. Nel prossimo futuro è prevista una riduzione nella concentrazione di CE come risultato delle direttive vigenti per il controllo di PM₁₀ e PM_{2,5}. Va però notato che gli strati di degrado recenti hanno un maggiore contenuto in carbonio organico (CO) e un colore differente (i.e. 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). 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 esempio, 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 and Laurenzi 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 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 (Bonazza et al., 2009; Sabbioni et al., 2008). 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 e 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 un'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 (e.g. 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, etc. 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, e 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:

- danno meccanico causato da variazioni climatiche, principalmente umidità relativa;
- 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 essiccamento 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 ogniquale volta 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:

- l'effetto combinato di temperatura e inquinamento da SO_2 specificatamente per l'acciaio, ma indicativo anche della corrosione del bronzo;
- 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_2

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' (i.e. 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 $300 \text{ mg m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$, 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 (i.e. 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 sono tra le 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 geologico, idrologico e idraulico”.

Le alluvioni producono danni agli edifici e alle infrastrutture del patrimonio culturale a causa di carichi statici e dinamici (i.e. 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 e 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 “Dissesto geologico, idrologico e idraulico”.

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 dell'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 reggie, 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 e 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 1-58 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.

Tabella 1-58: Applicazioni e implementazione della Scheda Ambientale (SA) (1999-2009).

Caso studio	Periodo	Obiettivo	Sviluppo della scheda SA
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 etc.).
Napoli – Museo Archeologico Nazionale (Area depositi)	2003-2006	Migliorare le condizioni ambientali per la conservazione delle pitture murali romane di Ercolano,	Necessità di migliorare la metodologia di monitoraggio chimico della qualità dell'aria. Validazione del periodo di tempo per il monitoraggio entomologico.

		Pompei e Stabia.	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 etc.
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.

CONNESSIONI CON ALTRI SETTORI

Le intersezioni tra il patrimonio e il paesaggio culturale e le tematiche trattate negli altri capitoli sono notevoli ed emerge la forte necessità di coordinare le azioni che possono avere incidenza sull'infrastruttura critica del patrimonio culturale.

In particolare, si fa riferimento agli impatti dovuti ai cambiamenti climatici, alla valutazione dei rischi e alle strategie di adattamento riportate nei seguenti capitoli: Risorse Idriche; Desertificazione; Dissesto geologico, idrologico e idraulico; Ecosistemi terrestri; Foreste; Agricoltura e produzione alimentare; Acquacoltura; Pesca marittima; Zone costiere. Si raccomanda quindi di curare il massimo coordinamento al fine di assicurare le esigenze della protezione, tutela e conservazione del patrimonio culturale e del paesaggio, primario bene nazionale costituzionalmente protetto.

ENERGIA

SINTESI

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. È 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.

Per quanto riguarda invece la produzione di energia elettrica, l'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi legati ai cambiamenti climatici potrebbe portare a una riduzione della capacità produttiva degli impianti termoelettrici, mentre il funzionamento degli impianti idroelettrici sarebbe caratterizzato da un aumento della variabilità - con conseguenti problemi dal punto di vista gestionale - e a possibili riduzioni nella produzione di elettricità.

INTRODUZIONE

Il settore energetico rappresenta un esempio di settore economico particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici, come effetto, da un lato, dell'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.

L'Italia¹⁴² è il quarto consumatore di energia in termini assoluti nell'Unione Europea (151 Mtep, il 48.1% dei consumi del maggior consumatore, la Germania, e il 9.4% dei consumi di tutta l'Unione). Tuttavia in termini di consumo pro capite è tra i più sobri (2.5 tep/abitante contro i 3.9 della Germania, i 5 della Svezia e i 3.2 di media europea). Il sistema produttivo è anche esso piuttosto efficiente, visto che l'intensità energetica del PIL è di 116.8 tep per milione di Euro di PIL, contro i 141.7 della media UE e i 353.8 della Repubblica Ceca. Il 17.1% dei consumi energetici italiani nel 2014 era coperto da fonti rinnovabili, in linea con il target per il 2020.

Il picco dei consumi elettrici¹⁴³ tende dal 2003 in poi ad avere luogo nel periodo estivo invece che nel periodo invernale, segno che ad un progressivo aumento percepito delle temperature estive la popolazione italiana risponde con maggiore diffusione e utilizzo degli impianti di condizionamento. Il record assoluto si è registrato il 22 Luglio 2015 alle 15, con un carico di 60491 MW, il valore più alto registrato dal 2007 (56822 MW). Circa il 40% di tale domanda di punta è stata coperta da fonti rinnovabili. Il fatto che il ricorso alle rinnovabili, che come vedremo sono particolarmente vulnerabili rispetto ai cambiamenti climatici, sia maggiore quando maggiore è lo stress climatico, è un ulteriore fonte di preoccupazione per l'esposizione del sistema energetico italiano ai rischi connessi ai cambiamenti climatici.

Secondo i dati Enea, la produzione di energia elettrica (279.83 TWh nel 2014) avviene tramite generazione termoelettrica (56%), idrica (21,5%), fotovoltaica (8%), da biomasse (6,7%), eolica (5,4) e geotermica (2,1%). La produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili non è uniforme sul territorio ma si concentra principalmente in Lombardia (22.7%), Emilia Romagna (14.6%), Veneto (10.2%), Piemonte (9.3%) e Puglia

¹⁴² Fonte: ENEA 2016. I dati sono riferiti al 2014, tranne l'intensità energetica che è riferita al 2013.

¹⁴³ Fonte: Terna 2016.

(8.8%). Valle d'Aosta e Trentino Alto Adige, pur non essendo tra i maggiori produttori hanno un notevole surplus di produzione di elettricità da rinnovabili, esportando fuori dal loro territorio, rispettivamente il doppio e lo stesso ammontare di quanto consumato.

Questo capitolo tratta di due temi principali: gli impatti del cambiamento climatico sul settore energetico italiano, e le eventuali azioni messe in campo per contrastarne gli effetti indesiderati. In particolare la prossima sezione guarda agli impatti dal lato della domanda, con l'ausilio delle più aggiornate proiezioni per le anomalie dei gradi giorno per riscaldamento e raffrescamento (si veda più avanti la definizione di tali indicatori), calcolate dal CMCC. Segue la trattazione degli impatti sul lato dell'offerta energetica, sia sulla produzione che sulla trasmissione e distribuzione. Il capitolo si chiude con una tabella riassuntiva dei principali impatti per il settore energetico (Tabella 1-59).

In linea con l'approccio generale del presente Piano, si evidenzia che questo capitolo si concentrerà sugli aspetti del settore energetico rilevanti per l'*adattamento* ai cambiamenti climatici e si prescinderà per quanto possibile dalle misure di mitigazione. Tuttavia il settore energetico è probabilmente, assieme ai trasporti, quello in cui gli aspetti di mitigazione sono più intrinsecamente legati all'attività e agli investimenti del settore, vista la primaria responsabilità dello stesso nella generazione di emissioni climalteranti e viste le opzioni di mitigazione offerte dall'efficienza energetica e dalle fonti energetiche rinnovabili. È quindi evidente che un approccio integrato che consideri mitigazione e adattamento assieme è particolarmente indicato in questo caso, ma non può essere trattato esaurientemente in questa sede. Tuttavia nel seguito di questa sezione e nella parte sull'Energia della sezione 2, pur non trattando esplicitamente aspetti di mitigazione, verranno suggerite misure che giocoforza li presuppongono, in particolare quelle relative alla gestione della domanda residenziale, alle fonti rinnovabili e alle misure a sostegno della resilienza del sistema energetico.

IMPATTI SULLA DOMANDA DI ENERGIA

Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento

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 (Mima and Criqui 2015).

La dipendenza dalla temperatura esterna della domanda di riscaldamento e di raffrescamento viene espressa attraverso i gradi-giorno. In letteratura esistono diverse definizioni di questi indicatori; nel presente paragrafo si è deciso di utilizzare la definizione dei gradi giorno relativi al riscaldamento (HDD, *Heating Degree Days*) utilizzata da EUROSTAT¹⁴⁴ e la definizione dei gradi giorno relativi al raffrescamento (CDD, *Cooling Degree Days*) utilizzati da JRC.

In particolare, i gradi giorno di riscaldamento sono la sommatoria, estesa a tutti i giorni dell'anno che abbiano una temperatura media (calcolata come la somma tra il valore minimo e il valore massimo della temperatura giornaliera diviso 2) inferiore o uguale ad una soglia pari a 15 °C, delle differenze tra la temperatura interna dell'ambiente da riscaldare, per la quale si assume un valore di riferimento (ad esempio, 18 °C o 20 °C), e la temperatura esterna; parallelamente, i gradi-giorno di raffrescamento sono la sommatoria, estesa a tutti i giorni dell'anno che abbiano una temperatura media (calcolata come la somma tra il valore minimo e il valore massimo della temperatura giornaliera diviso 2) superiore o uguale ad una

¹⁴⁴ Disponibile al link http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_esdgr_esms.htm

soglia pari a 24 °C, delle differenze tra la temperatura esterna e quella interna dell'ambiente da raffrescare, per la quale si assume un valore di riferimento (ad esempio, 21 °C o 24 °C).

Le possibili variazioni future della domanda di riscaldamento e di raffrescamento possono essere valutate studiando l'anomalia dei gradi-giorno di riscaldamento e di raffrescamento su un trentennio futuro rispetto ad un periodo di riferimento sulla base di diversi scenari climatici.

A livello europeo, l'andamento nel tempo dei gradi-giorno di raffrescamento e di riscaldamento è stato studiato 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 ENSEMBLES¹⁴⁵ 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 (IPCC 2007b; Giannakopoulos et al. 2009b). Il numero di giorni nei quali sarà richiesto un elevato riscaldamento potrà diminuire di circa 20 giorni nel periodo 2021-2050.

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 Climate Cost (Mima et al. 2011). Climate Cost 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 and 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 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

¹⁴⁵ Per informazioni sul progetto ENSEMBLES, si può fare riferimento al sito web <http://www.ensembles-eu.org>.

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.

Per una valutazione preliminare dell'andamento della domanda di energia per riscaldamento e per raffrescamento sul territorio italiano, si può fare riferimento ai dati riportati qui di seguito, che rappresentano le anomalie annuali medie di HDD e di CDD. Le anomalie sono state calcolate dal CMCC per il trentennio 2021-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010, considerando i due scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5 a partire dai dati simulati dal modello climatico regionale COSMO-CLM (alla risoluzione di circa 8 km), forzato dal modello globale CMCC-CM (risoluzione orizzontale 80 km). Per HDD è stato utilizzato un valore soglia di 15 °C e una temperatura di riferimento di 18 °C, mentre per CDD è stato utilizzato un valore soglia di 24 °C e un valore di riferimento di 21 °C.

La Figura 1-81 e la Figura 1-82 evidenziano alcuni elementi interessanti. In primo luogo, lo scenario RCP8.5 implica un maggiore impatto in termini di HDD (quindi un maggior risparmio di energia per il riscaldamento), rispetto allo scenario RCP4.5. Per gli HDD si riscontrano anomalie molto forti in entrambi gli scenari nelle zone montane, ma comunque rilevanti su tutto il territorio nazionale per lo scenario RCP8.5, mentre nello scenario RCP4.5 il risparmio appare contenuto per le aree pianeggianti e costiere.

Al contrario, per i CDD, le anomalie più forti sono nelle aree costiere, in particolare in Sardegna, Sicilia (in particolare intorno a Catania), Calabria Ionica e Puglia. In questo caso l'effetto nelle aree montane appare modesto anche in virtù del valore di soglia utilizzato: per quanto le temperature medie vi subiranno un aumento medio maggiore che altrove in Italia, nelle Alpi e negli Appennini i 24 °C di media giornaliera saranno più raramente superati che altrove.

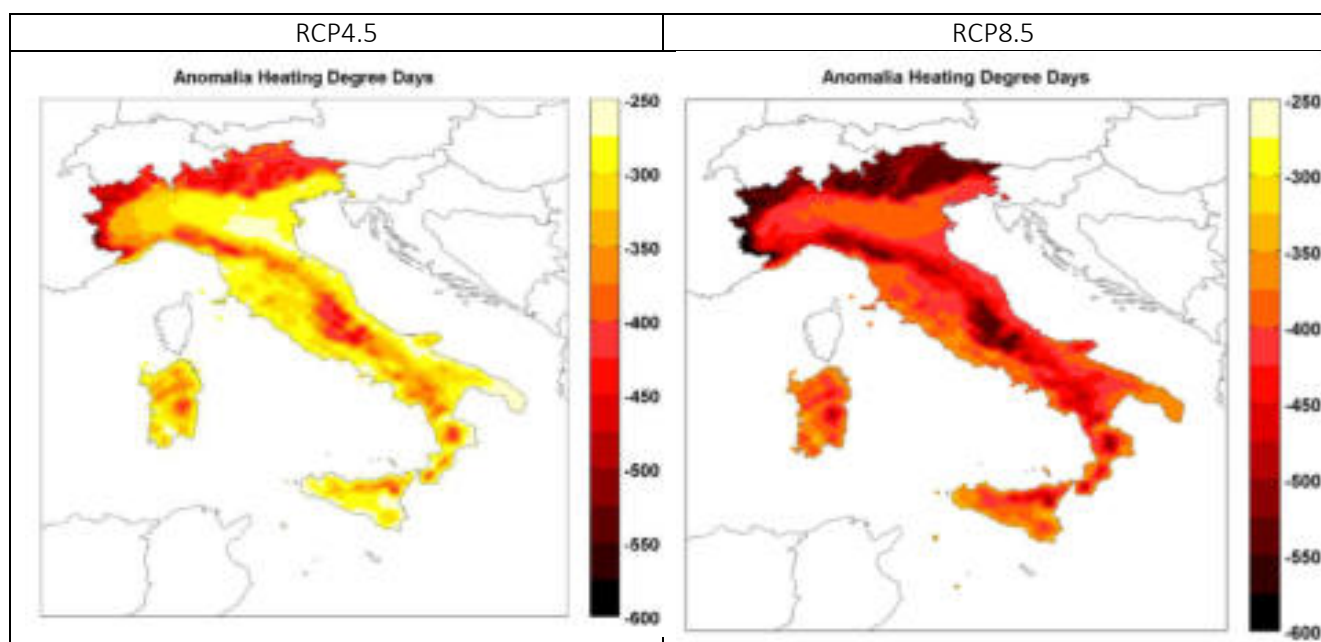


Figura 1-81: Anomalie medie annue di HDD per il trentennio 2011-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010 (RCP4.5/RCP8.5)¹⁴⁶.

¹⁴⁶ Fonte: CMCC, metodologia EUROSTAT/JRC.

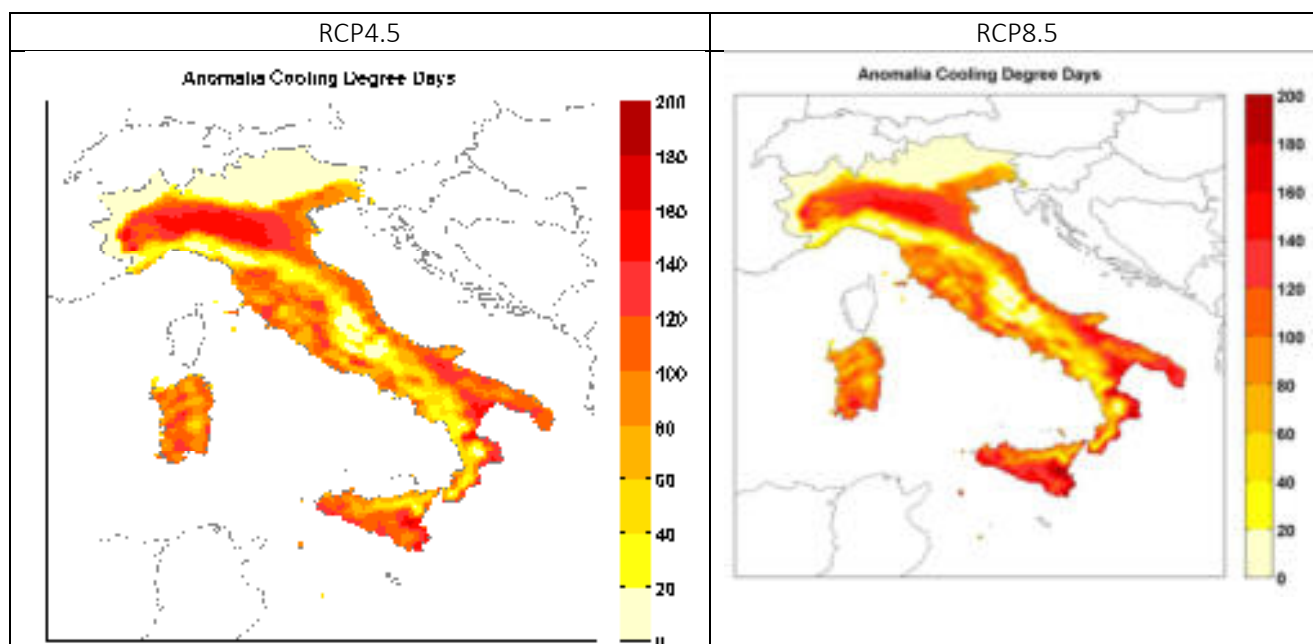


Figura 1-82: Anomalie medie annue di CDD per il trentennio 2011-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010 (RCP4.5/RCP8.5). Fonte: CMCC, metodologia EUROSTAT/JRC.

In termini di macroregioni climatiche di riferimento, il dettaglio della possibile evoluzione della situazione è presentato nella Figura 1-83 per gli HDD e nella Figura 1-84 per i CDD. Per brevità si presenta solo lo scenario RCP4.5, ma come notato sopra, lo scenario RCP8.5 è qualitativamente simile, confermando e rafforzando i risultati del precedente.

Dalla Figura 1-83 appare chiaro che le aree maggiormente interessate dal risparmio energetico per il ridotto fabbisogno da riscaldamento saranno le macroregioni 3, 4 e 5, corrispondenti appunto alle aree montane dell'Italia continentale e peninsulare. Va notato che in questo caso la macroregione 6 non appare omogenea in termini di anomalia, contenendo al suo interno sia le zone costiere del sud e delle isole in cui l'effetto è minimo, sia le aree interne montane di quest'ultime, dove invece l'effetto, se non ai livelli delle Alpi, è comunque non trascurabile.

Per quanto riguarda il fabbisogno per raffrescamento, la Figura 1-84 illustra come le aree maggiormente interessate saranno la macroregione 2, la macroregione 6, e in maniera leggermente più contenuta, la macroregione 1: in sostanza, di nuovo le coste e le zone pianeggianti o di (bassa) collina.

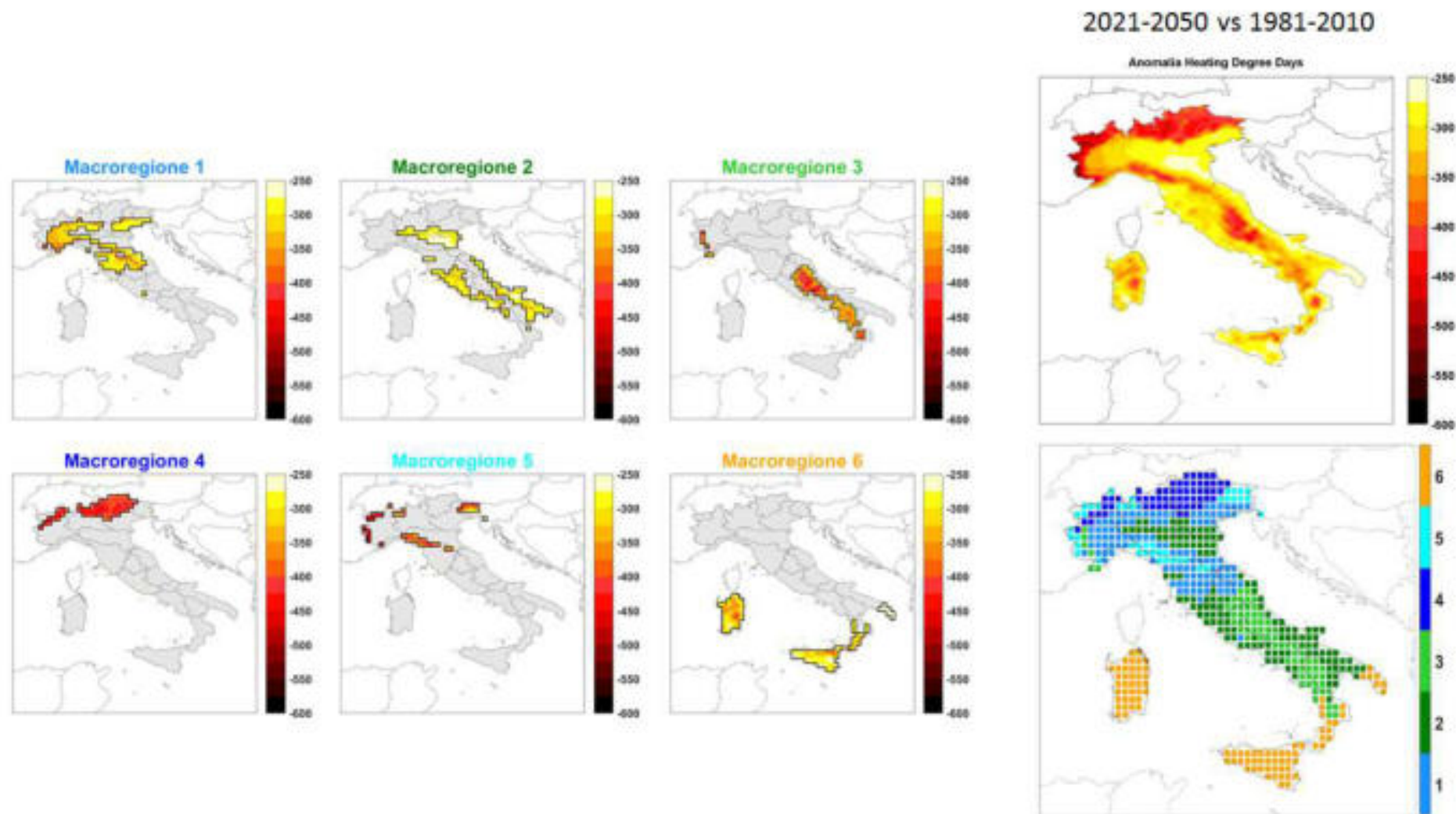


Figura 1-83: HDD e macroregioni climatiche di riferimento, scenario RCP4.5. Variazione periodo 2021-2050 rispetto al 1981-2010¹⁴⁷.

¹⁴⁷ Fonte: CMCC, metodologia EUROSTAT/JRC.

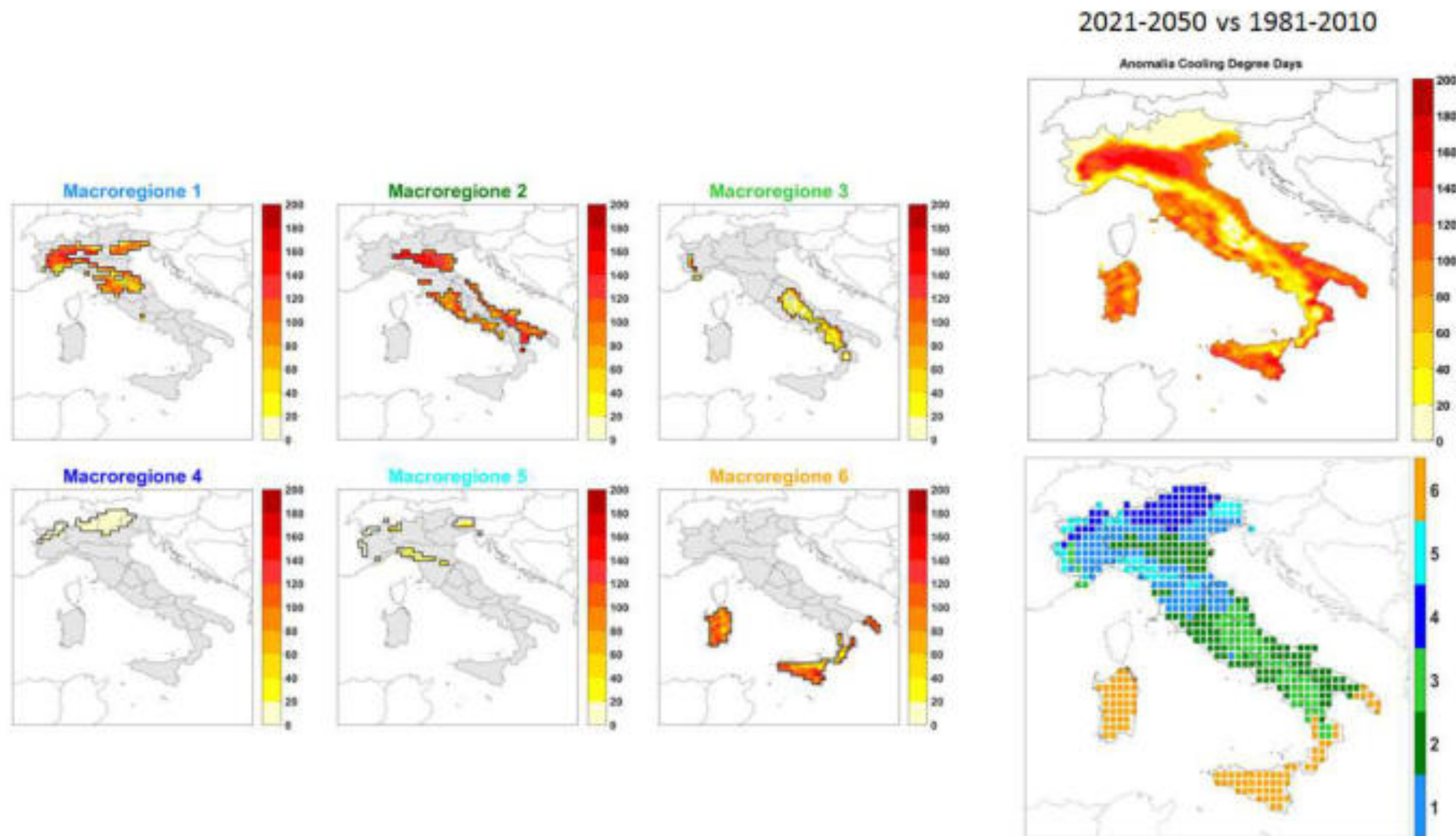


Figura 1-84: CDD e macroregioni climatiche di riferimento, scenario RCP4.5. Variazione periodo 2021-2050 rispetto al 1981-2010¹⁴⁸.

¹⁴⁸ Fonte: CMCC, metodologia EUROSTAT/JRC.

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 ed, infine, aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi di temperatura. La frequenza di questi eventi, sulla base delle 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. Alcuni di questi rischi sono risultati evidenti all'opinione pubblica anche in Italia. Infatti, nelle estati dal 2003 in avanti, in coincidenza con periodi siccitosi si sono spesso verificati problemi al funzionamento di alcune centrali – soprattutto lungo il Po – e in qualche caso ci sono stati anche rischi di interruzione della fornitura.

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 (siccità e ondate di calore) 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%, potrebbe aumentare all'incirca di un fattore tre.

Sul territorio italiano, gli impatti dei trend climatici considerati sulla produzione termoelettrica potrebbero risultare abbastanza significativi, dal momento che la maggior parte della capacità di generazione termoelettrica tradizionale alimentata con combustibili fossili è raffreddata con acqua fluviale (solo il 45.8% degli impianti di potenzialità superiore ai 2 MW è localizzato in zone costiere). Una valutazione qualitativa della suscettibilità della produzione termoelettrica italiana nei confronti di episodi di siccità può essere ricavata dalla Figura 1-85, che confronta la localizzazione degli impianti termoelettrici italiani di capacità superiore ai 20 MW con l'anomalia della precipitazione cumulata nei mesi estivi (giugno luglio, agosto), nei quali è maggiormente probabile il verificarsi di tali episodi. Anche in questo caso, l'anomalia è quella relativa al trentennio 2021-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010 (scenario IPCC RCP4.5). Il confronto delle due figure conferma, ad esempio, il bacino padano (Piemonte orientale ed Emilia in particolare) come area particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici per la produzione termoelettrica

e segnala l'opportunità di analisi più approfondite, che tengano conto delle possibili variazioni relative alla frequenza, all'intensità e alla durata degli episodi di siccità. In termini delle aree climatiche di riferimento, questa condizione sembra riguardare parzialmente la macroregione 2. Anche il Sud Italia (macroregione 6) appare vulnerabile perché la minore presenza di impianti di generazione ha luogo in aree fortemente esposte alla riduzione delle precipitazioni. In aggiunta, l'eventuale riduzione di produzione in queste aree può essere difficilmente compensata da quella del resto d'Italia principalmente a causa di due fattori: assenza di importanti incrementi della capacità della rete di trasmissione e/o di importanti incrementi della micro-generazione da fonti rinnovabili locali (che però possono costituire a loro volta un fattore di congestione della rete).

Uno studio recente ha preso in esame, in particolare, gli impatti dei cambiamenti climatici sulle portate del fiume Po attraverso un insieme di simulazioni relative alle variabili climatiche, idrologiche e al bilancio idrico, continue nello spazio e nel tempo (Vezzoli et al. 2015). Lo studio ha messo in evidenza che, in assenza di misure di adattamento, il bacino fluviale del Po è destinato ad affrontare una generale riduzione delle disponibilità idriche, in particolare nella stagione estiva, con un aumento della durata dei periodi caratterizzati da portate fluviali ridotte. Nel periodo 2071-2100, la riduzione delle portate nel periodo da maggio a novembre risulterebbe ancora più accentuata che nel periodo 2041-2070, mentre nella restante parte dell'anno, le portate dovrebbero aumentare fino al 60%.

Per quanto riguarda invece gli impianti termoelettrici localizzati in zone costiere e raffreddati con acqua di mare, il loro funzionamento è destinato a subire le conseguenze di un progressivo aumento della frequenza delle inondazioni costiere, accentuato dall'aumento del livello del mare. Entro la fine del secolo, eventi attualmente caratterizzati da un tempo di ritorno di 100 anni potrebbero verificarsi ogni 2-8 anni (Forzieri et al. 2016), con evidenti implicazioni sulla vulnerabilità degli impianti esistenti ma anche in termini di aree disponibili per la localizzazione di ulteriori impianti.

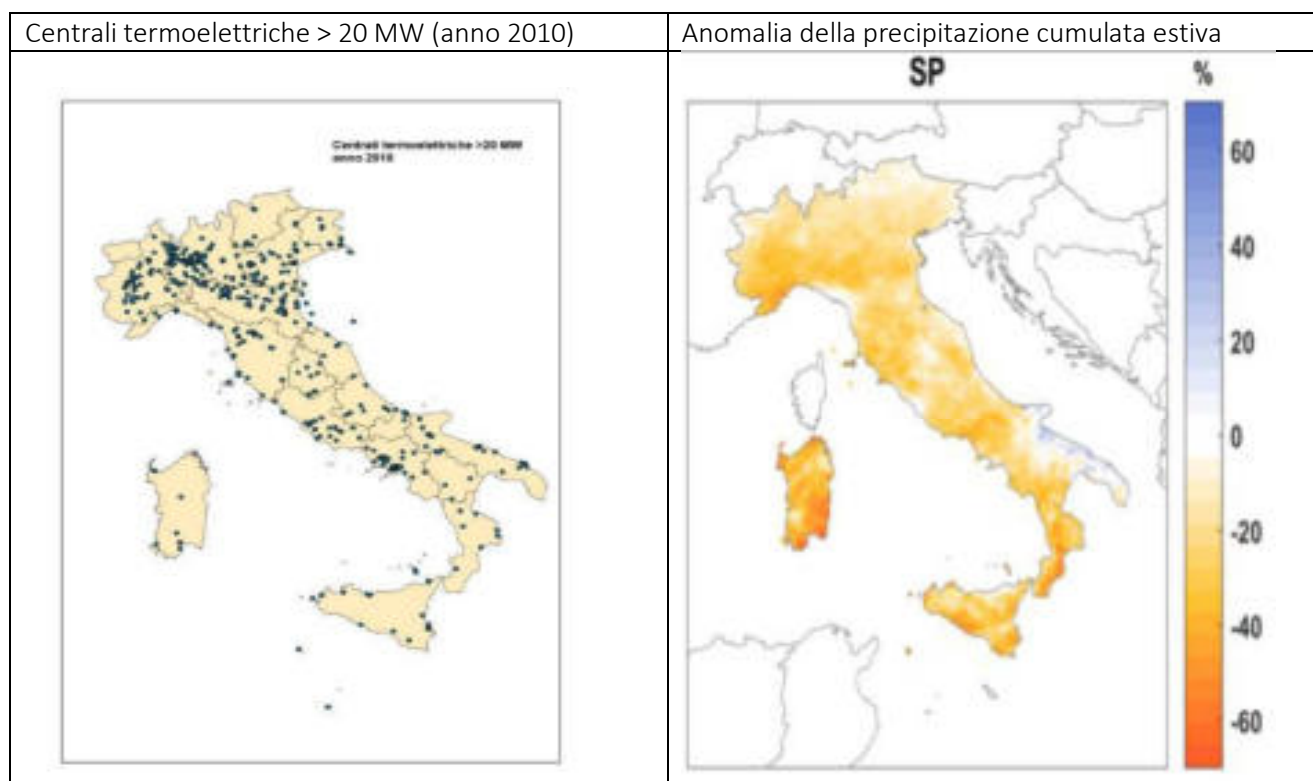


Figura 1-85: Localizzazione degli impianti termoelettrici e anomalia prevista per la precipitazione cumulata nei mesi estivi (giugno, luglio, agosto)¹⁴⁹.

¹⁴⁹ Fonte: elaborazioni ISPRA (pannello sinistro) e CMCC (pannello destro).

Impatti sulla produzione da fonti rinnovabili

Per quanto riguarda le variabili climatiche che influiscono sulla produzione idroelettrica, l'analisi degli scenari climatici forniti da alcuni modelli climatici regionali per i periodi 2021-2050 e 2071-2100, in corrispondenza dei due scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5, mette in evidenza una tendenza all'incremento dell'intensità e della frequenza degli eventi estremi di precipitazione (anche se la distribuzione a livello regionale di queste variazioni risulta caratterizzata da una notevole incertezza, soprattutto nel breve periodo), accompagnata da una riduzione della precipitazione cumulata, più probabile nell'Italia centrale e meridionale (Bonanno and Faggian 2016). Questi due impatti, combinati, potrebbero portare, oltre che a una maggiore difficoltà nella gestione degli impianti, anche a una riduzione della produzione idroelettrica ben superiore a quella che ci si potrebbe aspettare sulla base della sola riduzione delle precipitazioni, soprattutto se alcuni invasi dovessero essere chiusi per la mancanza di condizioni economiche per il loro sfruttamento.

Queste difficoltà riguarderebbero soprattutto gli impianti ad acqua fluente, con aumento dei tempi di inattività. Per gli impianti ad accumulo, la disponibilità di adeguati volumi di stoccaggio potrebbe giocare un ruolo fondamentale per l'affidabilità del sistema elettrico nel suo insieme, non solo in relazione alla variabilità delle disponibilità idriche ma anche per l'andamento discontinuo della domanda di elettricità e la presenza crescente di numerose fonti energetiche rinnovabili con caratteristiche intermittenti.

Una valutazione preliminare del possibile impatto della variazione dei regimi pluviometrici sulla produzione idroelettrica sul territorio italiano può essere ricavata dalla Figura 1-86, che rappresenta la distribuzione a livello provinciale della produzione idroelettrica a fine 2014, confrontata con l'anomalia prevista per la precipitazione cumulata nei mesi invernali (dicembre, gennaio, febbraio), per il trentennio 2021-2050 rispetto al trentennio di riferimento 1981-2010 (scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5). La figura evidenzia una netta riduzione delle precipitazioni nell'arco alpino nello scenario RCP4.5, che non risulta però confermata nello scenario RCP8.5. Ovviamente, l'analisi andrebbe approfondita tenendo conto della portata dei corsi d'acqua sui quali insistono gli impianti e degli effetti della normativa sul deflusso minimo vitale.

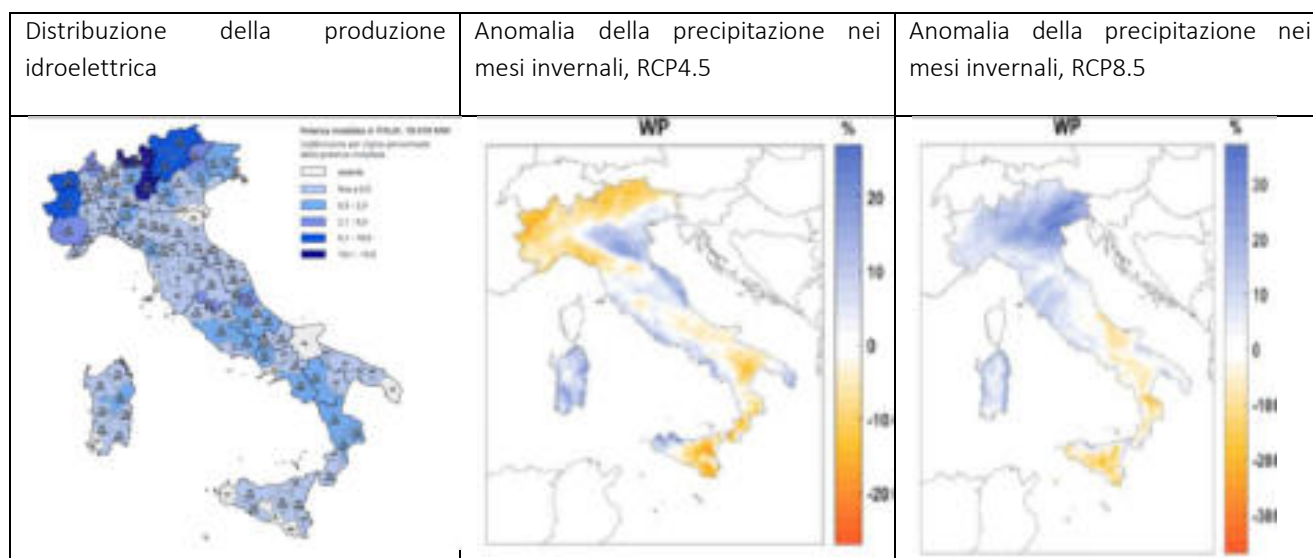


Figura 1-86: Distribuzione a livello provinciale della produzione idroelettrica a fine 2014 e anomalia prevista per la precipitazione cumulata nei mesi invernali (dicembre, gennaio, febbraio)¹⁵⁰.

¹⁵⁰ Fonti: GSE - Rapporto Statistico – Energia da fonti rinnovabili - Anno 2014 (pannello sinistro) e CMCC (pannelli centrale e destro).

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. In particolare per il fotovoltaico un recente studio (Jerez et al. 2015) sugli impatti del cambiamento climatico su questo settore in Europa evidenzia conseguenze molto diverse tra le varie regioni europee. Lo studio si basa sugli scenari RCP4.5 e RCP8.5 simulati tramite l'ensemble EURO-CORDEX e disaggregati ad una griglia di 0.11° di latitudine e longitudine. I *driver* climatici considerati sono l'irradiazione solare, la temperatura dell'aria e la velocità del vento (questi ultimi due perché possono influenzare l'efficienza dei pannelli).

Lo studio evidenzia un probabile impatto significativo sulle regioni scandinave, con diminuzione della produzione intorno al 10-12% a fine secolo, un piccolo incremento della produzione e un piccolo miglioramento della stabilità delle condizioni operative giornaliere per il sud Europa, Italia compresa; miglioramento che, comunque, non è significativamente diverso da zero almeno fino al 2040. Lo studio in generale conclude che gli aspetti non legati al clima del settore fotovoltaico Europeo saranno di gran lunga più rilevanti degli impatti del cambiamento climatico nel determinarne lo sviluppo nei prossimi decenni.

Impatti sulla trasmissione e sulla distribuzione di energia elettrica

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 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 dell'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.

PIANIFICAZIONE SOSTENIBILE PER IL SETTORE ENERGETICO

Molte infrastrutture energetiche sono caratterizzate da una vita media abbastanza lunga (tra i 20 e i 90 anni) e questo fa sì che esse siano particolarmente esposte ai cambiamenti a lungo termine. È 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 Valutazione di Impatto Ambientale (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. 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 la garanzia della resilienza delle infrastrutture nei confronti dei cambiamenti climatici corrisponde anche a un'importante forma di garanzia degli investimenti privati.

Una delle azioni previste dalla Strategia europea di adattamento ai cambiamenti climatici dell'aprile 2013 riguarda proprio la promozione di prodotti assicurativi e altri prodotti finanziari innovativi come strumento indispensabile per garantire la resilienza di decisioni commerciali e d'investimento. Anche il settore pubblico può contribuire alla riduzione dei rischi legati agli eventi meteorologici estremi, come dimostra l'esperienza del *National Flood Insurance Program* (NFIP) negli Stati Uniti.

Di seguito sono presentate le azioni di adattamento già intraprese dal settore, suddivise secondo le diverse tecnologie. Inoltre vengono indicate misure finalizzate ad aumentare la resilienza del sistema e per il trasferimento del rischio del settore.

Box 1-3 Resilienza del settore Elettrico¹⁵¹

Nel corso degli ultimi anni, si è registrato un notevole aumento dell'intensità e della frequenza di accadimento di eventi meteorologici severi e di vasta estensione, con notevole impatto sull'erogazione del servizio di fornitura dell'energia. In questo contesto, l'Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico ha avviato nel 2016 una serie di iniziative al fine di aumentare la resilienza del sistema elettrico di trasmissione e distribuzione.

La resilienza di una rete elettrica è definibile come la sua capacità di resistere ad eventi estremi (meteorologici ma non solo) e la sua capacità di contenere gli effetti di dette calamità in termini di numero di clienti coinvolti e tempi di ripristino.

Può quindi essere incrementata agendo sia sulla robustezza dei singoli componenti, sia sulla struttura della rete per stabilire vie alternative di alimentazione, sia sul sistema di telecontrollo che consente di effettuare manovre da remoto, sia sulle procedure organizzative da adottare in condizione di emergenza.

La corretta combinazione di queste quattro leve consente di limitare al massimo i disservizi in caso di eventi estremi.

Vale la pena sottolineare che altri fenomeni atmosferici, come le ondate di calore che si sono acuite e intensificate negli ultimi anni, costituiscono una minaccia per le reti elettriche in cavo interrato, tipiche delle aree metropolitane, che sono immuni a fenomeni nevosi sopra citati.

Gestione della 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.

Gestione della trasmissione e della distribuzione di energia elettrica

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulla trasmissione e sulla distribuzione della rete elettrica non sono stati fino ad oggi considerati nella progettazione e nella gestione, per un complesso di cause. 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.

¹⁵¹ Si ringrazia Enel per i commenti al documento per la consultazione pubblica e per l'utile contributo su questo tema.

Oltre alle misure specifiche relative alle reti elettriche, sono di interesse tutte le misure tendenti a favorire la generazione distribuita e a limitare i picchi di domanda.

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, generalmente, 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. 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 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" (Presidenza del Consiglio dei Ministri 2007), 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. La predisposizione di azioni 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. L'incremento della variabilità delle precipitazioni e, di conseguenza, delle disponibilità idriche potrebbe essere contrastato attraverso un aumento dei volumi dei serbatoi di stoccaggio nella gestione ordinaria; per conseguire questo obiettivo potrà essere necessario sviluppare programmi di incentivazione economica

per lo sviluppo di nuova capacità di stoccaggi, data la scarsità di nuovi siti economicamente sostenibili. La possibilità di realizzare reti di bacini interconnesse su scala regionale o nazionale, per una compensazione in tempo reale di eccessi o carenze, garantirebbe non solo la continuità della produzione idroelettrica ma anche la disponibilità delle forniture idrauliche per tutti gli usi, senza la necessità di costruire nuovi serbatoi di accumulo.

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 azioni a lungo termine, né nella gestione ordinaria di questi impianti.

Azioni di incremento della resilienza del sistema energetico

Il sistema energetico italiano, come evidenziato nella Strategia Energetica Nazionale, presenta alcune vulnerabilità “tradizionali” derivanti dalle sue specificità quali: una forte dipendenza dalle importazioni di fonti fossili ed elettricità che comporta particolari problemi rispetto alla sicurezza degli approvvigionamenti; 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.

Alle aree di vulnerabilità tradizionali si sono aggiunte altre vulnerabilità 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.

Il sistema energetico sembra essere più vulnerabile rispetto agli eventi estremi piuttosto che rispetto ad un graduale cambiamento del clima, 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 e intensità. Gli impatti di probabili cambiamenti climatici andrebbero a esacerbare alcune vulnerabilità tradizionali del sistema energetico e a introdurre delle nuove.

Alcune delle contromisure fin qui adottate per ridurre la vulnerabilità “tradizionale” del sistema energetico rispetto all’approvvigionamento delle fonti primarie sembrano avere un effetto positivo ai fini dell’aumento della resilienza del sistema anche nei confronti dei cambiamenti climatici e sono pertanto individuabili come azioni di adattamento già in atto:

- diversificazione delle fonti primarie;
- promozione delle fonti rinnovabili e dell’efficienza energetica;
- *demand side management*, ovvero modifica della domanda dei consumatori di energia attraverso vari metodi quali incentivi finanziari e campagne educative;
- utilizzo di sistemi di stoccaggio dell’energia,
- integrazione e sviluppo delle reti,
- utilizzo di contratti che prevedano l’interrompibilità del servizio;
- sostegno dell’attuale evoluzione in corso da un sistema centralizzato a uno distribuito, nel quale ogni utente, potenzialmente, sia al tempo stesso produttore e consumatore, al fine di ridurre la vulnerabilità della rete elettrica.

La trasformazione del sistema energetico al fine di assicurarne una maggiore sicurezza e sostenibilità è anche al centro del pacchetto UE sull’Unione dell’Energia (EC 2015c), che fissa tra i suoi obiettivi la diversificazione dell’approvvigionamento per aumentarne la sicurezza, la promozione dell’efficienza energetica come mezzo per moderare la domanda di energia e il sostegno alla diffusione delle energie rinnovabili nell’ambito di una generale decarbonizzazione dell’economia e un incremento del grado di interconnessione delle reti pari al 10% della capacità di produzione elettrica installata degli Stati membri, da raggiungere entro il 2020.

Tabella 1-59: Quadro riassuntivo dei principali impatti per il settore energetico italiano.

Impatto	Settori energetici interessati	Macroregioni omogenee maggiormente interessate
Diminuzione HDD	Domanda di gas naturale, biomasse, olio combustibile ed elettricità per riscaldamento	3, 4, 5
Aumento CDD	Domanda di elettricità per raffrescamento	2, 6, 1
Incremento punta di domanda estiva	Generazione, trasmissione e distribuzione di elettricità	2, 6, 1, ma indirettamente tutte
Rischio Blackout	Trasmissione e distribuzione di elettricità, consumatori	2, 6, 1, ma indirettamente tutte
Aumento temperatura acqua di raffreddamento impianti termoelettrici	Generazione termoelettrica	In particolare le centrali che sfruttano le acque interne per il raffreddamento: Bacino del Po (macroregione 2)
Riduzione acqua disponibile per siccità	Generazione termoelettrica e idroelettrica	Non chiaramente individuabile
Aumento resistenza linee di trasmissione e conseguenti perdite sulla rete	Trasmissione di elettricità	Tutte, con probabile maggiore intensità nelle macroregioni 6 e 2

SINTESI

In questo rapporto è presentata una sintesi dei principali effetti e rischi per la salute in aggiornamento e completamento delle informazioni presentate nel “Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici in Italia” (Castellari et al. 2014a).

INTRODUZIONE

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 salute della popolazione causati dai cambiamenti climatici. Approccio che ha ispirato anche l’esperienza italiana nelle esperienze nazionali (APAT 2007; APAT-OMS 2007) (ISPRA 2010) e internazionali sul tema¹⁵² le cui attività diversificate hanno confermato, e dato ulteriore spessore scientifico, alla conclusione condivisa che la *governance* di alcuni fondamentali determinanti e fattori di rischio ricade in ambiti diversi da quello sanitario. Le azioni di adattamento quindi non possono esaurirsi in un esclusivo potenziamento specifico di servizi sanitari e dei sistemi di sorveglianza sanitaria - umana e veterinaria - e di risposta alle emergenze climatiche, investendo anche altre politiche e settori strategici. Infatti, al verificarsi di condizioni di rischio di danni per la salute di tipo diretto correlati alle ondate di calore e di gelo, all’aumento d’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 meteoroclimatici su ecosistemi, biodiversità, acque potabili e di balneazione, qualità del suolo e dell’uso del suolo, aria *outdoor* e *indoor*. I fattori meteo-climatici, infatti, agiscono nella maggioranza dei casi come amplificatori, se non in sinergia, di vulnerabilità preesistenti territoriali (rischio idrogeologico, resilienza di aree urbane, servizi idrici, trasporti, materiali etc.) e ambientali (inquinamento chimico e biologico di aria e acqua e/o le alterazioni della biodiversità). Tutti questi fattori, nel loro complesso, modulano la realizzazione e le caratteristiche di gravità degli impatti e dei rischi per la salute, di cui si è ampiamente discusso anche nel capitolo Salute del “Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia” (Castellari et al. 2014a). Sono ormai note le potenziali ripercussioni sulla salute umana dei cambiamenti climatici, specialmente per i gruppi più a rischio della popolazione, ovvero l’aumento di malattie e mortalità legate al caldo, di malattie cardio-respiratorie da inquinamento atmosferico, d’infortuni, traumi psichici, decessi e malattie causati da inondazioni e incendi, di disturbi allergici e cambiamenti nella comparsa e diffusione di malattie di origine infettiva (vettori patogeni, acqua e cibo contaminati). In questo Rapporto verrà privilegiata l’attenzione sulla comprensione dei meccanismi diretti e indiretti con i quali si realizzano e sulla resilienza dei sistemi di tutela e prevenzione, al fine di orientare più efficacemente le azioni di adattamento.

¹⁵² Ulteriore esempio la Strategia Nazionale per la Biodiversità del 2010 dove è inserito il tema biodiversità, cambiamenti climatici e salute; Gdl SNAC 2014, Vari Progetti collaborativi tra MATTM e Organizzazione Mondiale della Sanità, Agenzia Ambientale Europea e ONU_ECE con la collaborazione di APAT/ISPRA in materia di rischi ambientali, clima e salute.

CLIMA E SALUTE: Quadro sinottico: principali determinanti e interrelazioni con Settori PNACC										
IMPATTI SETTORI	Rischi per la salute									
	Determinanti Ambientali	Determinanti Meteo climatici	Allergie (respiratorie e alimentari)	Crisi Asmatiche	Malattie infettive (veicoli biologici)	Malattie infettive (alimenti)	Malattie cardio-vascolari	Malattie respiratorie	Malattie croniche non trasmissibili (MCNT)	danni psico-fisici e patrimoniali
Servizi Idrici					X	X				X
Desertificazione			X	X		X		X		X
Dissesto										X
Ecosistemi Terrestri			X	X	X	X		X	X	
Ecosist. marini /Acque interne			X			X			X	
Foreste			X	X	X			X		X
Agricoltura						X			X	X
Pesca Marittima			X			X			X	X
Acquacoltura			X			X			X	X
Zone Costiere					X					X
Tsunami			X		X	X				X
Inseguimenti Urbani			X	X	X		X	X	X	X
Trasporti							X	X		X
Energie			X	X			X	X		

Attribuzioni: Luciana Sinisi - ISPRA

Determinanti ambientali: aria outdoor - aria indoor - qualità del suolo - sicurezza del suolo - acqua (potabile, sanificazione, irrigue)
 Alimenti (qualità, disponibilità, contenuti nutrizionali) - biodiversità (genetica, specifica ed eco-sistemica)
 Determinanti meteo-climatici: ondate termiche (calore est., raffreddamenti) - eventi meteo estremi

Figura 1-87: Correlazioni funzionali tra i principali determinanti ambientali e meteo climatici, rischi e danni per salute, benessere e sicurezza della popolazione¹⁵³.

L’approccio suggerito nel quadro sinottico (Figura 1-87) e l’analisi di tali dinamiche sono importanti e necessarie anche per altre considerazioni non secondarie, se non addirittura strategiche, di seguito riassunte:

- considerata la stretta dipendenza con diversi settori strategici e la resilienza dei sistemi di prevenzione e risposta nonché fattori sociali e tecnologici, gli effetti futuri sulla salute della popolazione non possono essere valutati esclusivamente attraverso la proiezione di scenari climatici. La caratterizzazione di rischi e vulnerabilità andrà quindi rafforzata da contributi multidisciplinari;
- la ricerca biomedica sui rischi sanitari (non sui danni diretti ovviamente) è relativamente recente, e prevalentemente centrata sulle caratteristiche epidemiologiche (numero, aumento,

¹⁵³ Dati elaborati da Sinisi, ISPRA.

distribuzione dei casi di malattie e mortalità precoci), sulla resilienza socio economica e dei servizi sanitari. Una parte esigua è destinata alle correlazioni con le variabili climatiche. Ad esempio uno studio del *National Institute of Health* statunitense sulle ricerche da loro finanziate nel 2008 con un particolare focus su clima e salute ha evidenziato criticità quantitative - solo 0.17% della totale quota degli studi finanziati - e qualitative - 706 progetti erano relativi a malattie di cui è noto il legame con il clima senza però studiarne l'associazione;

- c) lo sviluppo della conoscenza dei determinanti ambientali e l'incremento di effetti sanitari clima-sensibili nell'adattamento favorirà inoltre elementi strategici per l'implementazione e la *governance* territoriale delle misure d'adattamento, quali:
- l'aumento della consapevolezza per *stakeholder* pubblici e privati di diversi settori del loro ruolo nell'efficace mitigazione di rischi e impatti per la salute;
 - l'avvio di un percorso d'integrazione multisettoriale propedeutico all'inclusione delle valutazioni socio-sanitarie nelle opzioni e misure di adattamento dei vari settori che comprenda anche i potenziali conflitti tra diverse politiche climatiche e sanitarie, i co-benefici ambientali e sanitari delle misure adottate e l'attenzione a gruppi di popolazione più vulnerabili.

SINTESI RISCHI E DANNI DIRETTI PER SALUTE, BENESSERE E SICUREZZA DELLA POPOLAZIONE

Rischi e danni diretti da anomalie termiche e ondate di calore

Numerosi studi hanno mostrato la presenza di un'associazione tra mortalità e ondate di calore (Åström et al. 2015; de' Donato et al. 2015) specialmente nei gruppi di popolazione più a rischio. Le ondate di calore sono state associate ad un incremento di ricoveri ospedalieri (Bobb et al. 2014) per cause cardiovascolari, ictus, malattie respiratorie, disturbi elettrolitici, infezioni delle vie urinarie e insufficienza renale. Le popolazioni più sensibili alle ondate di calore sono gli anziani, i bambini e le persone affette da malattie croniche pre-esistenti. Alcuni fattori sociali, come lo status socio-economico (Li et al. 2015), l'isolamento sociale e la mancanza di aree verdi (che forniscono ombra e riducono la temperatura) (Gronlund et al. 2015) contribuiscono alla suscettibilità. Nonostante i bambini siano un sottogruppo particolarmente sensibile alle ondate di calore, l'attenzione della ricerca dedicata a questo settore è minore. Una recente revisione della letteratura ha mostrato che non vi è un incremento di mortalità nei bambini durante le ondate di calore, mentre nei neonati si manifesta tale associazione (Xu and Grumbine 2014). Malattie pediatriche o condizioni preesistenti che incrementano la suscettibilità alle ondate di calore includono malattie renali, squilibri elettrolitici, febbre e malattie respiratorie; l'aumento delle temperature, in questi sottogruppi, è associato ad effetti sanitari quali l'esacerbazione di crisi asmatiche e l'incremento dei ricoveri per asma (Tolbert et al. 2000; Li et al. 2016). L'incremento della temperatura è, inoltre, responsabile di nascite premature (Basu et al. 2010; Schifano et al. 2013; Kent et al. 2014) e mortalità neonatale (Strand et al. 2011). La relazione tra **mortalità e temperatura indoor** è comunque dipendente da una variabilità espositiva che può variare ampiamente da edificio ad edificio per ogni grado di temperatura esterna (Vadodaria et al. 2014).

Per meglio comprendere le **relazioni tra cambiamenti climatici, qualità dell'aria indoor e salute** Vardoulakis et al. (2015) hanno effettuato una revisione della letteratura analizzando le principali relazioni tra questi tre fattori:

Surriscaldamento degli edifici e comfort termico: La temperatura interna dipende da svariati fattori relativi all'edificio: il livello del piano, l'orientamento e l'ombreggiatura (Porritt et al. 2012), la localizzazione urbana o rurale, l'area geografica, le caratteristiche strutturali (materiali utilizzati, isolamento termico, tipologia di ventilazione), il comportamento degli occupanti (utilizzo di ventilazione artificiale o naturale,

etc.).

Qualità dell'aria indoor: L'efficientamento energetico degli edifici può essere ottenuto isolando termicamente l'involucro del fabbricato; questo può comportare una riduzione della ventilazione interna e un accumulo di inquinanti *indoor*, se non viene mantenuta una ventilazione adeguata (Gens et al. 2014). La migliore strategia per ridurre l'inquinamento *indoor* resta, però, quella di ridurre le sorgenti interne di inquinanti più che quella di diluirne la concentrazione tramite la ventilazione.

Allergeni indoor: L'isolamento termico favorisce all'interno dell'edificio un clima caldo umido ideale per la proliferazione degli acari della polvere e delle muffe. Anche i ridotti volumi delle stanze nei nuovi edifici comportano una minore ventilazione degli stessi influenzando la concentrazione di inquinanti, i livelli di umidità e di temperatura. Questi edifici necessiterebbero di una maggiore ventilazione.

Nonostante si stia attenuando negli anni a causa d'inverni più miti, la **mortalità** conseguente alle **basse temperature** richiama comunque misure di adattamento nelle ondate di gelo (Alcamo et al. 2007). Uno studio irlandese (Zeka et al. 2014) ha mostrato che l'impatto del clima freddo in inverno persisteva fino a 35 giorni, con un incremento della mortalità per tutte le cause di -6,4% (95% CI = 4,8% -7,9%) per ogni riduzione di 1 °C della temperatura massima giornaliera; aumenti simili sono stati osservati per le malattie cardiovascolari (CVD) e ictus, e incrementi due volte maggiori sono stati osservati per cause respiratorie.

Studi sulle ondate di gelo registrate nel Nord Europa e negli Stati Uniti evidenziano l'impatto sulla salute e l'impatto sociale delle condizioni meteorologiche estreme in inverno (McMichael et al. 2006; Barnett et al. 2012; IPCC 2014b; Staddon et al. 2014).

Dalla letteratura sembra comunque emergere che **sbalzi repentini della temperatura ambientale** possono influenzare la salute della popolazione, poiché il sistema di termoregolazione del corpo umano può rispondere, in alcuni casi, in modo inefficiente a incrementi di temperatura che si verificano in un breve intervallo temporale (Martinez-Nicolas et al. 2015). Gli individui possono essere impreparati ad affrontare brusche variazioni di temperatura, sia per cause fisiologiche (aumento del lavoro cardiovascolare, sbalzi pressori, infezioni), sia per cause comportamentali: scarsa resilienza e adattamento (Graudenz et al. 2006; Schneider et al. 2008; Garrett et al. 2009; Li et al. 2014).

Il recente Rapporto del DEP Lazio (febbraio 2016) ha evidenziato incrementi significativi di mortalità nell'inverno del 2012 e del 2015 in Italia. L'eccesso del 2012 è stato attribuito all'ondata di freddo di eccezionale intensità che ha colpito gran parte del paese nel mese di febbraio (de' Donato et al. 2015).

Nell'estate 2015 l'elevata mortalità è stata associata all'ondata di calore che si è verificata nel mese di luglio e nella prima settimana di agosto 2015. L'eccesso di mortalità del mese di luglio è stato maggiore nelle età molto anziane (80+) ma è stato significativo anche nelle fasce di età più giovani (55-64, 65-74, 75-84) (Progetto CCM Ministero Salute - Rapporto Ondata di calore 1-18 luglio 2015; Rapporto estate 2015). Il sistema di sorveglianza per il monitoraggio delle temperature a rischio nelle 32 città (Progetto CCM-Ministero Salute, Michelozzi et al. 2010) evidenzia che si sono verificati oltre 20 giorni di condizioni di rischio elevato (livello 2 e 3 del sistema di allarme, con valori di temperatura anche di 4 °C superiori alla media stagionale e con picchi di temperatura oltre i 40 °C in molte città).

Effetti indiretti sulla salute: Influenza della temperatura sulla qualità dell'aria

Durante l'inverno nei paesi a clima temperato, gli episodi di inquinamento atmosferico sono spesso causati da condizioni climatiche stagnanti. I cambiamenti climatici influenzano la qualità dell'aria modificando la ventilazione (velocità del vento, profondità di miscelazione, convezione, passaggi frontali), le precipitazioni, la deposizione delle polveri, la dispersione delle sostanze chimiche, delle emissioni naturali, e le concentrazioni di fondo.

Il cambiamento climatico può influenzare le concentrazioni degli inquinanti atmosferici in diversi modi:

- l'influenza sul clima regionale (cambiamenti dei modelli di vento, modificazioni della quantità e dell'intensità delle precipitazioni, aumento di temperatura) può avere un effetto sulla gravità e

frequenza degli episodi d'inquinamento atmosferico e anche sulle emissioni di origine antropica (per esempio, l'aumento della domanda di energia per il riscaldamento o raffreddamento);

- l'amplificazione dell'effetto isola di calore urbano può aumentare alcuni inquinanti secondari (ozono), e può indirettamente aumentare fonti naturali di emissione d'inquinanti atmosferici (la decomposizione della vegetazione, l'erosione del suolo, e incendi) (Department of Health 2001; Gangoiti 2001; D'Amato 2004; Mickley 2004; Moore et al. 2006).

I cambiamenti climatici possono incrementare gli episodi estivi di smog fotochimico conseguenti all'incremento delle temperature (Alcamo et al. 2007). Le condizioni climatiche influenzano la qualità dell'aria attraverso il trasporto e la formazione di inquinanti atmosferici (o dei loro precursori), delle emissioni biogeniche (pollini, muffe) e delle emissioni antropogeniche (come quelle conseguenti ad un incremento della domanda energetica o degli incendi boschivi).

La luce solare e le temperature elevate, associate ad inquinanti atmosferici quali ossidi di azoto e composti volatili organici, possono causare un incremento delle concentrazioni di ozono, che essendo un forte irritante delle vie respiratorie può esacerbare, nei soggetti vulnerabili, patologie presenti.

Elevate concentrazioni di ozono sono pericolose specialmente per i soggetti allergici o affetti da patologie respiratorie croniche; ad aggravare questo aspetto vi sono le interazioni con allergeni trasportati dai granuli pollinici. Tali interazioni 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).

A differenza degli episodi di smog invernale, gli episodi di ozono estivo colpiscono regioni più ampie. I sistemi di allerta per la soglia di allarme ozono sono raccomandati come richiesto dalla legge in molti paesi tra cui l'Italia.

Numerosi studi hanno dimostrato che alcuni inquinanti quali ozono, biossido di azoto (NO₂) e DEP aumentano la permeabilità - alveolo- capillare (Devalia et al. 1997; Bayram et al. 1998, 1999, 2002), facilitando l'ingresso nell'albero bronchiale degli allergeni irritanti scatenando crisi allergiche. Infine gli inquinanti atmosferici quali l'ozono e il DEP causando stress ossidativo esacerbano situazioni di squilibrio preesistente nei pazienti con malattie respiratorie croniche (Ercan et al. 2006; Rabe et al. 2007), Vanno inoltre ricordate le interazioni tra alcuni inquinanti quali l'ozono e PM che reagiscono in presenza di radiazione solare e terrestre (Forster et al. 2007). L'effetto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria, a causa di questa reciprocità di interazione, deve essere pertanto inquadrato in un contesto più ampio di interazioni chimico-climatiche (Giorgi and Meleux 2007; Gustafson and Leung 2007), come mostrato schematicamente in Figura 1-88.

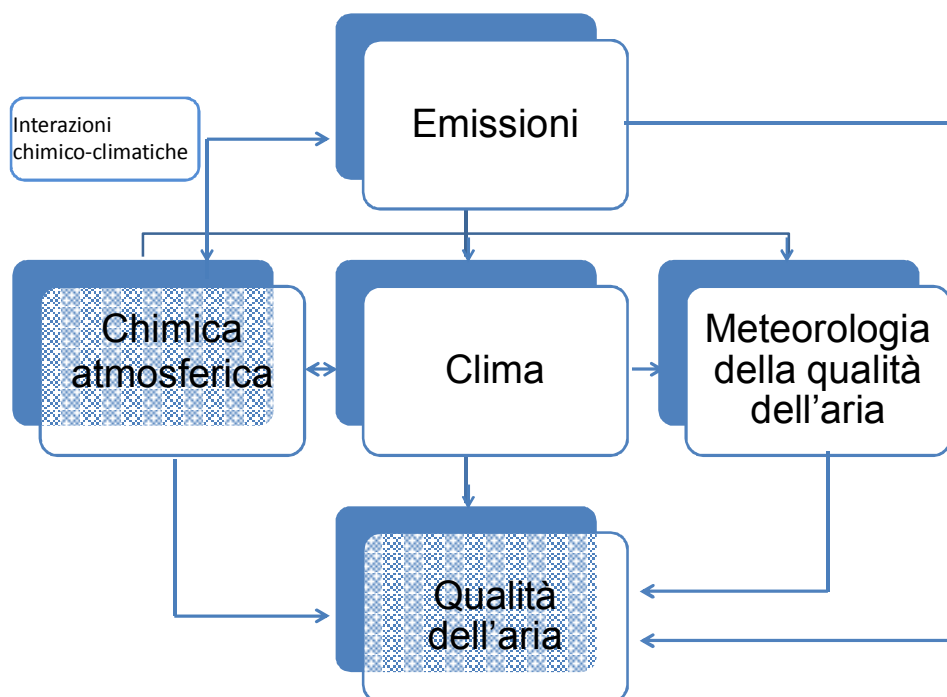


Figura 1-88: Effetto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria collocato nel contesto più ampio dell'interazioni chimica-clima.¹⁵⁴

Molti studi hanno analizzato la relazione tra **inquinanti atmosferici ed esiti sanitari**, mortalità e morbidità, in una varietà di popolazioni (WHO)¹⁵⁵. Tra questi un progetto sulla valutazione dell'impatto sanitario di ozono e PM in aree urbane è nato da una collaborazione APAT-ISPRA OMS (Martuzzi et al. 2006) che ha effettuato una stima del numero di morti attribuibili all'inquinamento atmosferico e la riduzione dell'aspettativa di vita associate all'esposizione ad inquinamento atmosferico.

Quantificare gli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico in un clima che cambia è fondamentale per intraprendere azioni con il fine di salvaguardare le popolazioni future. Una revisione della letteratura (Sujaritpong et al. 2013) ha analizzato i metodi utilizzati per quantificare l'impatto sulla salute con il fine di identificare i migliori approcci e le migliori metodologie. La maggior parte degli studi ha utilizzato una metodologia semplificata, mentre solo pochi hanno effettuato analisi di sensibilità per valutare le fonti di incertezza. Le indagini esistenti suggeriscono che la stima di rischio per la salute deve prendere in considerazione l'incertezza associata ai futuri scenari emissivi di inquinamento atmosferico, le funzioni concentrazione-risposta e i futuri andamenti demografici della popolazione. Le variazioni di mortalità possono verificarsi a causa dell'invecchiamento della popolazione o a causa di acclimatazione della popolazione, dello sviluppo socio-economico, e alla messa in atto di strategie di adattamento. Per meglio comprendere e valutare **l'associazione tra temperatura, inquinamento e mortalità** vanno identificate e approfondite anche alcune tematiche:

- i futuri impatti sulla salute da episodi di elevato inquinamento atmosferico;
- le interazioni tra temperatura e inquinamento atmosferico e i conseguenti effetti sulla salute pubblica in presenza di un clima che cambia;

¹⁵⁴ Il cambiamento è indotto da un'alterazione delle emissioni di origine antropica derivanti da fattori socio-economici esterni al sistema chimico-climatico. Modificato da Jacob and Winner (2009).

¹⁵⁵ WHO <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environmental-health/air-quality/publications>

- in che modo l'adattamento della popolazione e i cambiamenti comportamentali in un clima più caldo possono modificare l'esposizione all'inquinamento atmosferico e le sue conseguenze sulla salute.

Il popolamento di indicatori ambiente e salute elaborati da ISPRA nella tradizionale reportistica dell'Istituto ancora evidenzia criticità relative all'inquinamento atmosferico di rilevanza per le misure di adattamento come descritto nei grafici seguenti (Figura 1-89 e Figura 1-90).

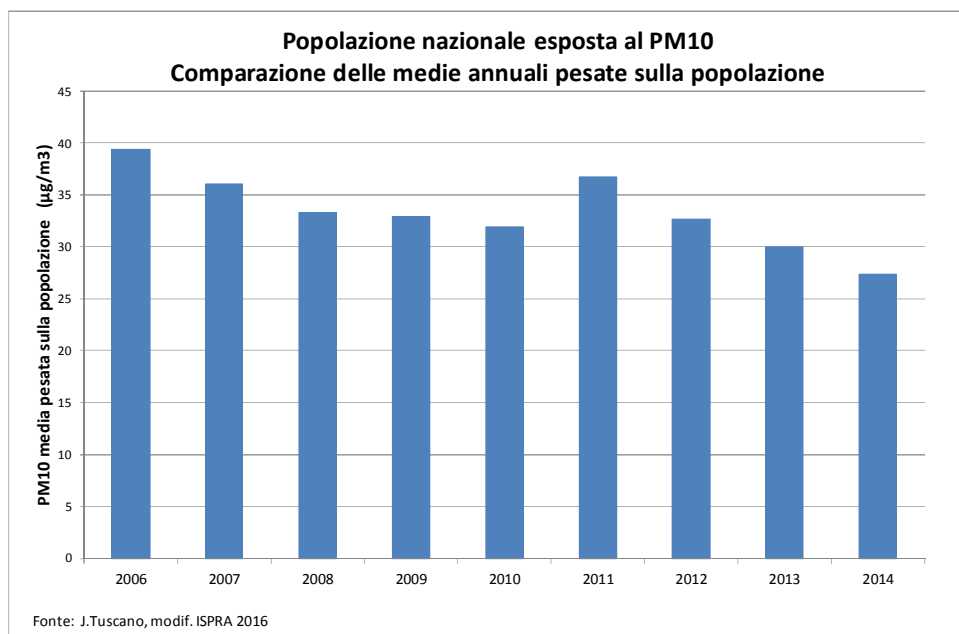


Figura 1-89: Esposizione media della popolazione al PM10¹⁵⁶.

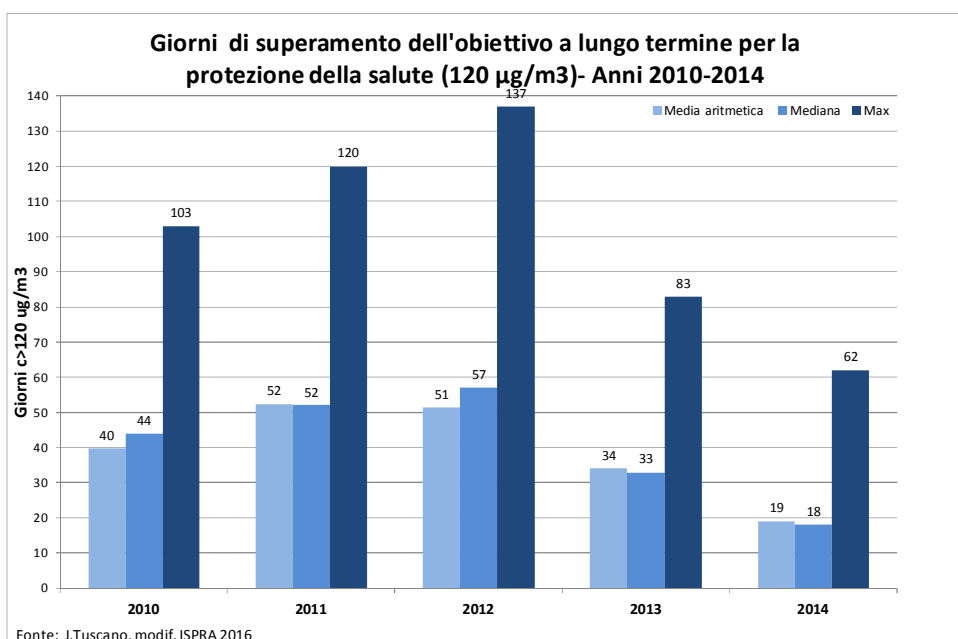


Figura 1-90: Giorni di superamento del valore di ozono per l'obiettivo a lungo termine per la salute della popolazione¹⁵⁷.

¹⁵⁶ Elaborazione J. Tuscano ISPRA 2016.

¹⁵⁷ Elaborazione J. Tuscano ISPRA 2016.

Anomalie termiche, pollini e rischio allergico

Le complesse relazioni tra meteorologia, clima e concentrazione di polline in atmosfera svolgono un ruolo chiave sui livelli di allergeni, sulla biodisponibilità e sul rilascio degli stessi.

La fenologia del polline sta cambiando in risposta ai cambiamenti climatici osservati, in particolare in Europa centrale e a diverse altitudini. La precocità e l'estensione della stagione dei pollini allergenici espone i soggetti suscettibili a periodi più prolungati di disturbi allergici (Alcamo et al. 2007).

Il clima influenza la malattia asmatica direttamente, agendo sulle vie aeree, e indirettamente, modificando gli allergeni dispersi nell'aria e i livelli di inquinanti (D'Amato et al. 2015).

Le alterazioni nella circolazione dell'aria e le condizioni meteorologiche potrebbero facilitare la diffusione geografica di specie polliniche in nuove aree che diventano climaticamente adatte. Il riscaldamento terrestre causa, inoltre, sia un esordio precoce che un allungamento della stagione di fioritura di alcune specie polliniche (come le erbacce) che causano reazioni allergiche in persone già sensibili. Un clima caldo favorisce la crescita delle muffe, erbe infestanti e specie allergizzanti. L'Ambrosia cresce più velocemente e presenta fioriture precoci nelle aree urbane, dove gli effetti dei cambiamenti climatici sono maggiori rispetto alle aree rurali, a causa di temperature più elevate conseguenti all'effetto isola di calore e di concentrazioni più elevate di CO₂¹⁵⁸ (vedi capitolo "Insediamenti Urbani"). Studi mostrano che elevate concentrazioni di CO₂ aumentano la fotosintesi delle piante che hanno una maggiore riproduzione e producono maggiori quantità di polline.

I cambiamenti osservati della circolazione atmosferica dei venti possono aumentare il trasporto a lunga distanza di pollini allergenici in aree meno colpite, come è accaduto per l'ambrosia nel centro Italia (Cecchi et al. 2007).

Alcune specie, come l'ambrosia e l'artemisia, presentano particolari rischi per la salute e richiedono misure gestionali sul territorio, manutenzione di aree verdi pubbliche e private e di eradicazione.

Questi aspetti associati ai maggiori livelli d'inquinamento dell'aria presenti nelle aree urbane espongono i soggetti suscettibili a rischi elevati.

I cambiamenti climatici influenzano soprattutto le specie che fioriscono nel tardo inverno e la primavera. Molti studi hanno effettivamente messo in evidenza, in questi ultimi anni, una anticipazione e un allungamento del periodo di fioritura di molte specie e famiglie di piante allergeniche, come *Betulaceae*, *Compositae*, *Urticaceae*, *Graminaceae*, *Cupressaceae* (Ginepro, cedro Giapponese).

Modificazioni dei modelli meteorologici, durante la stagione dei pollini, quali tempeste di vento e temporali possono essere associati con crisi asmatiche nei pazienti che soffrono di allergia ai pollini (Bellomo et al. 1992; D'Amato et al. 1994; Davidson et al. 1996; Bauman 1996; Anto and Sunyer 1997; Newson et al. 1997; Girgis et al. 2000; Wardman et al. 2002) scatenando la cosiddetta "tempesta pollinica": improvviso rilascio di grandi quantità di pollini e microgranuli allergenici derivati dalla rottura fisica, per shock osmotico, del granulo pollinico (i microallergeni) che possono essere inalati nelle vie aeree distali, scatenando attacchi di asma (Suphioglu et al. 1992; Knox 1993). Le precipitazioni riducono le concentrazioni di pollini nell'aria, riducendo così il rischio di esacerbazione della rinite e/o asma; ma precipitazioni estreme, come i temporali, sono, invece, associate ad attacchi di asma fatali (D'Amato et al. 2012).

Le allergie ai pollini sono spesso usate per studiare le interrelazioni tra l'inquinamento atmosferico e allergie respiratorie. I fattori climatici (temperatura, velocità del vento, umidità e temporali, etc.) possono interessare entrambe le componenti (biologiche e chimiche) di questa interazione. Gli inquinanti atmosferici legandosi ai microgranuli pollinici potrebbero modificare sia la morfologia di questi allergeni che il loro potenziale allergenico. Inoltre, inducendo infiammazione delle vie aeree, che aumenta la permeabilità delle vie aeree, facilitano l'ingresso degli allergeni (D'Amato et al. 2015).

¹⁵⁸ U.S. EPA <http://www.epa.gov/climatechange/effects/health.html>

Rischi e danni diretti da eventi meteorologici avversi

Tra i danni diretti associati al cambiamento climatico vanno annoverati non solo gli impatti da ondate di calore ma anche quelli conseguenti agli eventi meteorologici avversi come alluvioni, frane, valanghe, inondazioni costiere, trombe d'aria. Di questi è visibile il loro aumento nel nostro Paese e solo negli ultimi anni, a differenza di quanto registrato nel precedente Rapporto SNAC, si sta costruendo un'informazione sistematica dei loro impatti e della vulnerabilità del nostro territorio, con particolare riferimento a frane e alluvioni e ai potenziali danni diretti su popolazione e attività produttive.

Nella Figura 1-91 sono riportati i dati riassuntivi degli impatti – significativi invero – sulla popolazione tratti dal Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica¹⁵⁹ del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRPI-CNR, 2014).

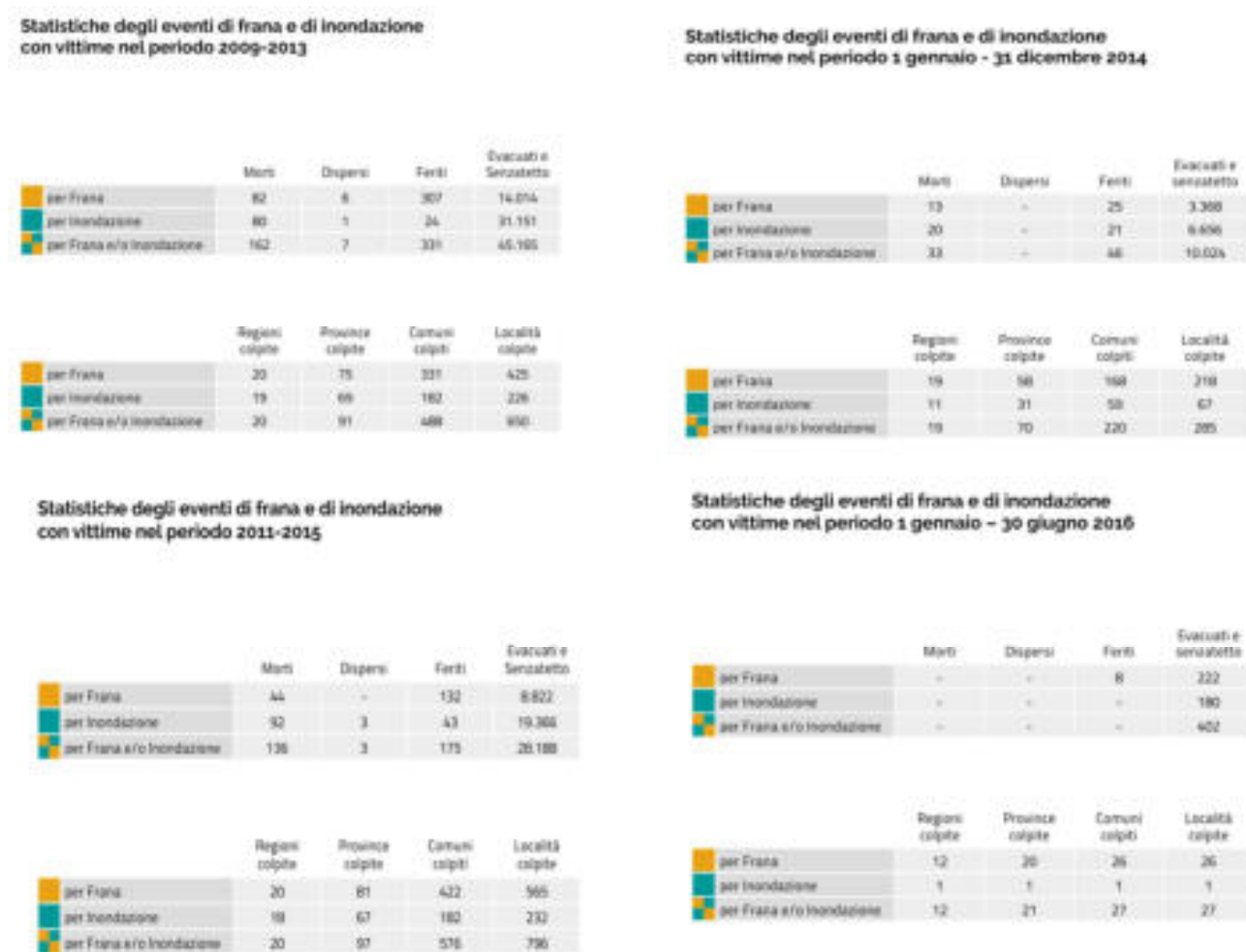


Figura 1-91: Statistiche degli eventi di frana e inondazione con vittime 2009-2016¹⁶⁰.

Sulla vulnerabilità del nostro territorio recenti studi ISPRA hanno ben descritto il fenomeno. L'Italia è uno dei paesi europei maggiormente interessati da fenomeni franosi, con 528.903 frane che interessano un'area di 22.176 km², pari al 7,3% del territorio nazionale. Nel recente rapporto (ISPRA 2015d) sono state identificate le aree a pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) e delle aree a pericolosità idraulica ai sensi del D.lgs. 49/2010 (recepimento della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE) perimetrate dalle Autorità di Bacino, Regioni e Province Autonome al fine di costruire mappe e indicatori di rischio sull'intero territorio nazionale anche relativi a popolazione, imprese, beni culturali e superfici artificiali.

¹⁵⁹ <http://polaris.irpi.cnr.it>

¹⁶⁰ Fonte: IRPI-CNR, 2014.

La Figura 1-92a di seguito mostra la vulnerabilità del territorio nazionale, associata all'alto rischio di esposizione descritto dal numero di comuni interessati da tali aree (Figura 1-92b). Nella Figura 1-93 e nella Figura 1-94 sono invece caratterizzate la popolazione e il numero delle imprese a rischio nelle aree considerate.

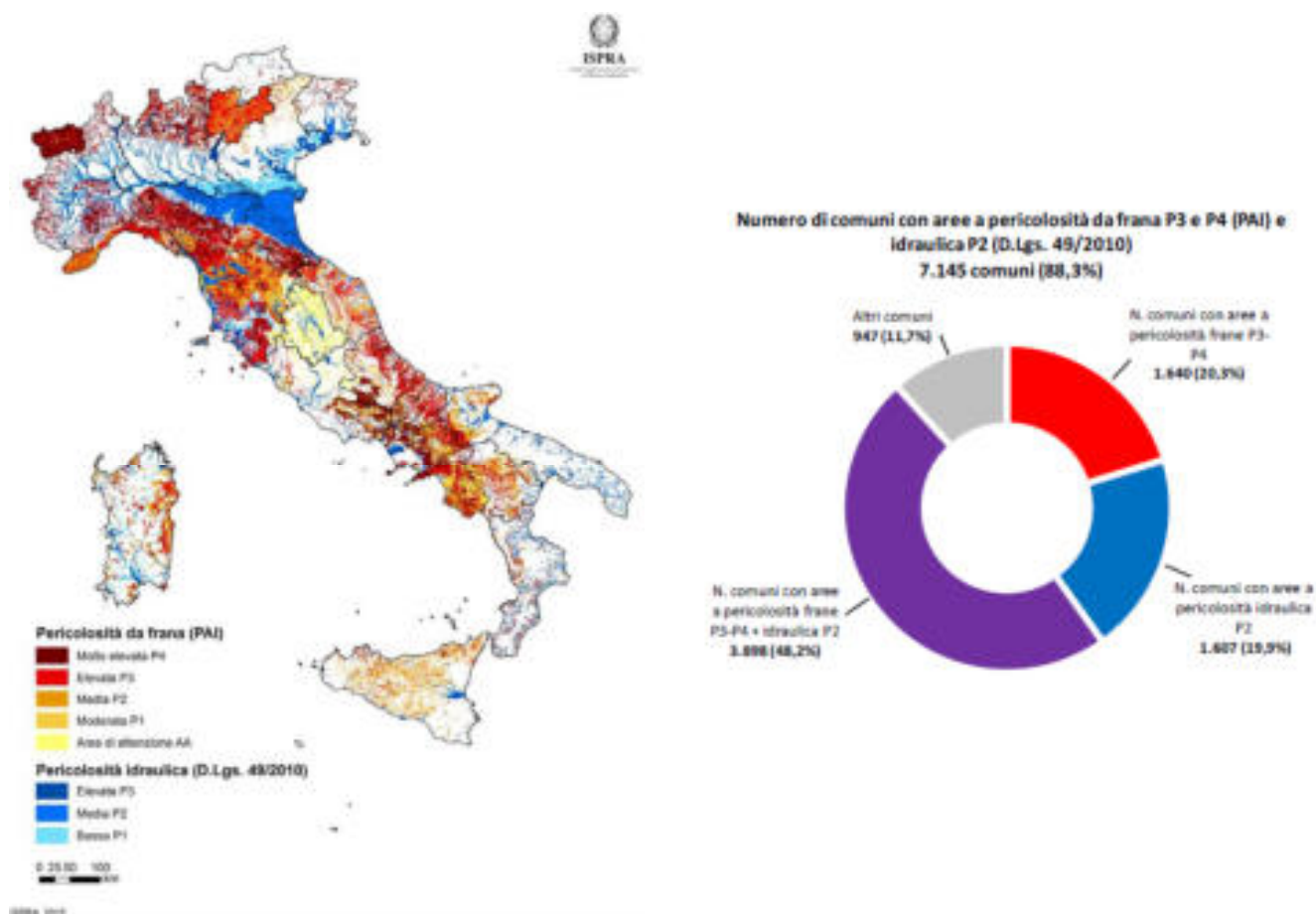


Figura 1-92: a) Pericolosità idraulica e da frana del territorio italiano; b) numero di comuni interessati¹⁶¹.

¹⁶¹ ISPRA 2015d.

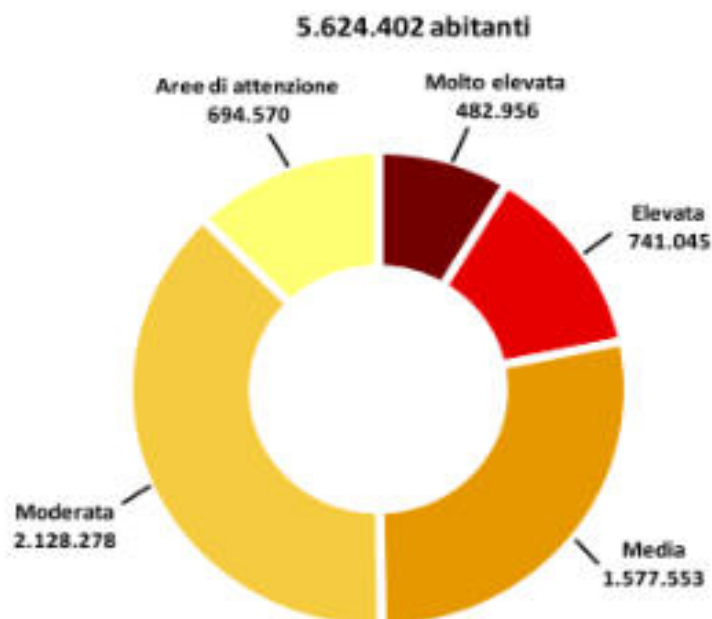


Figura 1-93: Popolazione a rischio frane in aree a pericolosità PAI¹⁶².

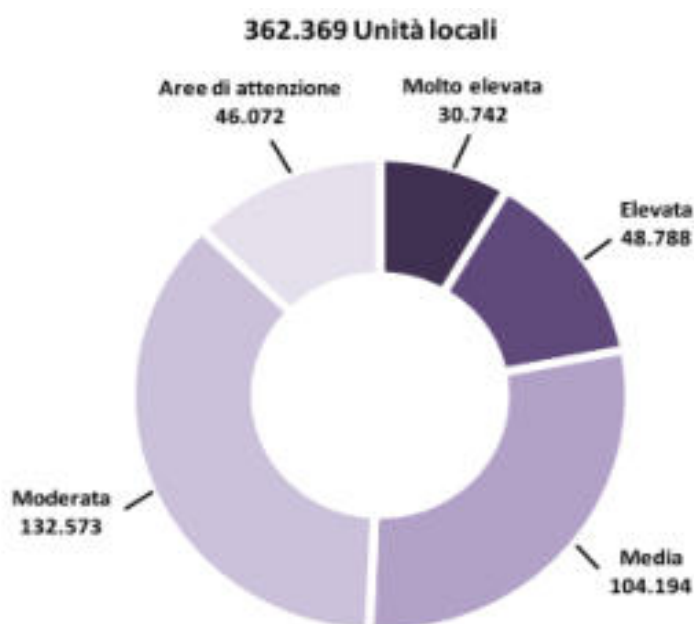


Figura 1-94: Unità locali di imprese in aree a pericolosità da frana¹⁶³.

Il Rapporto ISPRA evidenzia inoltre che la popolazione residente esposta a rischio alluvioni in Italia è pari a: 1.915.236 abitanti (3,2%) nello scenario di pericolosità idraulica elevata P3 (tempo di ritorno fra 20 e 50 anni); 5.922.922 abitanti (10%) nello scenario di pericolosità media P2 (tempo di ritorno fra 100 e 200 anni) e 9.039.990 abitanti (15,2%) nello scenario P1 (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi). Un precedente Rapporto del 2012 (CRESME su dati ISTAT e MATTM)¹⁶⁴ evidenziava che nelle aree classificate come ad alto rischio di frane e alluvioni è stata stimata la presenza di oltre 1 milione di edifici ad

¹⁶² ISPRA 2105d.

¹⁶³ ISPRA 2015d.

¹⁶⁴ Primo Rapporto ANCE/CRESME, 2012. LO STATO DEL TERRITORIO ITALIANO 2012. Insediamento e rischio sismico e idrogeologico. http://www.camera.it/temiap/temi16/CRESME_rischiosismico.pdf

uso prevalentemente residenziale, 6.251 scolastici e 547 strutture ospedaliere. Tra gli insediamenti non residenziali i capannoni ad uso produttivo sono circa trentaquattromila e circa ventiquattromila quelli commerciali.

Cambiamenti climatici e malattie infettive

Per come stimato dal Centro Europeo di Controllo delle Malattie Infettive (ECDC) circa il 50% di tutte le malattie infettive da acqua contaminata e trasmesse da insetti vettori notificate dagli Stati membri alle autorità Europee sono sensibili a variabili meteo climatiche (inverni più miti, temperature medie e umidità più elevate, precipitazioni intense, tempeste, alluvioni) che ne influenzano la diffusione geografica e la persistenza (ECDC 2012).

Malattie da vettore

I determinanti ambientali e meteorologici influenzano l'incidenza di malattie infettive riemergenti ed emergenti clima sensibili trasmesse da insetti vettori che, negli ultimi anni, anche in Italia, hanno richiesto il potenziamento di specifici programmi di sorveglianza sanitaria e controllo del vettore a livello nazionale e regionale come già ampiamente trattato nel precedente Rapporto SNAC. Il *World Health Day* 2014 della Regione Europea dell'OMS era stato dedicato alle malattie da vettore, con lo slogan "piccolo morso, grande minaccia", mettendo in evidenza il rischio concreto di alcune malattie virali *emergenti* anche in Paesi europei storicamente indenni o di un potenziale ritorno di malattie che si pensava fossero state eradicate (c.d. *riemergenti*, come per esempio la malaria o, per l'Italia, la malattia del Nilo Occidentale - *West Nile*).

Tra le malattie trasmesse da vettore quelle più importanti sono la malaria, la febbre gialla, la dengue, *West Nile* Zika virus e altre malattie virali, tutte trasmesse da zanzare. Seguono per importanza le diverse forme di leishmaniosi, un gruppo di malattie protozoarie trasmesse da pappataci, due forme delle quali endemiche anche in Italia. Non meno importanti sono anche le malattie batteriche (rickettiosi e borreliosi) e le encefaliti virali trasmesse da zecche ixodidi.

Attraverso meccanismi complessi e tra loro correlati, gli effetti della globalizzazione, degli spostamenti più massicci di merci e persone e i cambiamenti climatici, è stata favorita la diffusione in aree storicamente indenni di specie di insetti vettori e dei loro ospiti biologici (rispettivamente zanzare e virus) che per secoli sono stati tipici di Paesi tropicali. E i loro nomi – e le loro origini – ci dicono già tutto: *chikungunya* (lingua swahili), febbre *West Nile* o Nilo Occidentale (Uganda) e, più recentemente, anche il virus Zika veicolato da zanzare *Aedes aegypti* tipiche di aree tropicali e subtropicali.

Negli ultimi anni anche in Italia, si è assistito all'espansione nella distribuzione di molte specie di artropodi potenziali vettori di malattie virali con epidemie episodiche di virus *Chikungunya* e casi umani e veterinari di malattia del Nilo occidentale (*West Nile Fever*), entrambi trasmessi da zanzare infette ormai ubiquitarie sul nostro territorio nazionale. Per il diffondersi del numero dei casi in molte Regioni italiane, anche della forma neuro invasiva della *West Nile*, le autorità sanitarie nazionali e locali hanno già avviato specifici programmi di controllo del vettore e di sorveglianza nell'uomo e negli animali sin dal 2007 che di recente hanno riguardato anche il virus Zika. A riprova della rilevanza sanitaria di queste malattie virali trasmesse da zanzare (arbovirosi), recentemente (settembre 2016) l'Istituto Superiore di Sanità ha lanciato un sito che riporta i dati italiani delle sorveglianze delle principali arbovirosi *West Nile*, *Chikungunya*, *Dengue* e *Zika virus*, dove è possibile scaricare, oltre al piano della sorveglianza integrata, anche le schede di sorveglianza e le istruzioni sulle modalità di raccolta dei campioni da inviare all'ISS¹⁶⁵.

A valle della collaborazione in tema di biodiversità e salute avviata nell'ambito dell'implementazione della Strategia Nazionale Biodiversità, si sono popolati in ISPRA indicatori (Figura 1-95 e Figura 1-96) sul trend

¹⁶⁵ <http://www.iss.it/arbo/index.php?lang=1>

dell'aumento delle aree interessate dalla circolazione del virus West Nile e sui casi clinici di forma neuro-invasiva (casi più gravi) della malattia virale West Nile

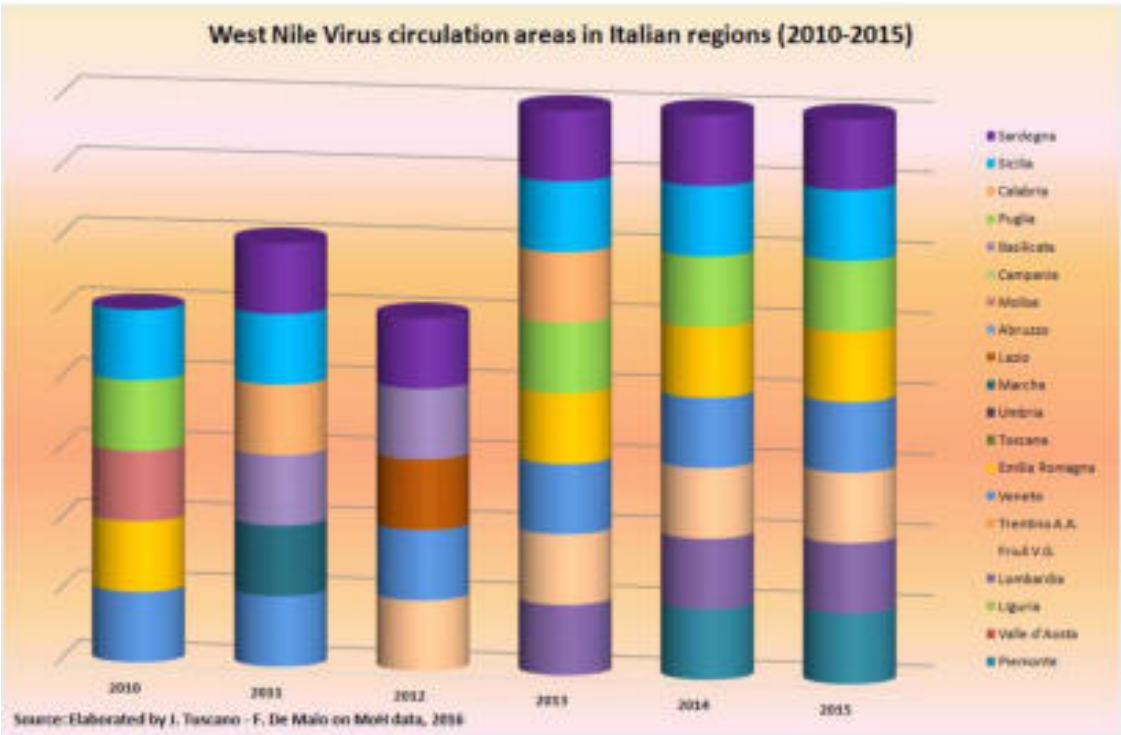


Figura 1-95: Aree di circolazione del Virus West Nile nelle regioni italiane¹⁶⁶.

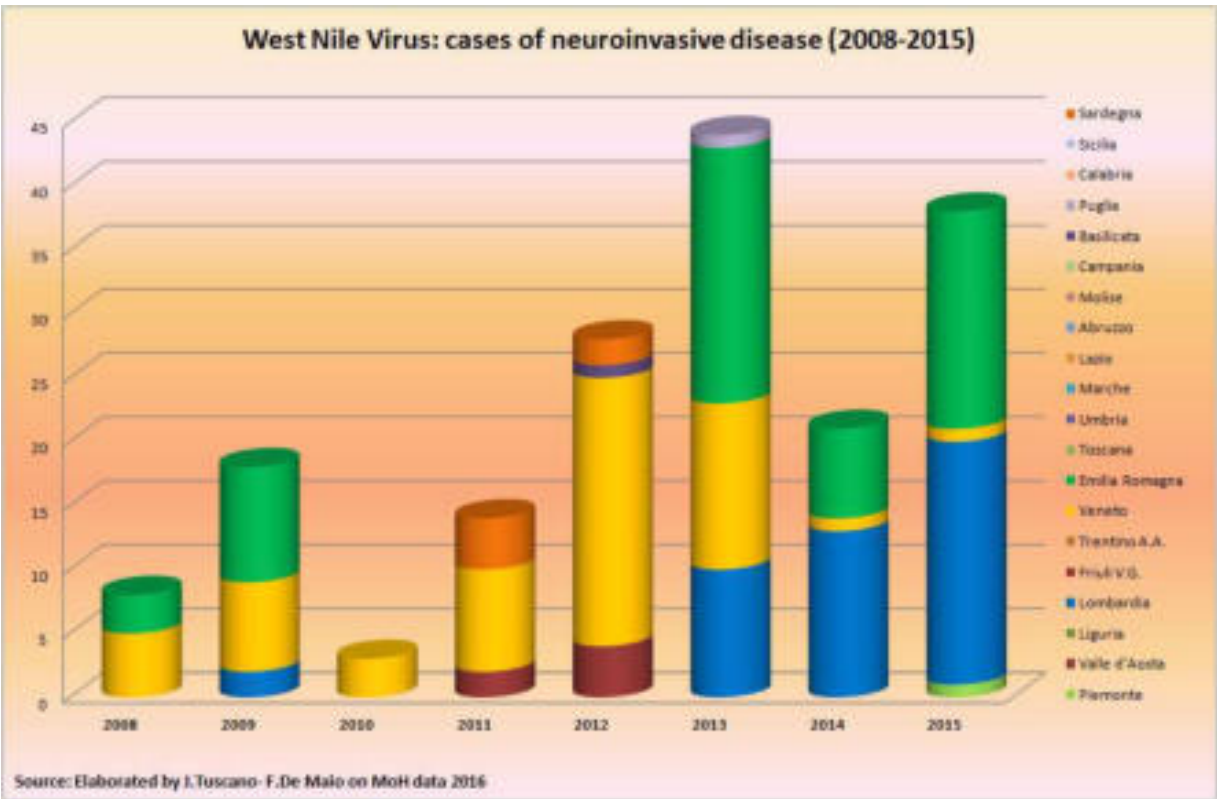


Figura 1-96: Casi clinici di forma neuroinvasiva della malattia virale West Nile¹⁶⁷.

¹⁶⁶ Elaborazione J. Tusciano, F. Demaio ISPRA, su dati Ministero della Salute 2016.

¹⁶⁷ Elaborazione J. Tusciano, F. Demaio ISPRA, su dati Ministero della Salute 2016.

Dal momento della sua scoperta (1947) lo **Zika virus** ha causato piccole e contenute epidemie in alcuni paesi di Africa e Sud-Est asiatico ma dal 2015 la diffusione della trasmissione del virus ad opera di zanzare infette ha subito un'accelerazione unica nel suo genere per la rapidità dell'espansione e dal numero dei casi come si evince dall'ultimo Rapporto dell'OMS del 17 marzo 2016 (WHO 2016): oltre 1 milione di casi infetti stimati in Brasile nel 2015 e, in Colombia, in 6 mesi oltre 2000 casi confermati in laboratorio e un totale di oltre 50.000 casi sospetti.

Il virus assurge agli onori delle cronache e delle priorità dell'agenda di sanità pubblica in decine di Paesi anche per il fatto che, nonostante la malattia virale sia asintomatica o benigna nella maggioranza dei casi, le evidenze scientifiche ormai propendono per una forte associazione con casi di malattie neurologiche paralizzanti (Sindrome di Guillain-Barré) e malformazioni fetali (microcefalia). Per quest'ultima, oltre ai dati epidemiologici (in Brasile quasi 4.000 i casi di neonati colpiti da ottobre 2015 al febbraio 2016, con un aumento del 2500% rispetto ai 150 casi del 2014) più recentemente il Centre for Disease Control and Prevention (CDC) statunitense ha avuto conferme laboratoristiche di presenza del virus nelle madri e in feti deceduti con microcefalia. La pericolosità di questa infezione virale ha quindi – giustamente – messo in attività e allarme tutte le Autorità sanitarie e governative di ogni Paese al mondo (anche il Comitato delle Olimpiadi 2016), compreso il nostro continente europeo (<http://ec.europa.eu/health/zika/>), il ECDC¹⁶⁸ e il Ministero della Salute italiano che già a gennaio ha emesso la Circolare per le Misure di prevenzione e controllo delle infezioni da Virus Zika. I contenuti di questa Circolare mettono in evidenza la complessità (e i costi) della gestione delle malattie da vettore: non si tratta infatti solo di disinfestazioni (in Brasile è stato impiegato l'esercito per aiutare i 310mila operatori occupati nella disinfestazione dalle zanzare), repellenti, zanzariere o ordinanze comunali ma investe anche allerte per viaggiatori, donne in gravidanza o con programmi di procreazione assistita, donatori di sangue e banche del seme per la prevenzione della trasmissione trasfusionale e di sperma infetto, le compagnie aeree (disinfestazioni a bordo) potenziali "vettori dei vettori". Nonché i controlli alle dogane per prevenire l'introduzione di zanzare infette per mezzo di movimentazioni internazionali di mezzi di trasporto e di merci.

Come già menzionato, il Ministero della Salute in Italia già da anni ha emanato diverse Circolari per la sorveglianza sanitaria ed entomologica di malattie da vettori da virus *Chikungunya*, *Dengue* e *West Nile Disease* e, ora, Zika (www.salute.gov.it). L'ECDC, nato nel 2005, ha avviato da anni molteplici progetti e attività specifiche per le malattie da vettore: mappe interattive sulla distribuzione dei vettori in Europa, epidemiologia dei casi umani, fino ad un portale (*The E3 Geoportal European Environment and Epidemiology (E3) Network*) che utilizza un sistema complesso di dati ambientali, climatici e socio economici per la previsione del rischio di epidemie anche utilizzando modelli predittivi per futuri scenari climatici (<https://e3geoportal.ecdc.europa.eu/SitePages/Home.aspx>).

Tutte queste attività confermano che, se i fattori socioeconomici (mobilità intercontinentale umana e commerciale) spiegano gli spostamenti intercontinentali del vettore e i casi "importati" di pazienti che hanno soggiornato in aree a rischio, sono i fattori ecologici e climatici a favorire il loro insediamento in regioni geografiche storicamente indenni e la potenzialità della trasmissione di patogeni (batteri, virus, parassiti) con sviluppo di epidemie locali. Gli insetti vettori sono infatti organismi ectotermici, non in grado di regolare la propria temperatura e quindi particolarmente sensibili alla temperatura esterna e con un ciclo biologico strettamente regolato da fattori esterni (temperatura/umidità). Ma anche gli agenti infettivi, come i loro vettori sono tipicamente sensibili alle condizioni ambientali in termini di sopravvivenza, riproduzione e moltiplicazione esponenziale del patogeno. Non va dimenticato che possono essere infettate, e per tutta la durata della loro vita (mesi per la zanzara tigre), sia le forme larvali che le zanzare adulte.

Questione ancora aperta sono azioni locali di adattamento ai cambiamenti climatici che potenzino i sistemi integrati di *early warning* e di gestione e controllo ecocompatibili di questi insetti vettori.

¹⁶⁸ European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC).

Malattie infettive da alimenti e cibi contaminati

L'Italia non è esente da rischi di malattie idrotrasmesse. Anomalie termiche ed eventi meteorologici avversi più frequenti ne amplificano il rischio di aumento dell'incidenza. Pur in assenza di un sistema nazionale di sorveglianza di malattie trasmesse con l'acqua, molte evidenze indicano il ruolo del dilavamento di suolo contaminato durante gli 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, acque superficiali e prestazioni dei servizi idrici. Le gastroenteriti e l'epatite A rappresentano le malattie più frequenti.

La contaminazione delle acque superficiali e dei terreni a seguito di eventi alluvionali, l'esposizione degli alimenti a temperature più elevate in tutta la filiera di conservazione, distribuzione e stoccaggio sono tutti fattori di rischio che, contribuiscono all'aumento dell'incidenza di malattie a trasmissione alimentare che richiedono interventi mirati di monitoraggio, sorveglianza e informazione. I sei microrganismi riconosciuti come agenti patogeni più frequenti nelle malattie a trasmissione alimentare quali *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Listeria*, *Norovirus*, *Salmonella* e *Vibrio* non colerico, mostrano diverse sensibilità specifiche per le variabili climatiche (ECDPC 2012).

Negli ultimi decenni 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 (ISS). Temperature più elevate dei mari 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.

Un recente studio ha esaminato la relazione tra condizioni climatiche/cambiamenti stagionali, per quanto riguarda la temperatura e umidità relativa, e l'incidenza di focolai di malattie di origine alimentare in Corea del Sud negli anni 2003-2012. Otto agenti patogeni comunemente associati con malattie di origine alimentare sono stati identificati e l'effetto delle variazioni di temperatura e umidità relativa su ciascuno di loro è stato studiato. *Escherichia coli* patogenico ha avuto la correlazione più forte con temperatura e umidità relativa (0,8998, 0,8803, $p < 0.001$), seguita da *Vibrio parahaemolyticus* (0,6964, 0,8048, $p < 0.05$), *Campylobacter jejuni* (0,6595, 0,6142, $p < 0.05$), *Salmonella* spp. (0,7531, 0,3893, $p = 0,005$, 0,211), e *Bacillus cereus* (0,3556, 0,2040, $p > 0.05$). *Norovirus* ha registrato una forte correlazione negativa con temperatura e umidità relativa (-0,9791, -0,8747, $p < 0.001$), seguito da *Clostridium perfringens* (-0,6457, -0,8635, $p < 0,05$). *Staphylococcus aureus* è risultato invece scarsamente correlato sia con temperatura e umidità relativa (0,1106, -0,1169, $p > 0.05$) (Kim et al. 2015).

Patogeni veicolati dall'acqua e dal cibo

Micotossine. Le recenti condizioni climatiche verificatesi in Italia nel corso dell'estate 2015, caratterizzate da una prolungata siccità, hanno determinato un'accresciuta contaminazione da aflatossine nelle produzioni di mais dell'anno 2015 e nelle produzioni di latte; contaminazione che, in alcuni casi, ha superato i limiti fissati dalla normativa comunitaria. A fronte del superamento dei tenori massimi consentiti di aflatossine, la Regione Lombardia, con nota dell'11 marzo 2016, ha comunicato al Ministero della Salute di aver attivato le "procedure operative straordinarie per la prevenzione e la gestione del rischio contaminazione da aflatossine nella filiera lattiero-casearia e nella produzione del mais". Il Ministero ha ritenuto opportuno sollecitare con una circolare tutti gli assessorati alla sanità delle Regioni e delle Province Autonome a intensificare i controlli ufficiali necessari per la verifica della conformità dei prodotti alimentari e dei mangimi. Negli ultimi anni, infatti, sulla base dei dati della Relazione annuale al PNI 2014 (Ministero della Salute 2015) i prodotti lattieri caseari hanno rilevato un trend ascendente d'irregolarità per

micotossine come mostrato in Figura 1-97. Nel piano di vigilanza 2015¹⁶⁹ si rileva in particolare che la maggior parte delle non conformità di campioni di latte per presenza di aflatossina M1 sono state riscontrate nel secondo semestre del 2015, in considerazione della prolungata siccità estiva, che ha determinato un'accresciuta contaminazione da aflatossine nelle produzioni di mais e di latte.

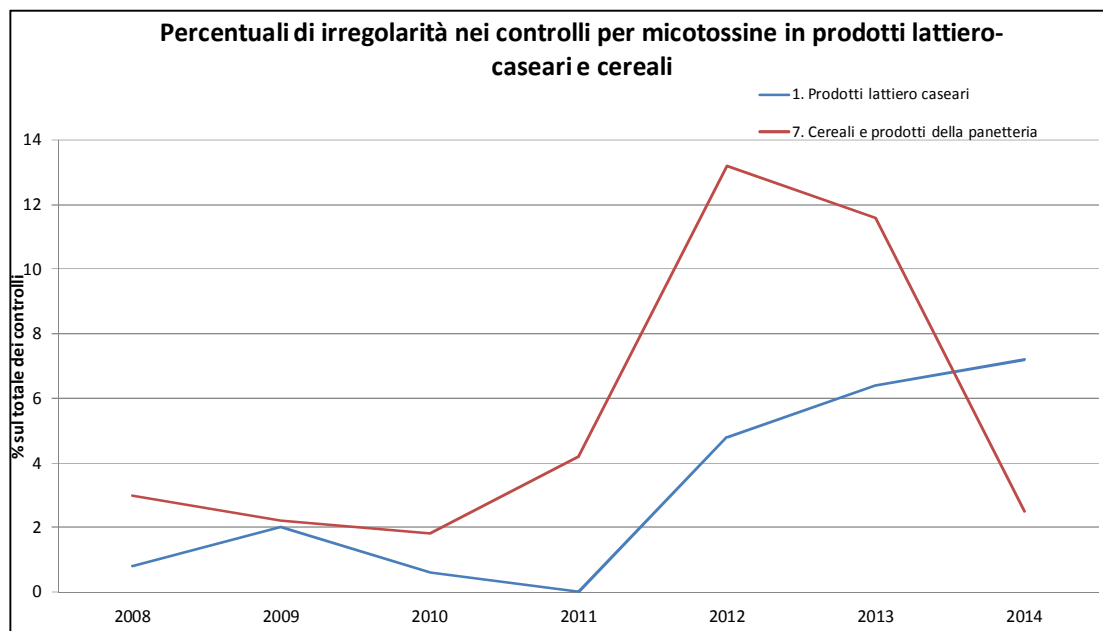


Figura 1-97: Trend delle irregolarità per micotossine registrate nella vigilanza e controllo alimenti e bevande, per prodotti lattiero-caseari e cereali¹⁷⁰.

Salmonella, listeria. Sul totale dei controlli effettuati dallo stesso piano di vigilanza alimenti e bevande, per contaminazioni quali la salmonella e la listeria, la percentuale d'irregolarità si aggira dall'8 al 29% (2008-2015, Figura 1-98), tuttavia si evidenzia una leggera tendenza ascensionale negli anni. Per la *Listeria monocytogenes* si osserva un incremento soprattutto nei prodotti lattiero caseari, nei piatti preparati e nella carne e prodotti a base di carne.

Per la Salmonella, invece, le maggiori non conformità sono osservabili principalmente nei prodotti a base di carne e uova. Si assiste, inoltre, a un aumento rispetto al 2013 nei vegetali (come peraltro evidenziato anche dall'analisi delle notifiche di allerta RASFF), nonché nei prodotti della carne e in piatti preparati.

Oltre a Salmonella e Listeria, la contaminazione più frequente è dovuta ad un'elevata carica batterica di altri patogeni (*E. coli*, Stafilococchi) in prodotti a base di latte. Sono emerse contaminazioni da Stafilococchi ed *E. coli* anche nei prodotti della pesca (Ministero della Salute 2015).

Grazie ai controlli stringenti i casi di salmonellosi sono andati diminuendo costantemente in tutta Europa, tuttavia i casi di un altro batterio dipendente dalla temperatura, il *Campilobacter*, continuano a crescere da anni. Nei grafici (Figura 1-99 e Figura 1-100) il numero di casi / anno registrati in Italia e in tutta Europa (EFSA/ECDC, 2015).

¹⁶⁹ Ministero della Salute, 2016. Piano nazionale Integrato 2015-2018. <http://www.salute.gov.it/pianoNazionaleIntegrato2015/homePianoNazionaleIntegrato2015.jsp>

¹⁷⁰ Elaborazione J.Tuscano ISPRA su dati Ministero Salute 2015.

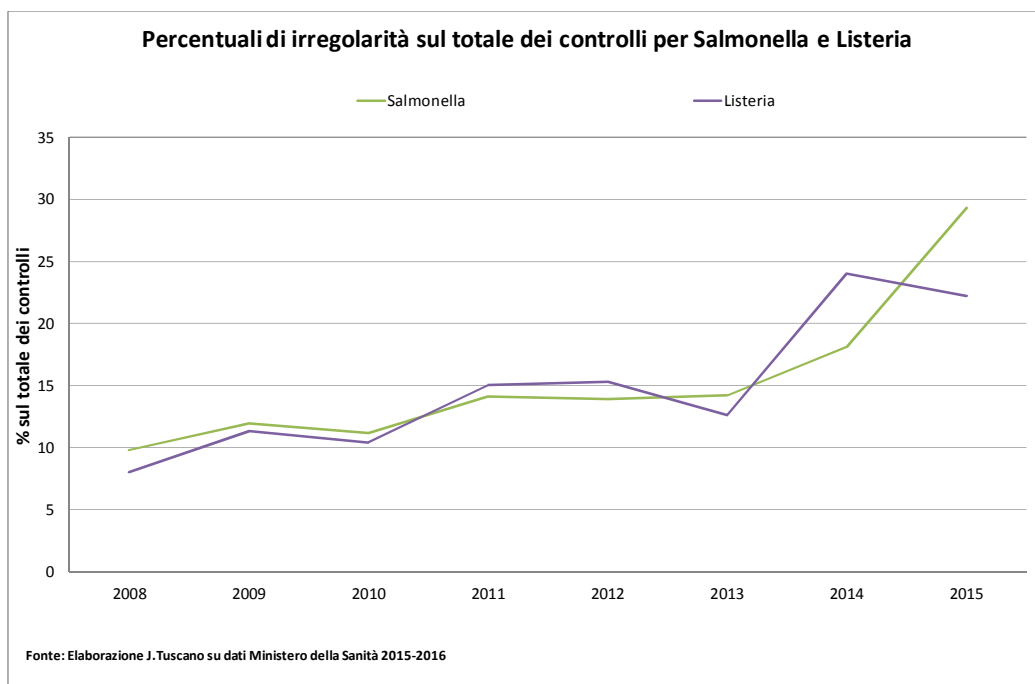


Figura 1-98: Trend delle irregolarità registrate nella vigilanza e controllo alimenti e bevande, per Salmonella e Listeria¹⁷¹.

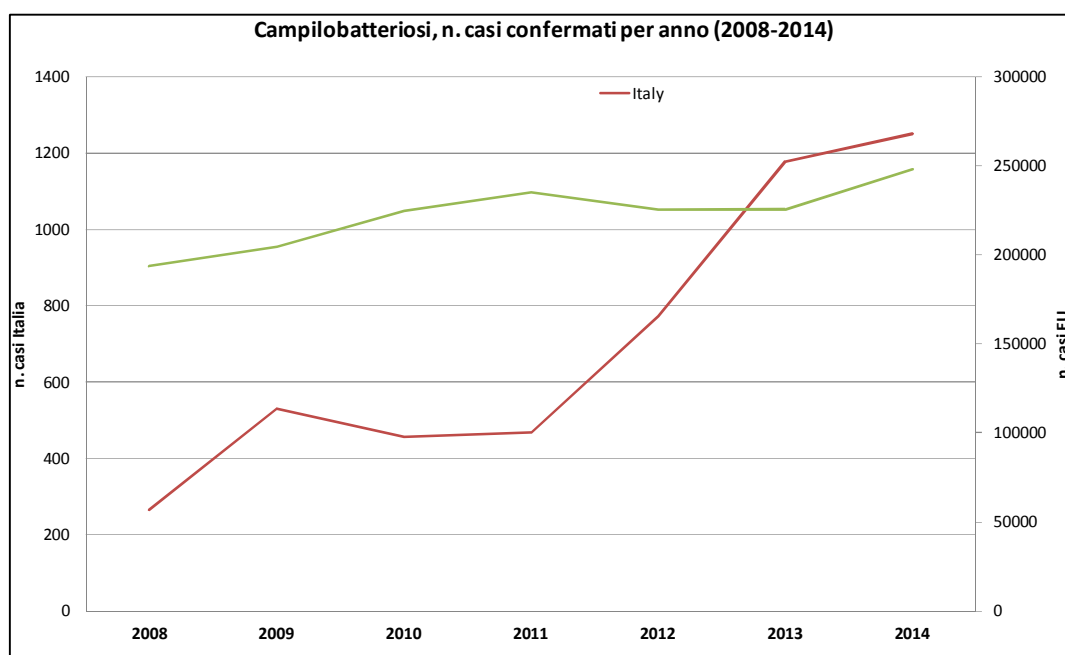


Figura 1-99: Numero di casi / anno registrati in Italia e in Europa per campilobacteriosi (2008-2014)¹⁷².

¹⁷¹ Elaborazione J. Tusciano ISPRA su dati Ministero Salute 2015-2016.

¹⁷² Elaborazione J. Tusciano ISPRA su dati European Food Safety Authority (EFSA) and European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2015.

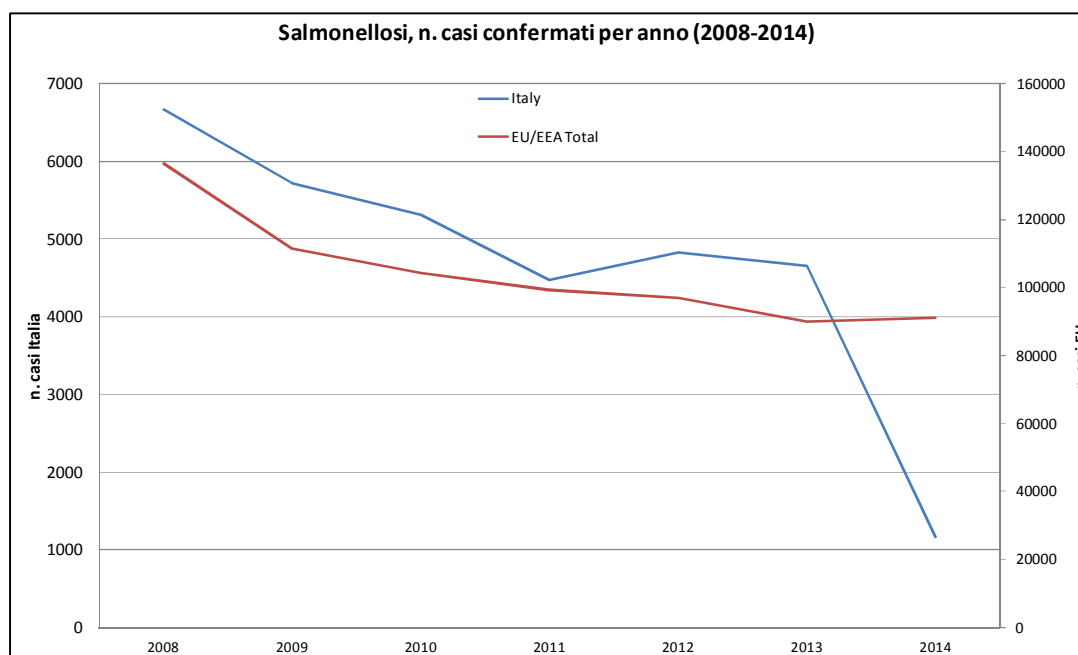


Figura 1-100: Numero di casi / anno registrati in Italia e in Europa per salmonellosi (2008-2014)¹⁷³

Vibrio colera non tossinogeno (balneazione). Hirk et al. (2016) riportano due casi di fascite necrotizzante della parte inferiore della gamba causati da *Vibrio cholerae* non tossinogeno (*V. cholerae* non-O1/non-O139), in due stagni differenti, a 20 km di distanza tra di loro, nella Bassa Austria. I due stagni non erano registrati ufficialmente come balneabili. I campioni di acqua provenienti dai due stagni sono risultati positivi (32 giorni e sette giorni dopo l'esposizione del caso 1 e caso 2, rispettivamente) per *V. cholerae* non-O1/non-O139. Entrambe le vasche sono state ricampionate due settimane dopo con risultati simili. Il 17 e il 18 agosto 2015, 90 dei 175 siti austriaci ufficialmente registrati come balneari sono stati testati per *V. cholerae* con l'individuazione di sette siti di balneazione positivi.

Gli autori commentano che altri casi di *V. cholerae* non-O1/non-O139, con varie manifestazioni cliniche, ma non fascite necrotizzante, sono stati collegati al nuoto nel lago di Neusiedl, in Austria orientale. Gli autori ritengono che questi due casi di fascite necrotizzante potrebbero essere collegati alle condizioni atmosferiche estreme (onda di calore e siccità) che nel corso dell'estate 2015 in Austria, avrebbero sostenuto la crescita di *V. cholerae* non-O1/non-O139 in questi stagni locali (Hirk et al. 2016).

Alluvioni e patogeni veicolati

Castro-Ibáñez et al. (2015) hanno valutato gli effetti di un evento alluvionale, sulla contaminazione microbica di verdure a foglia verde coltivate nella pianura. Per diagnosticare la contaminazione microbica dopo l'evento alluvionale, il campionamento è stato effettuato nella 1, 3, 5 e 7, settimana dopo l'allagamento, in quattro campi di lattuga allagati. Per valutare l'impatto delle inondazioni sulla contaminazione microbica di verdure a foglia verde, sono stati determinati i microrganismi indicatori (coliformi, *Escherichia coli* ed *Enterococcus*) e microrganismi patogeni (*Salmonella* spp, VTEC, *E. coli* O157: H7 e altri *E. coli* produttori verocitotossina, O26, O103, O111, O145 e *Listeria monocytogenes*). Campioni di acqua per l'irrigazione, di terreno e di lattuga hanno mostrato livelli di coliformi ed *E. coli* maggiori di 5 e 3 log CFU/g o 100 ml, rispettivamente, quando campionati 1 settimana dopo le inondazioni. Tuttavia, la conta batterica è diminuita drasticamente a tre settimane dall'inondazione. Le condizioni climatiche dopo l'allagamento, in particolare la radiazione solare (6-8 MJ/m²), hanno influenzato la sopravvivenza dei batteri nel campo. *L. monocytogenes* non è stata rilevata nei campioni di lattuga, fatta eccezione per 2 campioni

¹⁷³ Elaborazione J.Tuscano ISPRA su dati European Food Safety Authority (EFSA) and European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2015.

raccolti 3 settimane dopo l'inondazione. La presenza di Salmonella è stata rilevata nell'acqua d'irrigazione, in suolo e lattuga una settimana dopo l'allagamento. ***E. coli* verotossigenico è stato rilevato in campioni di terreno e di lattuga.** Sebbene non ci sia una chiara correlazione dell'inondazione come fonte di contaminazione del VTEC, la conta dell'*E. coli* nell'acqua di irrigazione è stata positivamente correlata con quella sulla lattuga. Una correlazione significativa ($P < 0,005$) è stata trovata tra la presenza di patogeni e il numero di *E. coli*, evidenziando una maggiore probabilità di rilevamento di agenti patogeni quando vengono trovati elevati livelli di *E. coli*. I risultati ottenuti in questo studio confermano che le inondazioni sono fattore di rischio per la contaminazione microbica delle verdure a foglia (Castro-Ibáñez et al., 2015).

Casi confermati in Europa di verotoxigenic *Escherichia coli* infection (fonte sito web ECDC – *Surveillance Atlas of Infectious Diseases* – ultimo accesso 2 agosto 2016). Alcuni *E. Coli* possono produrre tossine (verotossine) causa di gastroenteriti e altri disturbi. L'esposizione è dovuta all'uso di alimenti e acque contaminate. Dal grafico (Figura 1-101) è possibile notare una tendenza all'aumento dei casi dal 2007 ad oggi, di cui nella mappa vediamo l'abbondanza relativa per Paese nel 2014 e le fasce di età più colpite (in basso a destra).

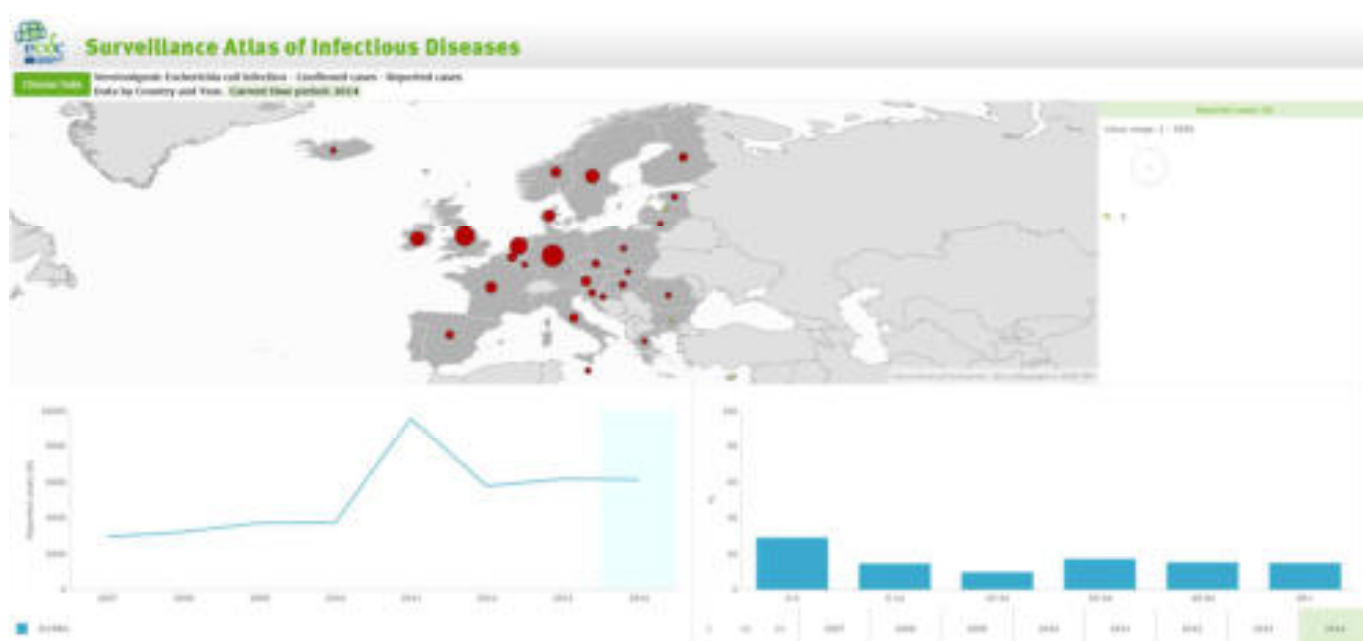


Figura 1-101: Estrapolazione dal sito web ECDC dei casi riportati di *E.Coli* verotossigeno (2014).

Acque di balneazione e fioriture algali

Dopo gli ultimi anni in cui le fioriture dell'alga bentonica di origine tropicale *Ostreopsis* sono state riscontrate nel mediterraneo, ricercatori e autorità competenti hanno messo appunto progetti (M3-HABs <http://m3-habs.net>), e specifici programmi di monitoraggio per la sorveglianza delle microalghe soprattutto nelle zone di balneazione e linee guida per la sensibilizzazione della popolazione al fenomeno. Un opuscolo informativo è stato prodotto dal gruppo di lavoro GIZC-Ramoge (www.ramoge.org) sulla tematica "*Ostreopsis ovata*" nell'ambito dell'accordo RAMOGE (Italia, Monaco e Francia) a cui ISPRA partecipa a supporto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Le fioriture di *Ostreopsis* hanno occorrenza stagionale, specie nei periodi più caldi. Le forti concentrazioni sono favorite da una temperatura elevata dell'acqua ($>25^{\circ}\text{C}$) e da idrodinamismo ridotto (mare calmo). Questa microalga è in grado di produrre tossine, quali la palitossina (PLTX) e alcuni suoi analoghi tra cui le ovatossine (OVTXs) e la mascarenotossina. Il ceppo Mediterraneo tuttavia, sembra produrre quasi esclusivamente ovatossine, che tramite esposizione (inalazione, contatto con le cellule o le tossine

prodotte) può causare una biointossicazione, non letale per l'uomo, di natura parainfluenzale, oppure causa di sofferenze o mortalità nelle comunità bentoniche marine.

L'inalazione dell'aerosol marino contenente le tossine può causare problemi alle vie respiratorie e talvolta irritazioni cutanee e agli occhi, sintomi spesso associati a stati febbrili.



Figura 1-102: Presenza/assenza di *Ostreopsis* sulle coste del Mediterraneo¹⁷⁴.

Ad oggi non sono stati registrati casi di intossicazione tramite l'alimentazione, tuttavia alcuni pesci e frutti di mare potrebbe presentare accumuli di tossine e quindi rappresentare un rischio per la sicurezza alimentare.

Nel 2014, non ci sono state segnalazioni relative a casi di intossicazione umana eccetto che in Puglia, dove alcuni cittadini e turisti sono stati colpiti dalla sindrome simil-influenzale, come riportato sui mezzi di informazione locali, in concomitanza delle fioriture rilevate dall'ARPA. L'ARPA Liguria anche per la stagione 2014, come nelle precedenti (2011, 2012, 2013) ha affiancato al monitoraggio tradizionale un modello previsionale sperimentale in grado di stimare la probabilità d'insorgenza e permanenza di una fioritura algale, a partire dalla previsione meteo (temperatura - pressione - direzione vento). In questa stagione la fascia verde (I livello di rischio) è stata attribuita a tutte le aree monitorate (SNPA 2015).

Vista la rilevanza del fenomeno e degli aspetti sanitari correlati, l'ISS da tempo si occupa di cianobatteri e alghe tossiche. In un recente lavoro sono stati pubblicati i dati relativi a fioriture algali tossiche in corpi idrici interni sul territorio nazionale (1985-2014) descritti nella Figura 1-103 (Bruno et al. 2016).

¹⁷⁴ SNPA 2015.

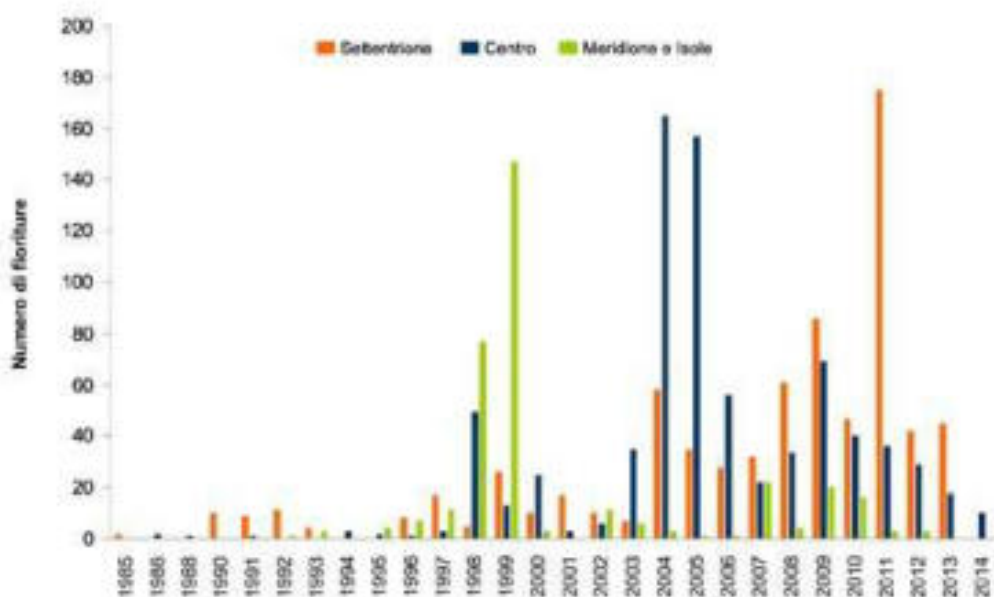


Figura 1-103: Distribuzione delle fioriture tossiche in ambienti idrici interni in Italia (1986-2014)¹⁷⁵.

Clima, alimenti e sicurezza nutrizionale

I cambiamenti climatici incidono su tutti i **fattori fondamentali per la sicurezza alimentare**: presenza/assenza di contaminanti abiotici (pesticidi, metalli pesanti) e biotici (virus, batteri, muffe e tossine biologiche), **accessibilità agli alimenti ma anche le qualità nutrizionali dell'alimento**, ad esempio un ottimale contenuto di proteine, carboidrati, vitamine e sali minerali. La cosiddetta “sindrome da malnutrizione”, di cui si è già parlato nella Strategia (SNACC) infatti è riconosciuta come diretto *outcome* di salute per l'impatto dei cambiamenti climatici sulla *food security* e *safety*.

Qualità nutrizionale. È stato dimostrato da diversi studi che livelli elevati di CO₂ producono ad esempio numerosi cambiamenti fisiologici nelle coltivazioni di riso, come: cambiamenti nella fotosintesi, assorbimento e trasporto nella pianta dei nutrienti, espressione genica e attività enzimatica (Wang et al. 2011). La produzione totale di riso integrale, la resa in proteine, e la resa in ferro sono influenzati negativamente anche dalle concentrazioni di ozono troposferico (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 raffiniosio) erano infatti 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 ridotte. 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 qualità nutrizionale di frutta e verdura dipende da fattori genetici e ambientali. Caratteristiche del suolo, temperatura, luce e CO₂ sono i principali fattori che determinano la qualità dei prodotti dell'orticoltura. La maggior parte dei nutrienti salutari, tra cui vitamine, minerali e antiossidanti sono forniti attraverso frutta e verdura. Tuttavia, il cambiamento del clima influisce sulla qualità di molti frutti e verdure. In studi effettuati, l'elevata CO₂ ha migliorato la quantità di vitamina C, zuccheri, acidi e carotenoidi in arance, pomodori e fragole. Un effetto positivo della CO₂ è stato osservato anche sulla

¹⁷⁵ Bruno et al. 2016.

capacità antiossidante totale, fenoli e antociani nella frutta e olio di palma. Tuttavia, l'elevata CO₂ può diminuire il contenuto proteico e minerale dei prodotti. Lo stress da alta temperatura al contrario è noto diminuire la vitamina C, amido, zuccheri e molti antiossidanti in particolare antociani e composti aromatici volatili in frutti. Un grave stress idrico diminuisce la qualità di frutta e verdura. Una temperatura più elevata associata allo stress idrico porteranno ad una definitiva riduzione della qualità di frutta e verdura in termini di vitamine, antiossidanti e minerali (Shivashankara et al. 2013).

Le deficienze nutrizionali di zinco e ferro sono ancora un problema di salute globale sostanziale. Sono stati stimati circa 2 miliardi di persone che ne soffrono con una perdita di 63 milioni di anni di vita persi per anno. Molte di queste persone hanno una dieta dipendente da grano (piante di tipo C₃) e legumi come fonte primaria di zinco e ferro. I grani C₃ e i legumi hanno basse concentrazioni di zinco e ferro quando crescono in condizioni di elevata CO₂, caratteristici delle previsioni per la metà del secolo. Mostrano anche basse concentrazioni di proteine, mentre le coltivazioni C₄ non sembrano esserne affette (Myers et al. 2014).

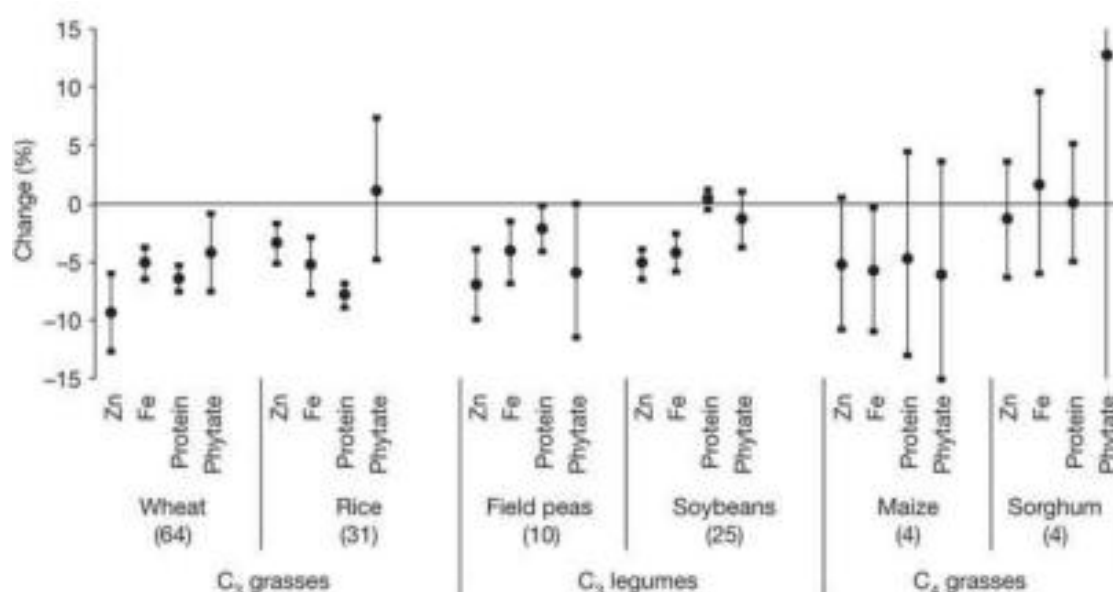


Figura 1-104: Variazioni percentuali in nutrienti per coltivazione (con intervallo di confidenza 95%) confrontati in condizioni di CO₂ elevata e ambientale¹⁷⁶.

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.

In un recente studio sono state indagate le condizioni climatiche storicamente presenti nelle date di raccolta di uve da vino, nel periodo 1600-2007, in Francia e Svizzera, utilizzando dati storici. I primi raccolti si hanno generalmente con temperature più calde (-6 giorni/°C) e ritardano in condizioni di pioggia (+0.07 giorni /mm) durante la primavera e l'estate. Negli ultimi decenni (1981-2007), tuttavia, il rapporto tra i tempi di raccolta e la siccità è cambiato. Storicamente, le temperature estive dell'Europa occidentale, che

¹⁷⁶ Myers et al. 2014.

accelerano la maturazione della frutta, richiedevano contemporanee condizioni di siccità perché si generassero condizioni di forte caldo. Il rapporto fra siccità e temperatura in questa regione, tuttavia, si è indebolito negli ultimi decenni e col riscaldamento da gas serra possono generarsi quelle elevate temperature necessarie ai primi raccolti anche in assenza di siccità. Questo suggerisce che il cambiamento climatico ha radicalmente modificato i *driver* climatici per i primi raccolti di uve da vino in Francia, con possibili implicazioni per la gestione viticoltura e qualità del vino (Cook and Wolkovich 2016).

In aggiunta ai vari effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura va segnalata, sotto il profilo dell'esposizione al rischio chimico per la popolazione e per i lavoratori addetti, l'interazione con l'aumento dell'uso di pesticidi e fertilizzanti nell'ambiente a causa sia di pregresse vulnerabilità ambientali (perdita di biodiversità, uso intensivo del suolo) che dell'aumento clima sensibile della distribuzione geografica e insediamento di nuove specie infestanti delle piante che richiedono un aumento e/o nuovi pesticidi. Alti livelli di ozono e temperature più elevate concorrono a tale eventualità potendo causare, rispettivamente, un aumento della resistenza al pesticida e un'accelerazione della loro degradazione. In aggiunta, l'alterato pattern della piovosità e l'incremento dell'aridità del suolo possono condurre ad un alterato trasporto e persistenza dei pesticidi nell'ambiente influenzando anche sulla qualità di aree destinate a colture biologiche di alimenti, sostanze naturali per prodotti salutistici (es. integratori), piante officinali.

2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Abegg B, Agrawala S, Crick F, de Montfalcon A (2007) Climate change impacts and adaptations in winter tourism. In: S. Agrawala (ed) *Climate change in the European Alps: Adapting winter tourism and natural hazard management*. OECD Publishing, Paris, pp 25–60
- Abella A, Fiorentino F, Mannini A, Relini LO (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). *J Mar Syst* 71:279–293 . doi: 10.1016/j.jmarsys.2007.05.010
- Adloff F, Somot S, Sevault F, et al (2015) Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. *Clim Dyn* 45:2775–2802 . doi: 10.1007/s00382-015-2507-3
- Ainsworth EA, Long SP (2004) What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytol* 165:351–372 . doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01224.x
- AISCAT (2015) AISCAT in cifre 2015
- Alborali L (2006) Climatic Variations Related to Fish Diseases and Production. *Vet Res Commun* 30:93–97 . doi: 10.1007/s11259-006-0019-7
- Alcamo J, Moreno JM, Nováky B, et al (2007) Europe. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden CEH (eds) *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, pp 541–580
- Alexander JM, Diez JM, Hart SP, Levine JM (2016) When Climate Reshuffles Competitors: A Call for Experimental Macroecology. *Trends Ecol Evol* 31:831–841 . doi: 10.1016/j.tree.2016.08.003
- Alila Y, Kuraś PK, Schnorbus M, Hudson R (2009) Forests and floods: A new paradigm sheds light on age-old controversies. *Water Resour Res* 45: . doi: 10.1029/2008wr007207
- Alkemade R, Bakkenes M, Eickhout B (2011) Towards a general relationship between climate change and biodiversity: an example for plant species in Europe. *Reg Environ Chang* 11:143–150 . doi: 10.1007/s10113-010-0161-1
- Allard V, Newton PCD, Lieffering M, et al (2003) Nitrogen cycling in grazed pastures at elevated CO₂: N returns by ruminants. *Glob Chang Biol* 9:1731–1742 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2003.00711.x
- Allegrezza M, Ballelli S, Mentoni M, et al (2013) Biodiversity in the Sibillini Mountain range (Sibillini National Park, central Apennines): the example of Piè Vettore. *Plant Sociol* 50:57–89 . doi: 10.7338/pls2013501/06
- Amanti M, Berti D, Lucarini M, Troccoli A (2014) Eventi Estremi di Precipitazione e Criticità Geologico-Idrauliche nell'area Urbana della Capitale. In: Gaudioso D, Giordano F, Taurino E, et al. (eds) *Focus sulle città e la sfida dei cambiamenti climatici*. p 171
- Ambrosetti W, Barbanti L (2002) Physical limnology of Italian lakes. 1. Relationship between morphometry and heat content. *J Limnol* 61:147 . doi: 10.4081/jlimnol.2002.147
- Ambrosetti W, Barbanti L, Rolla A (2006) The climate of Lago Maggiore area during the last fifty years. *J Limnol* 65:1 . doi: 10.4081/jlimnol.2006.s1.1
- Amelung B, Moreno A (2009) Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA-Tourism study. Seville (Spain)
- Ammassari P, Valentini R, Zaccarini Bonelli C, Bonati G (2011) Libro bianco. Sfide e opportunità dello sviluppo rurale per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Rete Rurale Nazionale 2007-2013, Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
- Andersen HE, Kronvang B, Larsen SE, et al (2006) Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Sci Total Environ* 365:223–237 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.02.036

- Andreu V, Imeson AC, Rubio JL (2001) Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *CATENA* 44:69–84 . doi: 10.1016/s0341-8162(00)00177-6
- Anto JM, Sunyer J (1997) Thunderstorms: a risk factor for asthma attacks. *Thorax* 52:669–670 . doi: 10.1136/thx.52.8.669
- Antonoli F, Silenzi S (2009) Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane. In: Castellari S, Artale V (eds) *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bononia University Press, Bologna
- APAT (2007) Conferenza Nazionale Cambiamenti Climatici 2007. Sintesi dei lavori. Roma
- APAT-OMS (2007) Cambiamenti climatici ed eventi estremi: rischi per la salute in Italia
- Artale V, Rupolo V, Raicich F, et al (2009) Variabilità, trend e cambiamenti climatici delle masse d'acqua del Mediterraneo nel XX secolo. In: Castellari S, Artale V (eds) *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bononia University Press, Bologna, pp 359–399
- Åström DO, Schifano P, Asta F, et al (2015) The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: a cohort study of a mediterranean and a northern European City. *Environ Heal* 14: . doi: 10.1186/s12940-015-0012-0
- Audsley E, Pearn KR, Simota C, et al (2006) What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not? *Environ Sci {&} Policy* 9:148–162 . doi: 10.1016/j.envsci.2005.11.008
- Azzurro E (2016) New species in the Adriatic Sea: what to do, how to recognize them. A guide for small scale and sport fishing. Roma
- Azzurro E, Moschella P, Maynou F (2011) Tracking Signals of Change in Mediterranean Fish Diversity Based on Local Ecological Knowledge. *PLoS One* 6: . doi: 10.1371/journal.pone.0024885
- Bacciu V, Masala F, Spano D, Sirca C (2014) Trends and changes of fire danger in Italy and its relationships with fire activity (1985–2008). In: *Advances in forest fire research*. Coimbra University Press, pp 1759–1768
- Bacciu V, Salis M, Spano D (2015) Modeling Fire Emissions across Central and Southern Italy: Implications for Land and Fire Management. *Am Geophys Union, Fall Meet 2015, Abstr {#}NH31A-1876*
- Backhaus S, Wiehl D, Beierkuhnlein C, et al (2014) Warming and drought do not influence the palatability of *Quercus pubescens* Willd. leaves of four European provenances. *Arthropod Plant Interact* 8:329–337 . doi: 10.1007/s11829-014-9313-4
- Bagella S, Satta A, Floris I, et al (2013) Effects of plant community composition and flowering phenology on honeybee foraging in Mediterranean sylvo-pastoral systems. *Appl Veg Sci* 16:689–697 . doi: 10.1111/avsc.12023
- Bakun A (1990) Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science* (80-) 247:198–201 . doi: 10.1126/science.247.4939.198
- Baldassarre G Di, Montanari A, Lins H, et al (2010) Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation. *Geophys Res Lett* 37: . doi: 10.1029/2010gl045467
- Barnett AG, Hajat S, Gasparrini A, Rocklöv J (2012) Cold and heat waves in the United States. *Environ Res* 112:218–224 . doi: 10.1016/j.envres.2011.12.010
- Bartolini G, Messeri A, Grifoni D, et al (2013) Recent trends in seasonal and annual precipitation indices in Tuscany (Italy). *Theor Appl Climatol* 118:147–157 . doi: 10.1007/s00704-013-1053-3
- 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. *Fish Res* 92:277–288 . doi: 10.1016/j.fishres.2008.01.007
- Baser N, Quantar M, Broutou O, et al (2015) First finding of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in Apulia, Italy, and its population dynamics throughout the year. *Fruits* 70:225–230 . doi: 10.1051/fruits/2015016

- Basu R, Malig B, Ostro B (2010) High Ambient Temperature and the Risk of Preterm Delivery. *Am J Epidemiol* 172:1108–1117 . doi: 10.1093/aje/kwq170
- Battipaglia G, De Micco V, Brand WA, et al (2014) Drought impact on water use efficiency and intra-annual density fluctuations in *Erica arborea* on Elba (Italy). *Plant, Cell Environ* 37:382–391 . doi: 10.1111/pce.12160
- Battisti A (2008) Forests and climate change - lessons from insects. *iForest - Biogeosciences For* 1:1–5 . doi: 10.3832/for0210-0010001
- Battisti A, Paoletti E, Ragazzi A (2009) Silviculture and forest protection: results and prospects from third Italian National Congress of Silviculture. *For - Riv di Selvic ed Ecol For* 6:66–74 . doi: 10.3832/efor0570-006
- Bauman A (1996) Asthma associated with thunderstorms. *BMJ* 312:590–591 . doi: 10.1136/bmj.312.7031.590
- Bayram H, Devalia JL, Khair OA, et al (1998) Comparison of ciliary activity and inflammatory mediator release from bronchial epithelial cells of nonatopic nonasthmatic subjects and atopic asthmatic patients and the effect of diesel exhaust particles in vitro. *J Allergy Clin Immunol* 102:771–782 . doi: 10.1016/s0091-6749(98)70017-x
- Bayram H, Devalia JL, Khair OA, et al (1999) Effect of loratadine on nitrogen dioxide-induced changes in electrical resistance and release of inflammatory mediators from cultured human bronchial epithelial cells. *J Allergy Clin Immunol* 104:93–99 . doi: 10.1016/s0091-6749(99)70119-3
- Bayram H, Rusznak C, Khair OA, et al (2002) Effect of ozone and nitrogen dioxide on the permeability of bronchial epithelial cell cultures of non-asthmatic and asthmatic subjects. *Clin Exp Allergy* 32:1285–1292 . doi: 10.1046/j.1365-2745.2002.01435.x
- Bazzoni AM, Caddeo T, Pulina S, et al (2015) Spatial distribution and multiannual trends of potentially toxic microalgae in shellfish farms along the Sardinian coast (NW Mediterranean Sea). *Environ Monit Assess* 187: . doi: 10.1007/s10661-014-4250-3
- Beaufort L, Probert I, de Garidel-Thoron T, et al (2011) Sensitivity of coccolithophores to carbonate chemistry and ocean acidification. *Nature* 476:80–83 . doi: 10.1038/nature10295
- Beaumont NJ, Austen MC, Atkins JP, et al (2007) Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach. *Mar Pollut Bull* 54:253–265 . doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.12.003
- Bedia J, Herrera S, Camia A, et al (2013) Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Clim Change* 122:185–199 . doi: 10.1007/s10584-013-1005-z
- Bellomo R, Gigliotti P, Treloar A, et al (1992) Two consecutive thunderstorm associated epidemics of asthma in the city of Melbourne. The possible role of rye grass pollen. *Med J Aust* 156:834–837
- Benavente D, Brimblecombe P, Grossi CM (2008) Salt weathering and climate change in Trends in Analytical, Environmental and Cultural Heritage Chemistry. In: Colombini MP, Tassi L (eds). *TSN Trivandrum*, pp 277–286
- Benítez-Gilabert M, Alvarez-Cobelas M, Angeler DG (2010) Effects of climatic change on stream water quality in Spain. *Clim Change* 103:339–352 . doi: 10.1007/s10584-009-9778-9
- Bernabucci U, Biffani S, Buggiotti L, et al (2014) The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J Dairy Sci* 97:471–486 . doi: 10.3168/jds.2013-6611
- Bernacchi CJ, Kimball BA, Quarles DR, et al (2007) Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of CO₂ are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. *Plant Physiol* 143:134–144 . doi: 10.1104/pp.106.089557
- Bertini G, Amoriello T, Fabbio G, Piovosi M (2011) Forest growth and climate change: evidences from the ICP-Forests intensive monitoring in Italy. *iForest - Biogeosciences For* 4:262–267 . doi:

10.3832/for0596-004

- Bertocchi L, Vitali A, Lacetera N, et al (2014) Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. *animal* 8:667–674 . doi: 10.1017/s1751731114000032
- Bertora C, Zavattaro L, Sacco D, et al (2009) Soil organic matter dynamics and losses in manured maize-based forage systems. *Eur J Agron* 30:177–186 . doi: 10.1016/j.eja.2008.09.006
- Besson M, Vandeputte M, van Arendonk JAM, et al (2016) Influence of water temperature on the economic value of growth rate in fish farming: The case of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) cage farming in the Mediterranean. *Aquaculture* 462:47–55 . doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.04.030
- Beveren E Van, Bonhommeau S, Fromentin J-M, et al (2014) Rapid changes in growth, condition, size and age of small pelagic fish in the Mediterranean. *Mar Biol* 161:1809–1822 . doi: 10.1007/s00227-014-2463-1
- Bianchi CN (2007) Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 580:7–21 . doi: 10.1007/s10750-006-0469-5
- Biffani S, Bernabucci U, Vitali A, et al (2016) Short communication: Effect of heat stress on nonreturn rate of Italian Holstein cows. *J Dairy Sci* 99:5837–5843 . doi: 10.3168/jds.2015-10491
- Bindi M, Ferrini F, Miglietta F (1992) Climatic change and the shift in the cultivated area of olive trees. *J Agric Mediterr* 22:41–44
- Bindi M, Fibbi L, Miglietta F (2001) Free Air {CO₂} Enrichment ({FACE}) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): {II}. Growth and quality of grape and wine in response to elevated {CO₂} concentrations. *Eur J Agron* 14:145–155 . doi: 10.1016/s1161-0301(00)00093-9
- Bindi M, Miglietta F, Vaccari F, et al (2005) Growth and Quality Responses of Potato to Elevated CO₂. In: Nösberger J (ed) *Managed Ecosystems and CO₂: case studies, processes and perspectives*,. Springer Nature, pp 105–119
- Bindi M, Olesen JE (2010) The responses of agriculture in Europe to climate change. *Reg Environ Chang* 11:151–158 . doi: 10.1007/s10113-010-0173-x
- Biot Y, Mavsar R (2009) Wildfires Impact in 3D: Environment, Economy, Society. In: *Living with wildfires: what science can tell us. A contribution to the science-policy dialogue*, EFI Discus. European Forest Institute, Joensuu, Finland, pp 33–37
- Blois JL, Zarnetske PL, Fitzpatrick MC, Finnegan S (2013) Climate Change and the Past, Present, and Future of Biotic Interactions. *Science* (80-) 341:499–504 . doi: 10.1126/science.1237184
- Bobb JF, Obermeyer Z, Wang Y, Dominici F (2014) Cause-Specific Risk of Hospital Admission Related to Extreme Heat in Older Adults. *JAMA* 312:2659 . doi: 10.1001/jama.2014.15715
- Bocchiola D (2015) Impact of potential climate change on crop yield and water footprint of rice in the Po valley of Italy. *Agric Syst* 139:223–237 . doi: 10.1016/j.agsy.2015.07.009
- Bocchiola D, Nana E, Soncini A (2013) Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agric Water Manag* 116:50–61 . doi: 10.1016/j.agwat.2012.10.009
- Boero F (2014) The future of the Mediterranean Sea Ecosystem: towards a different tomorrow. *Rend Lincei* 26:3–12 . doi: 10.1007/s12210-014-0340-y
- Boero F, Bonsdorff E (2007) A conceptual framework for marine biodiversity and ecosystem functioning. *Mar Ecol* 28:134–145 . doi: 10.1111/j.1439-0485.2007.00171.x
- Boero F, Bouillon J, Gravili C, et al (2008) Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes). *Mar Ecol Prog Ser* 356:299–310 . doi: 10.3354/meps07368
- Boero F, Brotz L, Gibbons MJ, et al (2016) Impacts and effects of ocean warming on jellyfish. In: Laffoley D, Baxter JM (eds) *Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences*. Full report. IUCN, Gland, Switzerland, pp 213–237
- Boero F, Carlton J, Briand F, et al (2013) Marine Extinctions. Patterns and Processes. CIESM Work 342

Monogr 45:5–19

- Boero F, Putti M, Trainito E, et al (2009) First records of *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora) from the Ligurian, Thyrrenian and Ionian Seas (Western Mediterranean) and first record of *Phyllorhiza punctata* (Cnidaria) from the Western Mediterranean. *Aquat Invasions* 4:675–680 . doi: 10.3391/ai.2009.4.4.13
- Bonafede F, Ubaldi D, Vignodelli M, et al (2014) Vegetation changes during a 30 year period in several stands above the forest line (emilian-apennines). *Plant Sociol* 51:5–18 . doi: 10.7338/pls2014511/02
- Bonanno R, Faggian P (2016) Estimating risks for Italian Energy Sector from Projected Climate Change. In: First SEERC Power Conference Portoroz, Slovenia, 7th–8th June 2016
- Bonazza A, Brimblecombe P, Grossi CM, Sabbioni C (2007) Carbon in Black Crusts from the Tower of London. *Environ Sci Technol* 41:4199–4204 . doi: 10.1021/es062417w
- Bonazza A, Messina P, Sabbioni C, et al (2009a) Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe. *Sci Total Environ* 407:2039–2050 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.10.067
- Bonazza A, Sabbioni C, Messina P, et al (2009b) Climate change impact: Mapping thermal stress on Carrara marble in Europe. *Sci Total Environ* 407:4506–4512 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.04.008
- Bonte M, Zwolsman JGG (2010) Climate change induced salinisation of artificial lakes in the Netherlands and consequences for drinking water production. *Water Res* 44:4411–4424 . doi: 10.1016/j.watres.2010.06.004
- Bonzon K, McIlwain K, Strauss KC, Val Leuvan T (2010) Catch share design manual: a guide for managers and fishermen
- Bopp L, Monfray P, Aumont O, et al (2001) Potential impact of climate change on marine export production. *Global Biogeochem Cycles* 15:81–99 . doi: 10.1029/1999gb001256
- Bopp L, Resplandy L, Orr JC, et al (2013) Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences* 10:6225–6245 . doi: 10.5194/bg-10-6225-2013
- Bosch-Belmar M, Giomi F, Rinaldi A, et al (2016a) Concurrent environmental stressors and jellyfish stings impair caged European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) physiological performances. *Sci Rep* 6: . doi: 10.1038/srep27929
- Bosch-Belmar M, M'Rabet C, Dhaouadi R, et al (2016b) Jellyfish Stings Trigger Gill Disorders and Increased Mortality in Farmed *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758) in the Mediterranean Sea. *PLoS One* 11:e0154239 . doi: 10.1371/journal.pone.0154239
- Bowes MJ, Gozzard E, Johnson AC, et al (2012) Spatial and temporal changes in chlorophyll-a concentrations in the River Thames basin, UK: Are phosphorus concentrations beginning to limit phytoplankton biomass? *Sci Total Environ* 426:45–55 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.02.056
- Boxall ABA (2014) Global Climate Change and Environmental Toxicology. In: *Encyclopedia of Toxicology*, Third Edit. Elsevier BV, pp 736–740
- Boxall ABA, Hardy A, Beulke S, et al (2008) Impacts of Climate Change on Indirect Human Exposure to Pathogens and Chemicals from Agriculture. *Environ Health Perspect* 117:508–514 . doi: 10.1289/ehp.0800084
- Boyes SJ, Elliott M (2014) Marine legislation - The ultimate 'horrendogram': International law, European directives & national implementation. *Mar Pollut Bull* 86:39–47 . doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.06.055
- Brambilla M, Caprio E, Assandri G, et al (2017) A spatially explicit definition of conservation priorities according to population resistance and resilience, species importance and level of threat in a changing climate. *Divers Distrib*. doi: 10.1111/ddi.12572
- Brambilla M, Pedrini P (2016) Modelling at the edge: habitat types driving the occurrence of common forest bird species at the altitudinal margin of their range. *Ornis Fenn* 93:88–99

- Brambilla M, Pedrini P, Rolando A, Chamberlain DE (2016) Climate change will increase the potential conflict between skiing and high-elevation bird species in the Alps. *J Biogeogr* 43:2299–2309 . doi: 10.1111/jbi.12796
- Brander K (2010) Impacts of climate change on fisheries. *J Mar Syst* 79:389–402 . doi: 10.1016/j.jmarsys.2008.12.015
- 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. *J Phys Oceanogr* 31:2307–2320 . doi: 10.1175/1520-0485(2001)031<2307:acotml>2.0.co;2
- Braunisch V, Coppes J, Arlettaz R, et al (2014) Temperate Mountain Forest Biodiversity under Climate Change: Compensating Negative Effects by Increasing Structural Complexity. *PLoS One* 9:e97718 . doi: 10.1371/journal.pone.0097718
- Bressan M, Chinellato A, Munari M, et al (2014) Does seawater acidification affect survival, growth and shell integrity in bivalve juveniles? *Mar Environ Res* 99:136–148 . doi: 10.1016/j.marenvres.2014.04.009
- Brierley AS, Kingsford MJ (2009) Impacts of Climate Change on Marine Organisms and Ecosystems. *Curr Biol* 19:R602–R614 . doi: 10.1016/j.cub.2009.05.046
- Bright C (2000) Fare i conti con le sorprese ambientali. In: Brown L (ed) *State of the World 2000. Stato del pianeta e sostenibilità. Rapporto annuale*. Edizioni Ambiente, Milano, p 303
- Brilli L, Gioli B, Toscano P, et al (2016) Rainfall regimes control C-exchange of Mediterranean olive orchard. *Agric Ecosyst & Environ* 233:147–157 . doi: 10.1016/j.agee.2016.09.006
- Brimblecombe P, Grossi CM (2009) Millennium-long damage to building materials in London. *Sci Total Environ* 407:1354–1361 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.09.037
- Brimblecombe P, Grossi MC, Harris I (2006) *Climate change critical to cultural heritage, Heritage Weathering and Conservation*. Taylor and Francis, London, UK
- Brotons L, Aquilué N, de Cáceres M, et al (2013) How Fire History, Fire Suppression Practices and Climate Change Affect Wildfire Regimes in Mediterranean Landscapes. *PLoS One* 8:e62392 . doi: 10.1371/journal.pone.0062392
- Brugère C, De Young C (2015) *Assessing climate change vulnerability in fisheries and aquaculture: Available methodologies and their relevance for the sector*. Rome
- Brunetti M (2004) Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years. *J Geophys Res* 109: . doi: 10.1029/2003jd004296
- Brunetti M, Buffoni L, Maugeri M, Nanni T (2000a) Precipitation intensity trends in northern Italy. *Int J Climatol* 20:1017–1031 . doi: 10.1002/1097-0088(200007)20:9<1017::AID-JOC515>3.0.CO;2-S
- Brunetti M, Buffoni L, Maugeri M, Nanni T (2000b) Precipitation intensity trends in northern Italy. *Int J Climatol* 20:1017–1031 . doi: 10.1002/1097-0088(200007)20:9<1017::aid-joc515>3.0.co;2-s
- Bruno M, Roazzi P, Volpi F, et al (2016) *Database nazionale sulle fioriture algali tossiche - Rapporti ISTISAN 16/8*
- Bultel E, Le Manac F, Ulman A, Pauly D (2015) *Catch reconstruction for the French Mediterranean Sea, 1950-2010*. Vancouver
- Burrows MT, Schoeman DS, Buckley LB, et al (2011) The Pace of Shifting Climate in Marine and Terrestrial Ecosystems. *Science* (80-) 334:652–655 . doi: 10.1126/science.1210288
- Bussi G, Whitehead PG, Bowes MJ, et al (2016) Impacts of climate change, land-use change and phosphorus reduction on phytoplankton in the River Thames (UK). *Sci Total Environ In review*: . doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.109
- Butscher C, Huggenberger P (2009) Modeling the temporal variability of karst groundwater vulnerability, with implications for climate change. *Environ Sci Technol* 43:1665–1669 . doi: 10.1021/es801613g
- Caffarra A, Rinaldi M, Eccel E, et al (2012) Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew.

- Agric Ecosyst Environ 148:89–101 . doi: 10.1016/j.agee.2011.11.017
- Caldeira K, Wickett ME (2003) Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean {pH}. *Nature* 425:365 . doi: 10.1038/425365a
- Callaway R, Shinn AP, Grenfell SE, et al (2012) Review of climate change impacts on marine aquaculture in the {UK} and Ireland. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst* 22:389–421 . doi: 10.1002/aqc.2247
- Calvo S, Di Maida G, Orestano, C., Pirrotta M, Tomasello A (2009) The Stagnone of Marsala Lagoon. In: Cecere E, Petrocelli A, Izzo G, Sfriso A (eds) *Flora and vegetation of the Italian Transitional systems. CORILA. Multigraf Spinea, Venezia*, pp 247–265
- Canestrelli D, Zampiglia M, Nascetti G, et al (2013) Widespread Occurrence of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Contemporary and Historical Samples of the Endangered *Bombina pachypus* along the Italian Peninsula. *PLoS One* 8:e63349 . doi: 10.1371/journal.pone.0063349
- Cannone N, Pignatti S (2014) Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes? *Clim Change* 123:201–214 . doi: 10.1007/s10584-014-1065-8
- Cardil A, Salis M, Spano D, et al (2014) Large wildland fires and extreme temperatures in Sardinia (Italy). *iForest - Biogeosciences For* 7:162–169 . doi: 10.3832/for1090-007
- Carvalho L, Kirika A (2003) Changes in shallow lake functioning: response to climate change and nutrient reduction. *Hydrobiologia* 506:789–796 . doi: 10.1023/b:hydr.0000008600.84544.0a
- Castellari S, Venturini S, Ballarin Denti A, et al (2014a) 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
- Castellari S, Venturini S, Giordano F, et al (2014b) Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma
- Castellari S, Venturini S, Pozzo B, et al (2014c) Analisi della normativa comunitaria e nazionale rilevante per gli impatti, la vulnerabilità e l’adattamento ai cambiamenti climatici. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma
- Castellnou M (2011) Experiencia adquirida en los grandes incendios de Catalunya. In: Rodriguez-Silva F (ed) *Lecciones aprendidas en los grandes incendios forestales. SECF-Universidad de Córdoba-MIMARM, Cordoba, Spain*, pp 147–160
- Castro-Ibáñez I, Gil MI, Tudela JA, Allende A (2015) Microbial safety considerations of flooding in primary production of leafy greens: A case study. *Food Res Int* 68:62–69 . doi: 10.1016/j.foodres.2014.05.065
- Cataudella S, Spagnolo M (2011) Lo stato della pesca e dell’acquacoltura nei mari italiani. MIPAAF
- Ceccherelli G, Padedda BM, Sechi N (2009) The Brackish lakes of Sardinia. In: Cecere E, Petrocelli A, Izzo G, Sfriso. A (eds) *Flora and vegetation of the Italian Transitional systems. CoRiLa, LaguNet & Multigraf Spinea*, pp 125–135
- Cecchi L, Malaspina TT, Albertini R, et al (2007) The contribution of long-distance transport to the presence of *Ambrosia* pollen in central northern Italy. *Aerobiologia (Bologna)* 23:145–151 . doi: 10.1007/s10453-007-9060-4
- Centritto M, Tognetti R, Leitgeb E, et al (2010) Above Ground Processes: Anticipating Climate Change Influences. In: *Forest Management and the Water Cycle*. Springer Nature, pp 31–64
- Ceola S, Laio F, Montanari A (2014) Satellite nighttime lights reveal increasing human exposure to floods worldwide. *Geophys Res Lett* 41:7184–7190 . doi: 10.1002/2014gl061859
- Ceola S, Laio F, Montanari A (2015) Human-impacted waters: New perspectives from global high-resolution monitoring. *Water Resour Res* 51:7064–7079 . doi: 10.1002/2015wr017482
- Cerrano C, Bavestrello G, Bianchi CN, et al (2000) A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecol Lett* 3:284–293 . doi: 10.1046/j.1461-0248.2000.00152.x
- Chamberlain D, Brambilla M, Caprio E, et al (2016) Alpine bird distributions along elevation gradients:

- the consistency of climate and habitat effects across geographic regions. *Oecologia* 181:1139–1150 . doi: 10.1007/s00442-016-3637-y
- Chang H (2004) Water Quality Impacts of Climate and Land Use Changes in Southeastern Pennsylvania. *Prof Geogr* 56:240–257 . doi: 10.1111/J.0033-0124.2004.05602008.X
- Cheaib A, Badeau V, Boe J, et al (2012) Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecol Lett* 15:533–544 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01764.x
- Chesson P (2000) Mechanisms of Maintenance of Species Diversity. *Annu Rev Ecol Syst* 31:343–366 . doi: 10.1146/annurev.ecolsys.31.1.343
- Cheung WWL, Lam VWY, Pauly D (2008) Dynamic bioclimate envelope model to predict climate-induced changes in distribution of marine fishes and invertebrates. In: Cheung WWL, Lam VWY, Pauly D (eds) *Modelling present and climate-shifted distributions of marine fishes and invertebrates*. University of British Columbia, Vancouver, pp 5–50
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, et al (2009) Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish Fish* 10:235–251 . doi: 10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x
- Cheung WWL, Sarmiento JL, Dunne J, et al (2012) Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nat Clim Chang* 3:254–258 . doi: 10.1038/nclimate1691
- Chust G, Allen JI, Bopp L, et al (2014) Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Glob Chang Biol* 20:2124–2139 . doi: 10.1111/gcb.12562
- CIESM (2002) *Alien marine organisms introduced by ships in the Mediterranean and Black seas*. Monaco
- Ciscar J-C, Feyen L, Soria A, et al (2014) *Climate Impacts in Europe - The JRC PESETA II Project*. Published in: *EUR – Scientific and Technical Research* , Vol. 26586, (2014):
- Clarelli F, Fasano A, Natalini R (2008) Mathematics and Monument Conservation: Free Boundary Models of Marble Sulfation. *J Appl Math* 69:149–168 . doi: 10.1137/070695125
- Claudet J, Fraschetti S (2010) Human-driven impacts on marine habitats: A regional meta-analysis in the Mediterranean Sea. *Biol Conserv* 143:2195–2206 . doi: 10.1016/j.biocon.2010.06.004
- Cloern JE (2001) Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar Ecol Prog Ser* 210:223–253 . doi: 10.3354/meps210223
- Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, et al (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS One* 5:e11842 . doi: 10.1371/journal.pone.0011842
- Colloca F, Cardinale M, Maynou F, et al (2013) Rebuilding Mediterranean fisheries: a new paradigm for ecological sustainability. *Fish Fish* 14:89–109 . doi: 10.1111/j.1467-2979.2011.00453.x
- Coma R, Ribes M, Gili J-M, Zabala M (2000) Seasonality in coastal benthic ecosystems. *Trends Ecol Evol* 15:448–453 . doi: 10.1016/s0169-5347(00)01970-4
- Coma R, Ribes M, Serrano E, et al (2009) Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *Proc Natl Acad Sci* 106:6176–6181 . doi: 10.1073/pnas.0805801106
- Comegna L, Picarelli L, Bucchignani E, Mercogliano P (2013) Potential effects of incoming climate changes on the behaviour of slow active landslides in clay. *Landslides* 10:373–391 . doi: 10.1007/s10346-012-0339-3
- Comitato Capitale Naturale (2017) *Primo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia*. Roma
- Confortola G, Soncini A, Bocchiola D (2013) Climate change will affect hydrological regimes in the Alps. *J Alp Res - Rev géographie Alp*. doi: 10.4000/rga.2176
- Conley MM, Kimball BA, Brooks TJ, et al (2001) CO₂ enrichment increases water-use efficiency in sorghum. *New Phytol* 151:407–412 . doi: 10.1046/j.1469-8137.2001.00184.x
- Consorzio LAMMA (2010) *Programma di Azione Locale sulla Lotta alla Siccità e alla Desertificazione*. Sesto Fiorentino (FI)
- Conti S, Meli P, Minelli G, et al (2005) Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environ Res* 98:390–399 . doi: 10.1016/j.envres.2004.10.009

- Conversi A, Umani SF, Peluso T, et al (2010) The Mediterranean Sea Regime Shift at the End of the 1980s, and Intriguing Parallelisms with Other European Basins. *PLoS One* 5:e10633 . doi: 10.1371/journal.pone.0010633
- Cook BI, Wolkovich EM (2016) Climate change decouples drought from early wine grape harvests in France. *Nat Clim Chang* 6:715–719 . doi: 10.1038/nclimate2960
- Cook NB, Bennett TB, Emery KM, Nordlund K V (2002) Monitoring Nonlactating Cow Intramammary Infection Dynamics Using DHI Somatic Cell Count Data. *J Dairy Sci* 85:1119–1126 . doi: 10.3168/jds.s0022-0302(02)74173-8
- Cooley SR, Doney SC (2009) Anticipating ocean acidification's economic consequences for commercial fisheries. *Environ Res Lett* 4:24007 . doi: 10.1088/1748-9326/4/2/024007
- Coppola E, Verdecchia M, Giorgi F, et al (2014) Changing hydrological conditions in the Po basin under global warming. *Sci Total Environ* 493:1183–1196 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.003
- Corpo forestale dello Stato (2015) Incendi boschivi 2015, dati di sintesi
- Corte dei Conti Europea (2011) Le misure dell'UE hanno contribuito ad adeguare la capacità delle flotte pescherecce alle possibilità di pesca? Bruxelles
- Cossarini G, Lazzari P, Solidoro C (2015) Spatiotemporal variability of alkalinity in the Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 12:1647–1658 . doi: 10.5194/bg-12-1647-2015
- Cossarini G, Libralato S, Salon S, et al (2008) Downscaling experiment for the Venice lagoon. II. Effects of changes in precipitation on biogeochemical properties. *Clim Res* 38:43–59 . doi: 10.3354/cr00758
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–260 . doi: 10.1038/387253a0
- Crise A, Crispi G, Solidoro C (1999) Mediterranean Sea trophic characteristics interpreted through three-dimensional coupled ecohydrodynamical models. In: *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems*. Springer Nature, pp 359–381
- Crutzen PJ (2002) Geology of mankind. *Nature* 415:23–23 . doi: 10.1038/415023a
- D'Amato G (2004) Air Pollution, Reactive Oxygen Species, and Allergic Bronchial Asthma. In: *Diet and Human Immune Function*. Springer Nature, pp 397–409
- D'Amato G, Cecchi L, Annesi-Maesano I (2012) A trans-disciplinary overview of case reports of thunderstorm-related asthma outbreaks and relapse. *Eur Respir Rev* 21:82–87 . doi: 10.1183/09059180.00001712
- D'Amato G, Cecchi L, D'Amato M, Liccardi G (2010) Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. *J Investig Allergol Clin Immunol* 20:95–102
- D'Amato G, Holgate ST, Pawankar R, et al (2015) Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization. *World Allergy Organ J* 8: . doi: 10.1186/s40413-015-0073-0
- D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M, Holgate S (2005) Environmental risk factors and allergic bronchial asthma. *Clin Exp Allergy* 35:1113–1124 . doi: 10.1111/j.1365-2222.2005.02328.x
- D'Amato G, Liccardi G, Gilder JA, et al (1994) Epidemic of asthma possibly related to thunderstorms. *BMJ* 309:131–132 . doi: 10.1136/bmj.309.6947.131c
- DAC (2016) Primo aggiornamento del piano di gestione del distretto dell'appennino centrale
- Daily GC (1997) What are ecosystem services? In: *Daily GC (ed) Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington D.C, pp 1–10
- DAM (2016) Piano di Gestione Acque II fase: ciclo 2015-2021
- Danovaro R, Company JB, Corinaldesi C, et al (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, Dell'Anno A, Fabiano M, et al (2001) Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study. *Trends Ecol Evol* 16:505–510 . doi: 10.1016/s0169-5347(01)02215-7
- Danovaro R, Dell'Anno A, Pusceddu A (2004) Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecol Lett* 7:821–828 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00634.x
- Danovaro R, Gambi C, Dell'Anno A, et al (2008) Exponential Decline of Deep-Sea Ecosystem Functioning Linked to Benthic Biodiversity Loss. *Curr Biol* 18:1–8 . doi: 10.1016/j.cub.2007.11.056
- Danovaro R, Umani SF, Pusceddu A (2009) Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea. *PLoS One* 4:e7006 . doi: 10.1371/journal.pone.0007006
- DAO (2016) Primo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque.
- DAS (2016) Piano di Gestione delle Acque. Aggiornamento del Piano. Il ciclo
- Daskalov G (2002) Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 225:53–63 . doi: 10.3354/meps225053
- Daszak P, Cunningham AA, Hyatt AD (2003) Infectious disease and amphibian population declines. *Divers Distrib* 9:141–150 . doi: 10.1046/j.1472-4642.2003.00016.x
- Davidson CA, Emberlin J, Cook AD, et al (1996) A Major Outbreak Of Asthma Associated With A Thunderstorm: Experience Of Accident And Emergency Departments And Patients' Characteristics. *BMJ Br Med J* 312:601–604
- DBS (2016) Piano di gestione delle acque del Distretto idrografico del fiume Serchio 1° aggiornamento.
- de' Donato FK, Leone M, Scortichini M, et al (2015) Changes in the Effect of Heat on Mortality in the Last 20 Years in Nine European Cities. Results from the PHASE Project. *Int J Environ Res Public Health* 12:15567–15583 . doi: 10.3390/ijerph121215006
- De Bascilio V, Picard M (2002) La capacité de survie des poulets à un coup de chaleur est augmentée par une exposition précoce à une température élevée. *Prod Anim* 15:235–245 . doi: 10.1111/j.1365-2672.2008.03935.x
- de Brogniez D, Ballabio C, van Wesemael B, et al (2014) Topsoil Organic Carbon Map of Europe. In: *Soil Carbon*. Springer Nature, pp 393–405
- De Silva SS (2012) Climate change impacts: challenges for aquaculture. In: Subasinghe RP, Arthur JR, Bartley DM, et al. (eds) *Global Conference on Aquaculture 2010 Farming the Waters for People and Food*. FAO and NACA, Phuket, Thailand, pp 75–110
- De Young C, Soto D, Bahri T, Brown D (2012) Building resilience for adaptation to climate change in the fisheries and aquaculture sector. Roma
- Dedieu JP, Lessard-Fontaine A, Ravazzani G, et al (2014) Shifting mountain snow patterns in a changing climate from remote sensing retrieval. *Sci Total Environ* 493:1267–1279 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.078
- DeJong T (2005) Using physiological concepts to understand early spring temperature effects on fruit growth and anticipating fruit size problems at harvest. *Summer fruit Aust Q* 7:10–13
- Department of Health (2001) Health effects of climate change in the UK. London, UK
- Desiato F, Fioravanti G, Frascchetti P, et al (2016) Gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2015 - Anno XI. Roma
- Desiato F, Fioravanti G, Frascchetti P, et al (2015) Gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2014 - Anno X. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma
- Desiato F, Fioravanti G, Frascchetti P, et al (2014) Gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2013 - Anno IX. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma
- Devalia JL, Bayram H, Rusznak C, et al (1997) Mechanisms of pollution-induced airway disease: in vitro studies in the upper and lower airways. *Allergy* 52:45–51 . doi: 10.1111/j.1398-9995.1997.tb04870.x

- Di Febbraro M, Mori E (2015) Potential distribution of alien parakeets in Tuscany (Central Italy): a bioclimatic model approach. *Ethol Ecol Evol* 27:116–128 . doi: 10.1080/03949370.2014.895424
- 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. In: *Sviluppo e conservazione dei servizi degli ecosistemi contro siccità e desertificazione*. Roma
- Dibari C, Argenti G, Catolfi F, et al (2015a) Pastoral suitability driven by future climate change along the Apennines. *Ital J Agron* 10:109 . doi: 10.4081/ija.2015.659
- Dibari C, Bindi M, Moriondo M, et al (2015b) Spatial data integration for the environmental characterization of pasture macrotypes in the Italian Alps. *Grass Forage Sci* 71:219–234 . doi: 10.1111/gfs.12168
- Dijkstra L, Poelman H (2012) *Cities in Europe. The new OECD - EC Definition*. Brussels
- Dinar A, Mendelsohn R (2011) *The Handbook on Climate Change and Agriculture*. Edward Elgar Publishing Limited
- Doehne E, Price CA (2010) *Stone Conservation: An Overview of Current Research*. In: *Research in Conservation*
- Doney SC, Ruckelshaus M, Duffy JE, et al (2012) Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Ann Rev Mar Sci* 4:11–37 . doi: 10.1146/annurev-marine-041911-111611
- DP (2016) Piano di Gestione 2015
- Drake BG, González-Meler MA, Long SP (1997) More Efficient Plants: A Consequence of Rising Atmospheric CO₂? *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 48:609–639 . doi: 10.1146/annurev.arplant.48.1.609
- DRSa (2016) Secondo ciclo di pianificazione - 2015
- DRSi (2016) Piano di Gestione. Secondo Ciclo di Pianificazione
- Ducharne A (2008) Importance of stream temperature to climate change impact on water quality. *Hydrol Earth Syst Sci* 12:797–810 . doi: 10.5194/hess-12-797-2008
- EC (2011a) A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy - COM(2011) 21
- EC (2011b) Roadmap to a resource efficient Europe - COM(2011) 571 final
- EC (2012a) Relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio concernente l’attuazione della direttiva quadro sulle acque (2000/60/CE) Piani di gestione dei bacini idrografici
- EC (2009a) Libro bianco - L’adattamento ai cambiamenti climatici : verso un quadro d’azione europeo - COM(2009) 147 def.
- EC (2009b) Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) - Guidance document No. 24: River basin management in a changing climate
- EC (2012b) A Blueprint to Safeguard Europe’s Water Resources - COM(2012) 673 final
- EC (2015a) Piano d’azione dell’Unione Europea per l’economia circolare - COM(2015) 614
- EC (2016) Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive and the Floods Directive - Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD
- EC (2015b) WFD Reporting Guidance 2016, Final Draft V6.0.3. 1–402
- EC (2013a) Climate change adaptation, coastal and marine issues. SWD 133:1–28
- EC (2009c) Libro Verde - Riforma della politica comune della pesca - COM(2009) 163
- EC (2013b) Direttiva 2014/89/UE - Pianificazione dello spazio marittimo e la gestione integrata delle zone costiere
- EC (2013c) Strategic Guidelines for the sustainable development of EU aquaculture - COM(2013) 229
- EC (2013d) An EU Strategy on adaptation to climate change - COM(2013) 216
- EC (2015c) Una strategia quadro per un’Unione dell’energia resiliente, corredata da una politica

- lungimirante in materia di cambiamenti climatici - COM(2015) 80 final
- Eccel E, Zollo AL, Mercogliano P, Zorer R (2016) Simulations of quantitative shift in bio-climatic indices in the viticultural areas of Trentino (Italian Alps) by an open source R package. *Comput Electron Agric* 127:92–100 . doi: 10.1016/j.compag.2016.05.019
- ECDPC (2012) Epidemiological situation of tick-borne encephalitis in the European Union and European Free Trade Association countries. Stockholm
- Edwards M, Richardson AJ (2004) Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430:881–884 . doi: 10.1038/nature02808
- EEA (2014a) Digest of EEA indicators 2014 - EEA Technical report No 8/2014
- EEA (2016a) Flood risks and environmental vulnerability — Exploring the synergies between floodplain restoration, water policies and thematic policies - EEA Report No 1/2016
- EEA (2012a) Water resources in Europe in the context of vulnerability - EEA Report No 11/2012
- EEA (2015a) Exploring nature-based solutions: The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards - EEA Technical report 12/2015
- EEA (2012b) European waters - current status and future challenges - a synthesis - EEA Report No 9/2012
- EEA (2015b) The European environment - state and outlook 2015. Copenhagen
- EEA (2013a) Assessment of cost recovery through water pricing - Technical report No 16/2013
- EEA (2008) Mapping sensitivity to desertification (DISMED)
- EEA (2012c) Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, An indicator based report - EEA Report No 12/2012
- EEA (2013b) Air quality in Europe — 2013 report - EEA Report No 9/2013
- EEA (2016b) Urban adaptation to climate change in Europe 2016 — Transforming cities in a changing climate - EEA Report No 12/2016
- EEA (2014b) Adaptation of transport to climate change in Europe - Challenges and options across transport modes and stakeholders- EEA Report No 8/2014
- Eisenack K, Stecker R, Reckien D, Hoffmann E (2011) Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 17:451–469 . doi: 10.1007/s11027-011-9336-4
- Elorenzo MED (2015) Impacts of climate change on the ecotoxicology of chemical contaminants in estuarine organisms Effects of Climate Stressors on Contaminant Toxicity. 61:641–652
- Emmenegger T, Hahn S, Arlettaz R, et al (2016) Shifts in vegetation phenology along flyways entail varying risks of mistiming in a migratory songbird. *Ecosphere* 7:e01385 . doi: 10.1002/ecs2.1385
- ENEA (2016) Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2016. Roma
- Ercan H, Birben E, Dizdar E, et al (2006) Oxidative stress and genetic and epidemiologic determinants of oxidant injury in childhood asthma. *J Allergy Clin Immunol* 118:1097–1104 . doi: 10.1016/j.jaci.2006.08.012
- European Food Safety Authority (EFSA), European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (2015) The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2014. *EFSA J* 13: . doi: 10.2903/j.efsa.2015.4329
- Evans LG, Eckersten H, Semenov MA, Porter JR (1995) Effects on willow. In: Harrison PA, Butterfield RE, Downing TE (eds) *Climatic change and agriculture in Europe. Assessment of impacts and adaptations*, Research R. Environmental Change Unit, University of Oxford
- Fabry VJ, Seibel BA, Feely RA, Orr JC (2008) Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES J Mar Sci* 65:414–432 . doi: 10.1093/icesjms/fsn048
- Fanny H, Barbara D (2015) Évolution de la répartition des cas humains et équins à virus West Nile au cours des quinze dernières années en Europe et dans le bassin méditerranéen. *Epidemiol Sante Anim* 121–128

- FAO (2013) Climate-smart agriculture. Sourcebook. E-ISBN 978-92-5-107721-4. <http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf>
- FAO (2006) EMPRES Fact sheet on Bluetongue in Europe
- FAO (2016a) FishStatJ - software for fishery statistical time series
- FAO (2016b) The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome
- FAO-GFCM (2012) Resolution GFCM/36/2012/1 on guidelines on allocated zones for aquaculture (AZA)
- FAO-SIPAM (2016) National Aquaculture Sector Overviews
- Fernandes PM (2013) Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. *Landsc Urban Plan* 110:175–182 . doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.10.014
- Fernandes PM, Barros AMG, Pinto A, Santos JA (2016) Characteristics and controls of extremely large wildfires in the western Mediterranean Basin. *J Geophys Res Biogeosciences* 121:2141–2157 . doi: 10.1002/2016jg003389
- Fernandes PM, Loureiro C, Guiomar N, et al (2014) The dynamics and drivers of fuel and fire in the Portuguese public forest. *J Environ Manage* 146:373–382 . doi: 10.1016/j.jenvman.2014.07.049
- Ferrari I (2011) I cambiamenti climatici. In: ISPRA (ed) Contributi per la tutela della biodiversità delle zone umide, Rapporti ISPRA 153/11. ISPRA, pp 289–295
- Ficetola GF, Bonardi A, Leronni V, et al (2014) Predicting wild boar damages to croplands in a mosaic of agricultural and natural areas. *Curr Zool* 60:170–179
- Finocchiaro R, van Kaam JBCHM, Portolano B, Misztal I (2005) Effect of Heat Stress on Production of Mediterranean Dairy Sheep. *J Dairy Sci* 88:1855–1864 . doi: 10.3168/jds.s0022-0302(05)72860-5
- Fischer D, Thomas SM, Suk JE, et al (2013) Climate change effects on Chikungunya transmission in Europe: geospatial analysis of vector's climatic suitability and virus' temperature requirements. *Int J Health Geogr* 12:51 . doi: 10.1186/1476-072X-12-51
- Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, et al (2007) Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: Solomon D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL SQ (ed) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp 129–234
- Fortibuoni T, Aldighieri F, Giovanardi O, et al (2015) Climate impact on Italian fisheries (Mediterranean Sea). *Reg Environ Chang* 15:931–937 . doi: 10.1007/s10113-015-0781-6
- Forzieri G, Bianchi A, Marin Herrera MA, et al (2016) Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change. Publications Office of the European Union
- Forzieri G, Feyen L, Rojas R, et al (2014) Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrol Earth Syst Sci* 18:85–108 . doi: 10.5194/hess-18-85-2014
- Fowler HJ, Blenkinsop S, Tebaldi C (2007) Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *Int J Climatol* 27:1547–1578 . doi: 10.1002/joc.1556
- Fraga H, Santos JA, Malheiro AC, et al (2016) Climatic suitability of Portuguese grapevine varieties and climate change adaptation. *Int J Climatol* 36:1–12 . doi: 10.1002/joc.4325
- Fратиanni C, Pinardi N, Lalli F, et al (2016) Operational oceanography for the Marine Strategy Framework Directive: the case of the mixing indicator. *J Oper Oceanogr* 9:s223----s233 . doi: 10.1080/1755876x.2015.1115634
- Frei M, Kohno Y, Tietze S, et al (2012) The response of rice grain quality to ozone exposure during growth depends on ozone level and genotype. *Environ Pollut* 163:199–206 . doi: 10.1016/j.envpol.2011.12.039
- Froese R, Proelß A (2010) Rebuilding fish stocks no later than 2015: will Europe meet the deadline? Fish

Fish 11:194–202 . doi: 10.1111/j.1467-2979.2009.00349.x

- Galassi DMP, Stock F, Fiasca B, et al (2014) Ecosistemi dipendenti dalle acque sotterranee: biodiversità, funzioni ecosistemiche ed effetto dei cambiamenti climatici. *Biol Ambient* 28:93–100
- Gallo A (2015) Assessment of the Climate Change Impact and Adaptation Strategies on Italian Cereal Production using High Resolution Climate Data. Tesi di Dottorato. Università degli Studi di Sassari
- Gallo A, Mereu V, Spano D (2016) Parameterization of CSM-CERES-Wheat and CSM-CERES-Maize models to predict phenology and yield of durum wheat, common wheat and maize in different Italian environments. *Submitt to F Crop Res*
- Galvagno M, Cremonese E, Diotri D, et al (2015) Schorching the Alps: insights from the 2015 summer heatwave. In: *Science Symposium on Climate*. Roma
- Galvagno M, Wohlfahrt G, Cremonese E, et al (2013) Phenology and carbon dioxide source/sink strength of a subalpine grassland in response to an exceptionally short snow season. *Environ Res Lett* 8:25008 . doi: 10.1088/1748-9326/8/2/025008
- Gangoiti G (2001) Long-range transport and re-circulation of pollutants in the western Mediterranean during the project Regional Cycles of Air Pollution in the West-Central Mediterranean Area. *Atmos Environ* 35:6267–6276 . doi: 10.1016/s1352-2310(01)00440-x
- Ganias K, Somarakis S, Koutsikopoulos C, Machias A (2007) Factors affecting the spawning period of sardine in two highly oligotrophic Seas. *Mar Biol* 151:1559–1569 . doi: 10.1007/s00227-006-0601-0
- Garbarino M, Weisberg PJ, Bagnara L, Urbinati C (2015) Sex-related spatial segregation along environmental gradients in the dioecious conifer, *Taxus baccata*. *For Ecol Manage* 358:122–129 . doi: 10.1016/j.foreco.2015.09.009
- Gariano SL, Guzzetti F (2016) Landslides in a changing climate. *Earth-Science Rev* 162:227–252 . doi: 10.1016/j.earscirev.2016.08.011
- Garrett AT, Goosens NG, Rehrer NG, et al (2009) Induction and decay of short-term heat acclimation. *Eur J Appl Physiol* 107:659–670 . doi: 10.1007/s00421-009-1182-7
- Garzke J, Ismar SMH, Sommer U (2014) Climate change affects low trophic level marine consumers: warming decreases copepod size and abundance. *Oecologia* 177:849–860 . doi: 10.1007/s00442-014-3130-4
- Gascuel-Odoux C, Aourousseau P, Durand P, et al (2010) The role of climate on inter-annual variation in stream nitrate fluxes and concentrations. *Sci Total Environ* 408:5657–5666 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.05.003
- Gascuel D, Coll M, Fox C, et al (2014) Fishing impact and environmental status in European seas: a diagnosis from stock assessments and ecosystem indicators. *Fish Fish* 17:31–55 . doi: 10.1111/faf.12090
- Gattuso J-P, Frankignoulle M, Wollast R (1998) Carbon and Carbonate Metabolism in Coastal Aquatic Ecosystems. *Annu Rev Ecol Syst* 29:405–434 . doi: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.405
- Gaudioso D, Giordano F, Taurino E, Sansoni M (2014) Focus su Le città e la sfida ai cambiamenti climatici - Qualità dell'ambiente urbano – X Rapporto – Edizione 2014. ISPRA
- Gazeau F, Parker LM, Comeau S, et al (2013) Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. *Mar Biol* 160:2207–2245 . doi: 10.1007/s00227-013-2219-3
- Gazeau F, Quiblier C, Jansen JM, et al (2007) Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophys Res Lett* 34: . doi: 10.1029/2006gl028554
- Gea-Izquierdo G, Gärtner H, Cherubini P, Battipaglia G (2013) Xylem Adjustment in *Erica Arborea* to Temperature and Moisture Availability in Contrasting Climates. *IAWA J* 34:109–126 . doi: 10.1163/22941932-00000010
- Gens A, Hurley JF, Tuomisto JT, Friedrich R (2014) Health impacts due to personal exposure to fine particles caused by insulation of residential buildings in Europe. *Atmos Environ* 84:213–221 . doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.11.054

- Gerdol R, Siffi C, Iacumin P, et al (2012) Advanced snowmelt affects vegetative growth and sexual reproduction of *Vaccinium myrtillus* in a sub-alpine heath. *J Veg Sci* 24:569–579 . doi: 10.1111/j.1654-1103.2012.01472.x
- Gesmundo G, Altomare C, Capozzi D, et al (2009) Modello per la redazione del piano di sicurezza. Molfetta (BA)
- GFCM Secretariat (2012) First meeting of the GFCM ad hoc working group on the Black Sea. Background document on the Black Sea fisheries. Costanta
- Giani M, Djakovac T, Degobbi D, et al (2012) Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. *Estuar Coast Shelf Sci* 115:1–13 . doi: 10.1016/j.ecss.2012.08.023
- Giannakopoulos C, Bindi M, Moriondo M, et al (2005) Climate Change Impacts in the Mediterranean Resulting from a 2°C Global Temperature Rise. Gland Switzerland
- 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, Le Sager P, Bindi M, et al (2009b) Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Glob Planet Change* 68:209–224 . doi: 10.1016/j.gloplacha.2009.06.001
- Giavarini C, Santarelli ML, Natalini R, Freddi F (2008) A non-linear model of sulphation of porous stones: Numerical simulations and preliminary laboratory assessments. *J Cult Herit* 9:14–22 . doi: 10.1016/j.culher.2007.12.001
- Gibbons MJ, Boero F, Brotz L (2016) We should not assume that fishing jellyfish will solve our jellyfish problem. *ICES J Mar Sci J du Cons* 73:1012–1018 . doi: 10.1093/icesjms/fsv255
- Giglio L, Chafferdine M, Lopez R, et al (2010) Analisi spazio-temporale degli effetti dei cambiamenti climatici su frumento e pomodoro in Capitanata. In: Atti del XIII Convegno Nazionale di Agrometeorologia. Bari, pp 13–14
- Gilioli G, Pasquali S, Parisi S, Winter S (2014) Modelling the potential distribution of *Bemisia tabaci* in Europe in light of the climate change scenario. *Pest Manag Sci* 70:1611–1623 . doi: 10.1002/ps.3734
- Giordano F, Capriolo A, Mascolo RA (2013) Planning for Adaptation to Climate Change. Guidelines for Municipalities
- Giorgi F, Meleux F (2007) Modelling the regional effects of climate change on air quality. *Comptes Rendus Geosci* 339:721–733 . doi: 10.1016/j.crte.2007.08.006
- Girgis ST, Marks GB, Downs S., et al (2000) Thunderstorm-associated asthma in an inland town in south-eastern Australia. Who is at risk? *Eur Respir J* 16:3–8 . doi: 10.1034/j.1399-3003.2000.16a02.x
- Girvetz EH, Zganjar C, Raber GT, et al (2009) Applied Climate-Change Analysis: The Climate Wizard Tool. *PLoS One* 4:e8320 . doi: 10.1371/journal.pone.0008320
- Giuggiola A, Kuster TM, Saha S (2010) Drought-induced mortality of Scots pines at the southern limits of its distribution in Europe: causes and consequences. *iForest - Biogeosciences For* 3:95–97 . doi: 10.3832/for0542-003
- Gobiet A, Kotlarski S, Beniston M, et al (2014) 21st century climate change in the European Alps-A review. *Sci Total Environ* 493:1138–1151 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050
- Gómez-Bolea A, Llop E, Ariño X, et al (2012) Mapping the impact of climate change on biomass accumulation on stone. *J Cult Herit* 13:254–258 . doi: 10.1016/j.culher.2011.10.003
- Graudenz GS, Landgraf RG, Jancar S, et al (2006) The role of allergic rhinitis in nasal responses to sudden temperature changes. *J Allergy Clin Immunol* 118:1126–32 . doi: 10.1016/j.jaci.2006.07.005
- Gravili C, Bevilacqua S, Terlizzi A, Boero F (2015) Missing species among Mediterranean non-Siphonophoran Hydrozoa. *Biodivers Conserv* 24:1329–1357 . doi: 10.1007/s10531-015-0859-y
- 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. *Clim Res* 20:241–252 . doi: 10.3354/cr020241
- Greig HS, Kratina P, Thompson PL, et al (2011) Warming, eutrophication, and predator loss amplify subsidies between aquatic and terrestrial ecosystems. *Glob Chang Biol* 18:504–514 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02540.x
- Grinde AR, Niemi GJ (2016) A synthesis of species interactions, metacommunities, and the conservation of avian diversity in hemiboreal and boreal forests. *J Avian Biol* 47:706–718 . doi: 10.1111/jav.01036
- Gronlund CJ, Berrocal VJ, White-Newsome JL, et al (2015) Vulnerability to extreme heat by socio-demographic characteristics and area green space among the elderly in Michigan, 1990–2007. *Environ Res* 136:449–461 . doi: 10.1016/j.envres.2014.08.042
- Groppelli B, Soncini A, Bocchiola D, Rosso R (2011) Evaluation of future hydrological cycle under climate change scenarios in a mesoscale Alpine watershed of Italy. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 11:1769–1785 . doi: 10.5194/nhess-11-1769-2011
- Grossi CM, Brimblecombe P, Menéndez B, et al (2011) Climatology of salt transitions and implications for stone weathering. *Sci Total Environ* 409:2577–2585 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.03.029
- Grover VI (2015) Impact of Climate Change on the Water Cycle. In: Shrestha S, Anal KA, Salam AP, van der Valk M (eds) *Managing Water Resources under Climate Uncertainty: Examples from Asia, Europe, Latin America, and Australia*. Springer International Publishing, Cham, pp 3–30
- Gruber N (2011) Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci* 369:1980–1996 . doi: 10.1098/rsta.2011.0003
- Gualdi S, Giorgi F, Navarra A (2009) Le proiezioni del clima futuro nell'area dell'Euro-Mediterraneo negli scenari globali e regionali. In: Castellari S, Artale V (eds) *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bononia University Press, Bologna, pp 47–80
- Guido V (2016) Impact of Climate Change on Vitis Vinifera L. over Mediterranean area. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Sassari
- Gunawardhana LN, Kazama S (2012) A water availability and low-flow analysis of the Tagliamento River discharge in Italy under changing climate conditions. *Hydrol Earth Syst Sci* 16:1033–1045 . doi: 10.5194/hess-16-1033-2012
- Gustafson WI, Leung LR (2007) Regional Downscaling for Air Quality Assessment. *Bull Am Meteorol Soc* 88:1215–1227 . doi: 10.1175/bams-88-8-1215
- Gutierrez AP, Ponti L, d'Oultremont T, Ellis CK (2008) Climate change effects on poikilotherm tritrophic interactions. *Clim Change* 87:167–192 . doi: 10.1007/s10584-007-9379-4
- Hamilton JM, Maddison DJ, Tol RSJ (2005) Climate change and international tourism: A simulation study. *Glob Environ Chang* 15:253–266 . doi: 10.1016/j.gloenvcha.2004.12.009
- Hansen JE (2007) Scientific reticence and sea level rise. *Environ Res Lett* 2:24002 . doi: 10.1088/1748-9326/2/2/024002
- Harmon RJ (1994) Physiology of Mastitis and Factors Affecting Somatic Cell Counts. *J Dairy Sci* 77:2103–2112 . doi: 10.3168/jds.s0022-0302(94)77153-8
- Hays GC, Richardson A, Robinson C (2005) Climate change and marine plankton. *Trends Ecol Evol* 20:337–344 . doi: 10.1016/j.tree.2005.03.004
- Heckbert S, Costanza R, Poloczanska ES, Richardson AJ (2011) Climate Regulation as a Service from Estuarine and Coastal Ecosystems. In: *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Elsevier BV, pp 199–216
- Hedegaard GB, Christensen JH, Geels C, et al (2012) Effects of Changed Climate Conditions on Tropospheric Ozone over Three Centuries. *Atmos Clim Sci* 2:546–561 . doi: 10.4236/acs.2012.24050
- Helly JJ, Levin LA (2004) Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap* 51:1159–1168 . doi: 10.1016/j.dsr.2004.03.009
- Henne PD, Elkin C, Colombaroli D, et al (2013) Impacts of changing climate and land use on vegetation

- dynamics in a Mediterranean ecosystem: insights from paleoecology and dynamic modeling. *Landsc Ecol* 28:819–833 . doi: 10.1007/s10980-012-9782-8
- Herrera S, Bedia J, Gutiérrez JM, et al (2013) On the projection of future fire danger conditions with various instantaneous/mean-daily data sources. *Clim Change* 118:827–840 . doi: 10.1007/s10584-012-0667-2
- Hewer F (2006) *Climate Change And Energy Management: A Scoping Study On The Impacts Of Climate Change On The UK Energy Industry*
- Hilmi N, Allemand D, Kavanagh C, et al (eds) (2015) *Bridging the Gap Between Ocean Acidification Impacts and Economic Valuation: Regional Impacts of Ocean Acidification on Fisheries and Aquaculture*. IUCN
- Hinrichsen D (1998) *Coastal waters of the world : trends, threats, and strategies*. Island Press
- Hirk S, Huhulescu S, Allerberger F, et al (2016) Necrotizing fasciitis due to *Vibrio cholerae* non-O1/non-O139 after exposure to Austrian bathing sites. *Wien Klin Wochenschr* 128:141–145 . doi: 10.1007/s00508-015-0944-y
- Hoegh-Guldberg O, Bruno JF (2010) The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. *Science* (80-) 328:1523–1528 . doi: 10.1126/science.1189930
- Hofmann GE, Barry JP, Edmunds PJ, et al (2010) The Effect of Ocean Acidification on Calcifying Organisms in Marine Ecosystems: An Organism-to-Ecosystem Perspective. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 41:127–147 . doi: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120227
- Högy P, Poll C, Marhan S, et al (2013) Impacts of temperature increase and change in precipitation pattern on crop yield and yield quality of barley. *Food Chem* 136:1470–1477 . doi: 10.1016/j.foodchem.2012.09.056
- Hoogenboom G, Jones JW, Wilkens PW, et al (2015) *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6* (<http://dssat.net>). Prosser, Washington.
- Howden NJK, Burt TP, Worrall F, et al (2010) Nitrate concentrations and fluxes in the River Thames over 140 years (1868-2008): are increases irreversible? *Hydrol Process* 24:2657–2662 . doi: 10.1002/hyp.7835
- Howden SM (2002) Potential Global Change Impacts on Australia's Wheat Cropping Systems. In: *Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems*. Springer Nature, pp 219–247
- Hümann M, Schüler G, Müller C, et al (2011) Identification of runoff processes - The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. *J Hydrol* 409:637–649 . doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.08.067
- Hundecha Y, Arheimer B, Donnelly C, Pechlivanidis I (2016) A regional parameter estimation scheme for a pan-European multi-basin model. *J Hydrol Reg Stud* 6:90–111 . doi: 10.1016/j.ejrh.2016.04.002
- Hutchings PA, Ah Yong S, Byrne M, et al (2007) Vulnerability of benthic invertebrates of the Great Barrier Reef to climate change. In: Johnson J, Marshall P (eds) *Climate Change and the Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment*. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office, Townsville, pp 309–356
- Huttunen I, Lehtonen H, Huttunen M, et al (2015) Effects of climate change and agricultural adaptation on nutrient loading from Finnish catchments to the Baltic Sea. *Sci Total Environ* 529:168–181 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.055
- Iglesias-Rodríguez MD, Halloran PR, Rickaby REM, et al (2008) Phytoplankton Calcification in a High-CO₂ World. *Science* (80-) 320:
- INEA (2014) *Italian Agriculture in Figures 2014*
- INFC (2015) *Terzo inventario forestale nazionale*
- INFC (2005) *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*
- Ioriatti C, Walton V, Dalton D, et al (2015) *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) and its Potential

- Impact to Wine Grapes During Harvest in Two Cool Climate Wine Grape Production Regions. *J Econ Entomol* 108:1148–1155 . doi: 10.1093/jee/tov042
- IPCC (2014a) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva
- 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. Cambridge University Press, Cambridge UK
- IPCC (2007a) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland
- IPCC (2007b) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- 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. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IPCC (2000) Land Use, Land-Use Change and Forestry. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- IPCC (2014b) 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. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IPCC (2001) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC Working Group II, Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change
- IREPA (2004) Osservatorio economico delle strutture produttive della pesca marittima in Italia 2003. F. Angeli, Milano
- IREPA (2006) Osservatorio economico sulle strutture produttive della pesca marittima in Italia 2004. F. Angeli, Milano
- IRPI-CNR (2014) Rapporto Periodico sul Rischio posto alla popolazione italiana da Frane e Inondazioni
- ISMEA (2014) Congiuntura trimestrale - Ittico. Il trimestre 2014 - Rapporto n.3/2014
- ISMEA (2015) Il Trimestre 2014, Tendenze Ittiche
- Isoard S, Watkiss P, Voigt T, et al (2008) 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, pp 187–189
- ISPRA (2015a) Annuario dei Dati Ambientali - Edizione 2014-2015 — Italiano. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
- ISPRA (2015b) Guida per il Reporting 2016 della Direttiva Quadro Acque. Specifiche dei dati
- ISPRA (2015c) XI Rapporto sulla qualità ambiente urbano. Edizione 2015
- ISPRA (2010) Cambiamenti climatici e salute: criticità e proposte progettuali per una strategia d'adattamento ambientale. Rapporti ISPRA 110/2010
- ISPRA (2015d) Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI)
- ISTAT (2015) Risorse idriche naturali
- ISTAT (2016a) Giornata mondiale dell'acqua - le statistiche dell'Istat, 21 marzo 2016
- ISTAT (2014a) Anno 2012. Censimento delle acque per uso civile. Roma
- ISTAT (2013) 6° Censimento Generale dell'Agricoltura. Atlante dell'agricoltura italiana. Istituto Nazionale di Statistica, Roma
- ISTAT (2014b) 6° Censimento Generale dell'Agricoltura. Utilizzo della risorsa idrica a fini irrigui in agricoltura. Istituto Nazionale di Statistica, Roma
- ISTAT (2016b) 15° Censimento della popolazione 2011
- ISTAT (2014c) Principali dimensioni geostatistiche e grado di urbanizzazione del Paese
- Italiasicura (2015) Sviluppo delle infrastrutture idriche. Investimenti pubblici nel Servizio Idrico

Integrato. Roma

- Jacob D, Petersen J, Eggert B, et al (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Chang* 14:563–578 . doi: 10.1007/s10113-013-0499-2
- Jacob DJ, Winner DA (2009) Effect of climate change on air quality. *Atmos Environ* 43:51–63 . doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.051
- Jager T (2012) Bad habits die hard: The NOEC's persistence reflects poorly on ecotoxicology. *Environ Toxicol Chem* 31:228–229 . doi: 10.1002/etc.746
- Jerez S, Tobin I, Vautard R, et al (2015) The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. *Nat Commun* 6:10014 . doi: 10.1038/ncomms10014
- Jeuthe H, Brännäs E, Nilsson J (2015) Thermal stress in Arctic charr *Salvelinus alpinus* broodstock: a 28 year case study. *J Fish Biol* 86:1139–1152 . doi: 10.1111/jfb.12634
- Jiménez Cisneros BE, Oki T, Arnell NW, et al (2014) Freshwater resources. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, et al. (eds) *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 of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 229–269
- Jones HP (2013) Impact of Ecological Restoration on Ecosystem Services. In: *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier {{BV}}, pp 199–208
- Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, et al (2003) The DSSAT cropping system model. In: *European Journal of Agronomy*. Elsevier {BV}, pp 235–265
- JRC, ISDR (2004) *State of the Art in Natech Risk Management (NATECH: Natural Hazard Triggering a Technological Disaster)*
- Julitta T, Cremonese E, Migliavacca M, et al (2014) Using digital camera images to analyse snowmelt and phenology of a subalpine grassland. *Agric For Meteorol* 198–199:116–125 . doi: 10.1016/j.agrformet.2014.08.007
- Kalabokidis K, Palaiologou P, Gerasopoulos E, et al (2015) Effect of Climate Change Projections on Forest Fire Behavior and Values-at-Risk in Southwestern Greece. *Forests* 6:2214–2240 . doi: 10.3390/f6062214
- Karaca A, Parker H, Yeatman J, McDaniel C (2002) Role of seminal plasma in heat stress infertility of broiler breeder males. *Poult Sci* 81:1904–1909 . doi: 10.1093/ps/81.12.1904
- Katragkou E, Zanis P, Kioutsioukis I, et al (2011) Future climate change impacts on summer surface ozone from regional climate-air quality simulations over Europe. *J Geophys Res Atmos* 116:n/a---n/a . doi: 10.1029/2011jd015899
- Kebede H, Abbas H, Fisher D, Bellaloui N (2012) Relationship between Aflatoxin Contamination and Physiological Responses of Corn Plants under Drought and Heat Stress. *Toxins (Basel)* 4:1385–1403 . doi: 10.3390/toxins4111385
- Keeling RF, Garcia HE (2002) The change in oceanic O₂ inventory associated with recent global warming. *Proc Natl Acad Sci* 99:7848–7853 . doi: 10.1073/pnas.122154899
- Keeling RF, Körtzinger A, Gruber N (2010) Ocean Deoxygenation in a Warming World. *Ann Rev Mar Sci* 2:199–229 . doi: 10.1146/annurev.marine.010908.163855
- Kent ST, McClure LA, Zaitchik B, et al (2014) Heat Waves and Health Outcomes in Alabama (USA): The Importance of Heat Wave Definition. *Environ Health Perspect* 122:151–158 . doi: 10.1289/ehp.1307262
- Kernan M (2015) Climate change and the impact of invasive species on aquatic ecosystems. *Aquat Ecosyst Heal {&} Manag* 4988:321–333 . doi: 10.1080/14634988.2015.1027636
- Kim YS, Park KH, Chun HS, et al (2015) Correlations between climatic conditions and foodborne disease.

- Food Res Int 68:24–30 . doi: 10.1016/j.foodres.2014.03.023
- Kimball B, Kobayashi K, Bindi M (2002) Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. Elsevier {BV}
- Kipling RP, Bannink A, Bellocchi G, et al (2016) Modeling European ruminant production systems: Facing the challenges of climate change. *Agric. Syst.* 147:24–37
- Knox RB (1993) Grass pollen, thunderstorms and asthma. *Clin Exp Allergy* 23:354–359 . doi: 10.1111/j.1365-2222.1993.tb00339.x
- Köble R, Seufert G (2001) Novel maps for forest tree species in Europe. In: 8th European Symposium on the Physico-Chemical Behaviour of Air Pollutants: “A Changing Atmosphere!” Torino (IT) 17-20 September 2001
- Kooijman B (2010) Energy, compounds and metabolism. In: *Dynamic Energy Budget Theory for Metabolic Organisation*. Cambridge University Press (CUP), pp 79–113
- Kosmas C, Ferrara A, Briassouli H, Imeson A (1999) Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. In: *The Medalus Project Mediterranean Desertification and Land Use. Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping. Project Report, 18882*. European Union, pp 1–47
- Kovats RS, Valentini R, Bouwer LM, et al (2014) Europe. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, et al. (eds) *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 of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1267–1326
- Kramer K, Degen B, Buschbom J, et al (2010) Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change - Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *For Ecol Manage* 259:2213–2222 . doi: 10.1016/j.foreco.2009.12.023
- Kuffner IB, Andersson AJ, Jokiel PL, et al (2008) Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nat Geosci* 1:114–117 . doi: 10.1038/ngeo100
- Kunavongkrit A, Suriyasomboon A, Lundeheim N, et al (2005) Management and sperm production of boars under differing environmental conditions. *Theriogenology* 63:657–667 . doi: 10.1016/j.theriogenology.2004.09.039
- Kundzewicz ZW, Krysanova V (2010) Climate change and stream water quality in the multi-factor context. *Clim Change* 103:353–362 . doi: 10.1007/s10584-010-9822-9
- Kyrkou I, Iriondo JM, García-Fernández A (2015) A glacial survivor of the alpine Mediterranean region: phylogenetic and phylogeographic insights into *Silene ciliata* Pourr. (Caryophyllaceae). *PeerJ* 3:e1193 . doi: 10.7717/peerj.1193
- Lacetera N, Bernabucci U, Scalia D, et al (2006) Heat Stress Elicits Different Responses in Peripheral Blood Mononuclear Cells from Brown Swiss and Holstein Cows. *J Dairy Sci* 89:4606–4612 . doi: 10.3168/jds.s0022-0302(06)72510-3
- Lacetera N, Bernabucci U, Scalia D, et al (2005) Lymphocyte functions in dairy cows in hot environment. *Int J Biometeorol* 50:105–110 . doi: 10.1007/s00484-005-0273-3
- Lagomarsino A, Benedetti A, Marinari S, et al (2011) Soil organic C variability and microbial functions in a Mediterranean agro-forest ecosystem. *Biol Fertil Soils* 47:283–291 . doi: 10.1007/s00374-010-0530-4
- Laiolo P, Dondero F, Ciliento E, Rolando A (2004) Consequences of pastoral abandonment for the structure and diversity of the alpine avifauna. *J Appl Ecol* 41:294–304 . doi: 10.1111/j.0021-8901.2004.00893.x
- Lasram FBR, Mouillot D (2008) Increasing southern invasion enhances congruence between endemic and exotic Mediterranean fish fauna. *Biol Invasions* 11:697–711 . doi: 10.1007/s10530-008-9284-4
- LAV, Legambiente, Marevivo (2010) *La pesca illegale, non documentata e non regolamentata nell’Unione Europea: il caso delle reti derivanti italiane*

- Lazzari P, Mattia G, Solidoro C, et al (2014) The impacts of climate change and environmental management policies on the trophic regimes in the Mediterranean Sea: Scenario analyses. *J Mar Syst* 135:137–149 . doi: 10.1016/j.jmarsys.2013.06.005
- Lazzari P, Solidoro C, Salon S, Bolzon G (2016) Spatial variability of phosphate and nitrate in the Mediterranean Sea: A modeling approach. *Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap* 108:39–52 . doi: 10.1016/j.dsr.2015.12.006
- Lazzarini L, Laurenzi Tabasso M (1986) Il restauro della pietra. CEDAM, Padova
- Lejeusne C, Chevaldonné P, Pergent-Martini C, et al (2010) Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends Ecol {&} Evol* 25:250–260 . doi: 10.1016/j.tree.2009.10.009
- Lenzi M (1992) Experiences for the management of Orbetello Lagoon: eutrophication and fishing. In: *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier {BV}, pp 1189–1198
- Lenzi M, Finoia MG, Persia E, et al (2005) Biogeochemical effects of disturbance in shallow water sediment by macroalgae harvesting boats. *Mar Pollut Bull* 50:512–519 . doi: 10.1016/j.marpolbul.2004.11.038
- Lévesque M, Rigling A, Bugmann H, et al (2014) Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. *Agric For Meteorol* 197:1–12 . doi: 10.1016/j.agrformet.2014.06.001
- Levin LA (2010) Anaerobic Metazoans: No longer an oxymoron. *BMC Biol* 8:31 . doi: 10.1186/1741-7007-8-31
- Levin SA (1992) Orchestrating Environmental Research and Assessment. *Ecol Appl* 2:103–106 . doi: 10.2307/1941764
- Li K, Ni H, Yang Z, et al (2016) Effects of temperature variation between neighbouring days on daily hospital visits for childhood asthma: a time-series analysis. *Public Health* 136:133–140 . doi: 10.1016/j.puhe.2016.04.002
- Li M, Gu S, Bi P, et al (2015) Heat Waves and Morbidity: Current Knowledge and Further Direction-A Comprehensive Literature Review. *Int J Environ Res Public Health* 12:5256–5283 . doi: 10.3390/ijerph120505256
- Li S, Baker PJ, Jalaludin BB, et al (2014) An Australian national panel study of diurnal temperature range and children's respiratory health. *Ann Allergy, Asthma Immunol* 112:348–353.e8 . doi: 10.1016/j.anai.2014.01.007
- Libralato S, Caccin A, Pranovi F (2015) Modeling species invasions using thermal and trophic niche dynamics under climate change. *Front Mar Sci* 2:29 . doi: 10.3389/fmars.2015.00029
- Lindley S, O'Neill J, Kandeh J, et al (2011) Climate change, justice and vulnerability. Rowntree Foundation, York
- Lindner M, Maroschek M, Netherer S, et al (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For Ecol Manage* 259:698–709 . doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.023
- Lionello P, Baldi M, Brunetti M, et al (2009) Eventi climatici estremi: tendenze attuali e clima futuro dell'Italia. In: Castellari S, Artale V (eds) *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bononia University Press, Bologna, pp 81–106
- Lipfert FW (1989) Atmospheric damage to calcareous stones: Comparison and reconciliation of recent experimental findings. *Atmos Environ* 23:415–429 . doi: 10.1016/0004-6981(89)90587-8
- Liu W-C, Chan W-T (2016) Assessment of Climate Change Impacts on Water Quality in a Tidal Estuarine System Using a Three-Dimensional Model. *Water* 8:60 . doi: 10.3390/w8020060
- Lobell DB, Field CB (2007) Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ Res Lett* 2: . doi: 10.1088/1748-9326/2/1/014002

- Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011) Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333:616–620 . doi: 10.1126/science.1204531
- Lohbeck KT, Riebesell U, Thorsten BHR (2012) Adaptive evolution of a key phytoplankton species to ocean acidification. *Nat Geosci* 5:346–351 . doi: doi:10.1038/ngeo1441
- Loos S, Middelkoop H, van der Perk M, van Beek R (2009) Large scale nutrient modelling using globally available datasets: A test for the Rhine basin. *J Hydrol* 369:403–415 . doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.02.019
- López-Zafrá JM, Sánchez de Tembleque L, Meneu V (2005) Impactos sobre el sector energético. In: Moreno JM (ed) *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Spagna, pp 617–652
- Lozano OM, Salis M, Ager AA, et al (2016) Assessing Climate Change Impacts on Wildfire Exposure in Mediterranean Areas. *Risk Anal*. doi: 10.1111/risa.12739
- Lu Q, Johnson AC, Jürgens MD, et al (2015) The distribution of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the River Thames Catchment under the scenarios of climate change. *Sci Total Environ* 533:187–195 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.084
- Ludovisi A, Gaino E (2010) Meteorological and water quality changes in Lake Trasimeno (Umbria, Italy) during the last fifty years. *J Limnol* 69:174 . doi: 10.4081/jlimnol.2010.174
- Ludovisi A, Gaino E, Bellezza M, Casadei S (2013) Impact of climate change on the hydrology of shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy): History, forecasting and management. *Aquat Ecosyst Heal & Manag* 16:190–197 . doi: 10.1080/14634988.2013.789776
- Lugato E, Bampa F, Panagos P, et al (2014) Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Glob Chang Biol* 20:3557–3567 . doi: 10.1111/gcb.12551
- MacDougall AS, Gilbert B, Levine JM (2009) Plant invasions and the niche. *J Ecol* 97:609–615 . doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01514.x
- Mackenzie CL, Lynch SA, Culloty SC, Malham SK (2014a) Future Oceanic Warming and Acidification Alter Immune Response and Disease Status in a Commercial Shellfish Species, *Mytilus edulis* L. *PLoS One* 9:e99712 . doi: 10.1371/journal.pone.0099712
- Mackenzie CL, Ormondroyd GA, Curling SF, et al (2014b) Ocean Warming, More than Acidification, Reduces Shell Strength in a Commercial Shellfish Species during Food Limitation. *PLoS One* 9:e86764 . doi: 10.1371/journal.pone.0086764
- Macleod CJA, Falloon PD, Evans R, Haygarth PM (2012) The Effects of Climate Change on the Mobilization of Diffuse Substances from Agricultural Systems. *Adv Agron* 41–77 . doi: 10.1016/b978-0-12-394276-0.00002-0
- MacNeil MA, Graham NAJ, Cinner JE, et al (2010) Transitional states in marine fisheries: adapting to predicted global change. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 365:3753–3763 . doi: 10.1098/rstb.2010.0289
- 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. *Agric Ecosyst Environ* 97:65–80 . doi: 10.1016/s0167-8809(03)00135-x
- Mairota P, Leronni V, Xi W, et al (2013) Using spatial simulations of habitat modification for adaptive management of protected areas: Mediterranean grassland modification by woody plant encroachment. *Environ Conserv* 41:144–156 . doi: 10.1017/s037689291300043x
- Manciocco A, Toni M, Tedesco A, et al (2014) The Acclimation of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) to Temperature: Behavioural and Neurochemical Responses. *Ethology* 121:68–83 . doi: 10.1111/eth.12315
- Manganelli M (2016) Blooms of toxic microorganisms in aquatic environments: marine microalgae and freshwater cyanobacteria. A brief review with a particular focus on the Italian situation. *Rend Lincei* 27:135–143 . doi: 10.1007/s12210-015-0488-0

- Maracchi G, Sirotenko O, Bindi M (2005) Impacts of Present and Future Climate Variability on Agriculture and Forestry in the Temperate Regions: Europe. *Clim Change* 70:117–135 . doi: 10.1007/s10584-005-5939-7
- Maraun D, Wetterhall F, Ireson AM, et al (2010) Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Rev Geophys* 48:RG3003 . doi: 10.1029/2009rg000314
- Marbà N, Jordà G, Agusti S, Duarte CM (2016) Evidences of Impacts of Climate Change on Mediterranean Biota. *Front Mar Sci* 3: . doi: 10.3389/fmars.2016.00003
- Marchini A, Ferrario J, Sfriso A, Occhipinti-Ambrogi A (2015) Current status and trends of biological invasions in the Lagoon of Venice, a hotspot of marine NIS introductions in the Mediterranean Sea. *Biol Invasions* 17:2943–2962 . doi: 10.1007/s10530-015-0922-3
- Marco A De, Screpanti A, Attorre F, et al (2013) Assessing ozone and nitrogen impact on net primary productivity with a Generalised non-Linear Model. *Environ Pollut* 172:250–263 . doi: 10.1016/j.envpol.2012.08.015
- Marcos-López M, Gale P, Oidtmann BC, Peeler EJ (2010) Assessing the Impact of Climate Change on Disease Emergence in Freshwater Fish in the United Kingdom. *Transbound Emerg Dis* 57:293–304 . doi: 10.1111/j.1865-1682.2010.01150.x
- Mardulyn P, Goffredo M, Conte A, et al (2013) Climate change and the spread of vector-borne diseases: using approximate Bayesian computation to compare invasion scenarios for the bluetongue virus vector *Culicoides imicola* in Italy. *Mol Ecol* 22:2456–2466 . doi: 10.1111/mec.12264
- Marino G, Livi S (2011) Valori delle zone umide: la biodiversità, i servizi ecosistemici e i valori socio economici. In: *Contributi per la tutela della biodiversità delle zone umide, Rapporti 1*. ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, pp 147–160
- Marshall E, Randhir T (2008) Effect of climate change on watershed system: a regional analysis. *Clim Change* 89:263–280 . doi: 10.1007/s10584-007-9389-2
- Martinez-Nicolas A, Meyer M, Hunkler S, et al (2015) Daytime variation in ambient temperature affects skin temperatures and blood pressure: Ambulatory winter/summer comparison in healthy young women. *Physiol Behav* 149:203–211 . doi: 10.1016/j.physbeh.2015.06.014
- Martinez-Vilalta J, Lloret F, Breshears DD (2011) Drought-induced forest decline: causes, scope and implications. *Biol Lett* 8:689–691 . doi: 10.1098/rsbl.2011.1059
- Martuzzi M, Mitis F, Iavarone I, Serinelli M (2006) Health Impact of PM10 in 13 Italian Cities. WHO - World Health Organization, Copenhagen
- Marullo S, Nardelli BB, 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
- Mashaly MM, Hendricks GL, Kalama MA, et al (2004) Effect of Heat Stress on Production Parameters and Immune Responses of Commercial Laying Hens. *Poult Sci* 83:889–894 . doi: 10.1093/ps/83.6.889
- Masin S, Bonardi A, Padoa-Schioppa E, et al (2014) Risk of invasion by frequently traded freshwater turtles. *Biol Invasions* 16:217–231 . doi: 10.1007/s10530-013-0515-y
- Maslin MA, Lewis SL (2015) Anthropocene: Earth System, geological, philosophical and political paradigm shifts. *Anthr Rev* 2:108–116 . doi: 10.1177/2053019615588791
- Matic-Skoko S, Soldo A, Staglicic N, et al (2014) Croatian marine fisheries (Adriatic Sea): (1950-2010). Vancouver
- MATTM (2015) *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Rome
- McCarty JP (2001) Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conserv Biol* 15:320–331 . doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x
- McGowan JA, Cayan DR, Dorman LM (1998) Climate-Ocean Variability and Ecosystem Response in the

Northeast Pacific. *Science* (80-) 281:210–216

- McLusky DS, Elliott M (2007) Transitional waters: A new approach, semantics or just muddying the waters? *Estuar Coast Shelf Sci* 71:359–363 . doi: 10.1016/j.ecss.2006.08.025
- McMichael AJ, Woodruff RE, Hales S (2006) Climate change and human health: present and future risks. *Lancet* 367:859–869 . doi: 10.1016/s0140-6736(06)68079-3
- MCPFE (2015) State of Europe's Forests 2015. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe
- MEA (2005a) Nutrient Cycling. In: Millennium Ecosystem Assessment (ed) *Ecosystems and Human well-being: Current state and trends*, 1st edn. Island Press, Washington, pp 331–353
- MEA (2005b) *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington
- Meinshausen M, Smith SJ, Calvin K, et al (2011) The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Clim Change* 109:213–241 . doi: 10.1007/s10584-011-0156-z
- Melaku Canu D, Solidoro C, Cossarini G, Giorgi F (2010) Effect of global change on bivalve rearing activity and the need for adaptive management. *Clim Res* 42:13–26 . doi: 10.3354/cr00859
- Mellor PS, Boorman J (1995) The transmission and geographical spread of African horse sickness and bluetongue viruses. *Ann Trop Med & Parasitol* 89:1–15 . doi: 10.1080/00034983.1995.11812923
- Mercuri AM, Torri P, Casini E, Olmi L (2012) Climate warming and the decline of *Taxus* airborne pollen in urban pollen rain (Emilia Romagna, northern Italy). *Plant Biol* 15:70–82 . doi: 10.1111/j.1438-8677.2012.00624.x
- Mereu V (2010) Climate change impact on durum wheat in Sardinia. Tesi di dottorato
- Mereu V, Iocola I, Spano D, et al (2008) Land suitability and potential yield variations of wheat and olive crops determined by climate change in Italy. *Ital J Agron* 3:797–798
- Michaelidis B, Pörtner H-O, Sokolova I, Tomanek L (2014) Advances in Predicting the Impacts of Global Warming on the Mussels *Mytilus galloprovincialis* in the Mediterranean Sea. In: *The Mediterranean Sea: Its history and present challenges*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 319–339
- Michelozzi P, de' Donato FK, Bargagli AM, et al (2010) Surveillance of Summer Mortality and Preparedness to Reduce the Health Impact of Heat Waves in Italy. *Int J Environ Res Public Health* 7:2256–2273 . doi: 10.3390/ijerph7052256
- Mickley LJ (2004) Effects of future climate change on regional air pollution episodes in the United States. *Geophys Res Lett* 31: . doi: 10.1029/2004gl021216
- Miglietta F, Magliulo V, Bindi M, et al (1998) Free Air CO₂ Enrichment of potato (*Solanum tuberosum* L.): development, growth and yield. *Glob Chang Biol* 4:163–172 . doi: 10.1046/j.1365-2486.1998.00120.x
- Millenium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being, Desertification - Synthesis*. Washington, DC
- Mills B, Andrey J (2002) *Climate Change and Transportation: Potential Interactions and Impacts*
- Mima S, Criqui P (2015) The Costs of Climate Change for the European Energy System, an Assessment with the POLES Model. *Environ Model Assess* 20:303–319 . doi: 10.1007/s10666-015-9449-3
- 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
- Ministero dell'Economia e delle Finanze (2016) Documento di economia e finanza 2016. Allegato: strategie per le infrastrutture di trasporto e logistica
- Ministero della Salute (2015) Relazione annuale al PNI 2014, Alimenti e bevande - Piano di vigilanza e controllo
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2015) Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti - Anni 2013-2014. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A., Roma
- Ministero Politiche Agricole Alimentari Forestali (2015) Programma Operativo Italia FEAMP 2014-2020
- MIPAAF (2015) Piano Strategico per l'acquacoltura in Italia 2014-2020

- Mitlöhner FM, Morrow JL, Dailey JW, et al (2001) Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J Anim Sci* 79:2327 . doi: 10.2527/2001.7992327x
- Mitsopoulos I, Mallinis G, Karali A, et al (2015) Mapping fire behaviour under changing climate in a Mediterranean landscape in Greece. *Reg Environ Chang* 16:1929–1940 . doi: 10.1007/s10113-015-0884-0
- Molden D, Oweis T, Steduto P, et al (2010) Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agric Water Manag* 97:528–535 . doi: 10.1016/j.agwat.2009.03.023
- Molnar M, Clarke-Murray C, Whitworth J, Tam J (2009) Marine and coastal ecosystem services. David Suzuki Foundation
- Mondoni A, Orsenigo S, Dona M, et al (2014) Environmentally induced transgenerational changes in seed longevity: maternal and genetic influence. *Ann Bot* 113:1257–1263 . doi: 10.1093/aob/mcu046
- Montanari A, Papalexiou SM (2016) Is climate change modifying precipitation extremes? In: *Geophysical Research Abstracts EGU General Assembly*. pp 2016–3448
- Moody JA, Shakesby RA, Robichaud PR, et al (2013) Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes. *Earth-Science Rev* 122:10–37 . doi: 10.1016/j.earscirev.2013.03.004
- Moore D, Copes R, Fisk R, et al (2006) Population health effects of air quality changes due to forest fires in British Columbia in 2003: estimates from physician-visit billing data. *Can J public Heal - Rev Can sante publique* 97:105–108
- Morales-Nin B, Moranta J (2004) Recruitment and post-settlement growth of juvenile *Merluccius merluccius* on the western Mediterranean shelf. *Sci Mar* 68:399–409 . doi: 10.3989/scimar.2004.68n3399
- Moreira F, Viedma O, Arianoutsou M, et al (2011) Landscape - wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *J. Environ. Manage.* 92:2389–2402
- Morgan LK, Bakker M, Werner AD (2015) Occurrence of seawater intrusion overshoot. *Water Resour Res* 51:1989–1999 . doi: 10.1002/2014wr016329
- Moriondo M, Bindi M, Fagarazzi C, et al (2011) Framework for high-resolution climate change impact assessment on grapevines at a regional scale. *Reg Environ Chang* 11:553–567 . doi: 10.1007/s10113-010-0171-z
- Moriondo M, Jones G V., Bois B, et al (2013a) Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Clim Change* 119:825–839 . doi: 10.1007/s10584-013-0739-y
- Moriondo M, Trombi G, Ferrise R, et al (2013b) Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Glob Ecol Biogeogr* 22:818–833 . doi: 10.1111/geb.12061
- Morse D, DeLorenzo MA, Wilcox CJ, et al (1988) Climatic Effects on Occurrence of Clinical Mastitis. *J Dairy Sci* 71:848–853 . doi: 10.3168/jds.s0022-0302(88)79626-5
- Mosello R, Ambrosetti W, Arisci S, et al (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: P. Viaroli, F. Puma, I. Ferrari. (eds) *Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008, sessione speciale “Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano.”* pp 167–177
- Mosello R, Lami A (2012) Climate Change and Related Effects on Water Quality: Examples from Lake Maggiore (Italy). *Hum Evol* 27:85–88
- Moss R, Babiker M, Brinkman S, et al (2008) Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland
- 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. *J Veg Sci* 12:219–

230 . doi: 10.2307/3236606

- Moutopoulos D, Bradshaw B, Pauly D (2015) Reconstruction of Albanian fishery catches by fishing gear, 1950 to 2010 | UBC Fisheries Centre | UBC Fisheries Centre. Vancouver
- Munafò M (2016) Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2016. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma
- Munafò M, Assennato F, Congedo L, et al (2015) Il consumo di suolo in Italia - Edizione 2015. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma
- Munari C, Mistri M (2012) Ecological status assessment and response of benthic communities to environmental variability: The Valli di Comacchio (Italy) as a study case. *Mar Environ Res* 81:53–61 . doi: 10.1016/j.marenvres.2012.08.008
- Munich Re (2012) <http://www.munichre.com/geo> online
- Myers SS, Zanolletti A, Kloog I, et al (2014) Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature* 510:139–142 . doi: 10.1038/nature13179
- Mysiak J, Carrera L, Massarutto A (2013) Servizio idrico e l'approvvigionamento di acqua nel contesto dei cambiamenti climati. In: *Qualità dell'ambiente urbano. IX Rapporto*, Edizione 2013. Focus su acque e ambiente urbano. Roma, pp 113–120
- Nakićenović N, Swart R (2000) Special report on emissions scenario. 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, p 599
- Napoli R, D'Egidio G, Vanino 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
- Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, et al (2010) Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest Sci* 130:57–69 . doi: 10.1016/j.livsci.2010.02.011
- Naselli-Flores L (2010) Mediterranean Climate and Eutrophication of Reservoirs: Limnological Skills to Improve Management. In: Ansari AA, Singh Gill S, Lanza GR, Rast W (eds) *Eutrophication: causes, consequences and control*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 131–142
- Navarra A, Tubiana L (2013) Regional assessment of climate change in the Mediterranean. Volume 1, Air, sea and precipitation and water. Springer
- Neeti N, Eastman JR (2011) A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. *Trans GIS* 15:599–611 . doi: 10.1111/j.1467-9671.2011.01280.x
- 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
- Newson R, Strachan D, Archibald E, et al (1997) Effect of thunderstorms and airborne grass pollen on the incidence of acute asthma in England, 1990-94. *Thorax* 52:680–685 . doi: 10.1136/thx.52.8.680
- Notenbaert AMO, Cardoso JA, Chirinda N, et al (2017) Climate change impacts on livestock and implications for adaptation: Climate impacts on land use, food production and productivity session. Rome
- Nudda G, Botti P, Tola F, et al (2016) Rapporto sugli incendi boschivi e rurali in Sardegna. Anno 2015. Regione Autonoma della Sardegna – Assessorato alla Difesa dell'Ambiente
- Nykjaer L (2009) Mediterranean Sea surface warming 1985-2006. *Clim Res* 39:11–17 . doi: 10.3354/cr00794
- Olesen JE, Bindi M (2002) Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur J Agron* 16:239–262 . doi: 10.1016/s1161-0301(02)00004-7
- Olesen JE, Carter TR, Diaz-Ambrona CH, et al (2007) Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Clim Change* 81:123–143 . doi: 10.1007/s10584-006-9216-1
- Olesen JE, Trnka M, Kersebaum KC, et al (2011) Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur J Agron* 34:96–112 . doi: 10.1016/j.eja.2010.11.003

- Orfanidis S, Panayotidis P, Stamatis N (2003) An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecol Indic* 3:27–33 . doi: 10.1016/s1470-160x(03)00008-6
- Orr JC, Fabry VJ, Aumont O, et al (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437:681–686 . doi: 10.1038/nature04095
- Orsenigo S, Abeli T, Rossi G, et al (2015) Effects of Autumn and Spring Heat Waves on Seed Germination of High Mountain Plants. *PLoS One* 10:e0133626 . doi: 10.1371/journal.pone.0133626
- Ozaki N, Fukushima T, Harasawa H, et al (2003) Statistical analyses on the effects of air temperature fluctuations on river water qualities. *Hydrol Process* 17:2837–2853 . doi: 10.1002/hyp.1437
- Paerl HW, Huisman J (2009) Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environ Microbiol Rep* 1:27–37 . doi: 10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x
- Paerl HW, Valdes LM, Piehler MF, Stow CA (2006) Assessing the Effects of Nutrient Management in an Estuary Experiencing Climatic Change: The Neuse River Estuary, North Carolina. *Environ Manage* 37:422–436 . doi: 10.1007/s00267-004-0034-9
- Painter SC, Tsimplis MN (2003) Temperature and salinity trends in the upper waters of the Mediterranean Sea as determined from the MEDATLAS dataset. *Cont Shelf Res* 23:1507–1522 . doi: 10.1016/j.csr.2003.08.008
- Palombo C, Battipaglia G, Cherubini P, et al (2013) Warming-related growth responses at the southern limit distribution of mountain pine (*Pinus mugo* Turra subsp. *mugo*). *J Veg Sci* 25:571–583 . doi: 10.1111/jvs.12101
- Pan G, Smith P, Pan W (2009) The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agric Ecosyst Environ* 129:344–348 . doi: 10.1016/j.agee.2008.10.008
- Panagos P, Borrelli P, Poesen J, et al (2015) The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ Sci & Policy* 54:438–447 . doi: 10.1016/j.envsci.2015.08.012
- Paola A Di, Valentini R, Paparella F (2012) Climate Change Threatens Coexistence within Communities of Mediterranean Forested Wetlands. *PLoS One* 7:e44727 . doi: 10.1371/journal.pone.0044727
- Paranunzio R, Laio F, Chiarle M, et al (2016) Climate anomalies associated with the occurrence of rockfalls at high-elevation in the Italian Alps. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 16:2085–2106 . doi: 10.5194/nhess-16-2085-2016
- Parise M, Cannon SH (2011) Wildfire impacts on the processes that generate debris flows in burned watersheds. *Nat Hazards* 61:217–227 . doi: 10.1007/s11069-011-9769-9
- Parmesan C (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 37:637–669 . doi: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100
- Parolo G, Rossi G (2008) Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic Appl Ecol* 9:100–107 . doi: 10.1016/j.baae.2007.01.005
- Pasquale G Di, Allevato E, Cocchiararo A, et al (2014a) Late Holocene persistence of *Abies alba* in low-mid altitude deciduous forests of central and southern Italy: new perspectives from charcoal data. *J Veg Sci* 25:1299–1310 . doi: 10.1111/jvs.12196
- Pasquale G Di, Buonincontri MP, Allevato E, Saracino A (2014b) Human-derived landscape changes on the northern Etruria coast (western Italy) between Roman times and the late Middle Ages. *The Holocene* 24:1491–1502 . doi: 10.1177/0959683614544063
- Passow U (2004) Switching perspectives: Do mineral fluxes determine particulate organic carbon fluxes or vice versa? *Geochemistry, Geophys Geosystems* 5:n/a----n/a . doi: 10.1029/2003gc000670
- Patsiou TS, Conti E, Zimmermann NE, et al (2014) Topo-climatic microrefugia explain the persistence of a rare endemic plant in the Alps during the last 21 millennia. *Glob Chang Biol* 20:2286–2300 . doi: 10.1111/gcb.12515
- Patz JA, Olson SH (2006) Malaria risk and temperature: Influences from global climate change and local land use practices. *Proc Natl Acad Sci* 103:5635–5636 . doi: 10.1073/pnas.0601493103

- Pauly D, Christensen V (1995) Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374:255–257 . doi: 10.1038/374255a0
- Peana I, Fois G, Cannas A (2007) Effects of heat stress and diet on milk production and feed and energy intake of Sarda ewes. *Ital J Anim Sci* 6:577–579 . doi: 10.4081/ijas.2007.1s.577
- Pearse IS, Altermatt F (2013) Predicting novel trophic interactions in a non-native world. *Ecol Lett* 16:1088–1094 . doi: 10.1111/ele.12143
- Pednekar AM, Grant SB, Jeong Y, et al (2005) The Influence of Climate, Land Use and Tidal Mixing on Water Quality in Newport Bay, Southern California. In: *Impacts of Global Climate Change*. American Society of Civil Engineers (ASCE)
- Peer AC, Miller TJ (2014) Climate Change, Migration Phenology, and Fisheries Management Interact with Unanticipated Consequences. *North Am J Fish Manag* 34:94–110 . doi: 10.1080/02755947.2013.847877
- Pellizzari G, Porcelli F (2014) Alien scale insects (Hemiptera Coccoidea) in European and Mediterranean countries: the fate of new and old introductions. *Phytoparasitica* 42:713–721 . doi: 10.1007/s12600-014-0414-5
- Pellizzaro G, Dubrovsky M, Bortolu S, et al (2014) Estimating live fuel status by drought indices: an approach for assessing local impact of climate change on fire danger. In: *EGU General Assembly 2014*, held 27 April - 2 May, 2014. Vienna, Austria, p 5795
- Perego A, Basile A, Bonfante A, et al (2012) Nitrate leaching under maize cropping systems in Po Valley (Italy). *Agric Ecosyst Environ* 147:57–65 . doi: 10.1016/j.agee.2011.06.014
- Perini L, Salvati L, Zitti M, et al (2008) *La desertificazione in Italia. Processi, indicatori, vulnerabilità del territorio*. Bonanno Editore, Roma-Acireale
- Perrels A, Heyndrickx C, Prettenthaler F, et al (2015) Sectoral and cross-cutting multi-sector adaptation strategies for energy, transport and tourism
- Petraglia A, Tomaselli M, Bon MP, et al (2014) Responses of flowering phenology of snowbed plants to an experimentally imposed extreme advanced snowmelt. *Plant Ecol* 215:759–768 . doi: 10.1007/s11258-014-0368-1
- Philippart CJM, Anadón R, Danovaro R, et al (2011) Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators. *J Exp Mar Bio Ecol* 400:52–69 . doi: 10.1016/j.jembe.2011.02.023
- PICCMAT (2007) *Policy Incentives for Climate Change Mitigation Agricultural Techniques*. Deliverable D3: Practices description and analysis report
- Pietro PC, Augelli PPC, Aminti PL, et al (2006) Stato dei litorali italiani. *Stud costieri* 10:5–7
- Pinnegar JK (2012) Climate change and European fisheries: observed change and future prospects
- Poloczanska ES, Babcock RC, Butler A, et al (2007) Climate Change and Australian Marine Life. In: *Oceanography and Marine Biology*. Informa UK Limited, pp 407–478
- Ponce Campos GE, Moran MS, Huete A, et al (2013) Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. *Nature* 494:349–352 . doi: 10.1038/nature11836
- Pope EC, Ellis RP, Scolamacchia M, et al (2014) European sea bass, *Dicentrarchus labrax*, in a changing ocean. *Biogeosciences* 11:2519–2530 . doi: 10.5194/bg-11-2519-2014
- Porritt SM, Cropper PC, Shao L, Goodier CI (2012) Ranking of interventions to reduce dwelling overheating during heat waves. *Energy Build* 55:16–27 . doi: 10.1016/j.enbuild.2012.01.043
- Porter JR, Gawith M (1999) Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *Eur J Agron* 10:23–36 . doi: 10.1016/s1161-0301(98)00047-1
- Portner H-O (2010) Oxygen- and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. *J Exp Biol* 213:881–893 . doi: 10.1242/jeb.037523
- Portner HO, Knust R (2007) Climate Change Affects Marine Fishes Through the Oxygen Limitation of

- Thermal Tolerance. *Science* (80-) 315:95–97 . doi: 10.1126/science.1135471
- Pörtner HO, Peck MA (2010) Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *J Fish Biol* 77:1745–1779 . doi: 10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x
- Pörtner HOH-O, Karl DM, Boyd PW, et al (2014) Ocean systems. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, et al. (eds) *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*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 411–484
- Posch T, Köster O, Salcher MM, Pernthaler J (2012) Harmful filamentous cyanobacteria favoured by reduced water turnover with lake warming. *Nat Clim Chang* 2:809–813 . doi: 10.1038/nclimate1581
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2007) Indicazioni operative per fronteggiare eventuali crisi idriche
- Preti F, Forzieri G, Chirico GB (2011) Forest cover influence on regional flood frequency assessment in Mediterranean catchments. *Hydrol Earth Syst Sci* 15:3077–3090 . doi: 10.5194/hess-15-3077-2011
- Prisco I, Carboni M, Acosta ATR (2013) The Fate of Threatened Coastal Dune Habitats in Italy under Climate Change Scenarios. *{PLOS} ONE* 8:e68850 . doi: 10.1371/journal.pone.0068850
- Progetto Europeo TEACH “Technologies and tools to prioritize Assessment and diagnosis of air pollution impact on immovable and movable Cultural Heritage”
- Prudhomme C, Giuntoli I, Robinson EL, et al (2013) Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proc Natl Acad Sci* 111:3262–3267 . doi: 10.1073/pnas.1222473110
- Prunier A, de Bragança MM, Dividich J Le (1997) Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livest Prod Sci* 52:123–133 . doi: 10.1016/s0301-6226(97)00137-1
- Przeslawski R, Ahong S, Byrne M, et al (2008) Beyond corals and fish: the effects of climate change on noncoral benthic invertebrates of tropical reefs. *Glob Chang Biol* 14:2773–2795 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01693.x
- Puce S, Bavestrello G, Camillo CG Di, Boero F (2009) Long-term changes in hydroid (Cnidaria, Hydrozoa) assemblages: effect of Mediterranean warming? *Mar Ecol* 30:313–326 . doi: 10.1111/j.1439-0485.2009.00283.x
- Pumo D, Caracciolo D, Viola F, Noto L V (2016) Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins. *Sci Total Environ* 542:76–92 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.109
- Purse B V, Mellor PS, Rogers DJ, et al (2006) Climate change and the recent emergence of bluetongue in Europe. *Nat Rev Microbiol* 4: . doi: 10.1038/nrmicro1366
- Qian B, Zhang X, Chen K, et al (2010) Observed long-term trends for agroclimatic conditions in Canada. *J Appl Meteorol Climatol* 49:604–618 . doi: 10.1175/2009JAMC2275.1
- Qin B, Zhu G, Gao G, et al (2009) A Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China: Linkage to Climatic Variability and Lake Management. *Environ Manage* 45:105–112 . doi: 10.1007/s00267-009-9393-6
- Rabalais NN, Turner RE, Diaz RJ, Justic D (2009) Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES J Mar Sci* 66:1528–1537 . doi: 10.1093/icesjms/fsp047
- Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, et al (2007) Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med* 176:532–555 . doi: 10.1164/rccm.200703-456so
- Raftoyannis, Y, Nocentini S, Marchi, E, et al (2014) Perceptions of forest experts on climate change and fire management in European Mediterranean forests. *iForest - Biogeosciences For* 7:33–41 . doi: 10.3832/for0817-006
- Raitsos DE, Beaugrand G, Georgopoulos D, et al (2010) Global climate change amplifies the entry of tropical species into the eastern Mediterranean Sea. *Limnol Oceanogr* 55:1478–1484 . doi: 10.4319/lo.2010.55.4.1478

- Range P, Chícharo MA, Ben-Hamadou R, et al (2014) Impacts of CO₂-induced seawater acidification on coastal Mediterranean bivalves and interactions with other climatic stressors. *Reg Environ Chang* 14:19–30 . doi: 10.1007/s10113-013-0478-7
- Rassati D, Lieutier F, Faccoli M (2016) Alien Wood-Boring Beetles in Mediterranean Regions. In: *Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems*. Springer International Publishing, Cham, pp 293–327
- Ravazzani G, Ghilardi M, Mendlik T, et al (2014) Investigation of Climate Change Impact on Water Resources for an Alpine Basin in Northern Italy: Implications for Evapotranspiration Modeling Complexity. *PLoS One* 9:e109053 . doi: 10.1371/journal.pone.0109053
- Recasens L, Chiericoni V, Belcari P (2008) Spawning pattern and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius*, Linnaeus, 1758) in the western Mediterranean. *Sci Mar* 72:721–732 . doi: 10.3989/scimar.2008.72n4721
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia (2015) *IMPATTI DEI CAMBIAMENTI -CLIMATICI SUL TERRITORIO FISICO REGIONALE*
- Renaudeau D, Mandonnet N, Tixier-Boichard M, et al (2004) Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs: la voie génétique
- Resco de Dios V, Fischer C, Colinas C (2006) Climate Change Effects on Mediterranean Forests and Preventive Measures. *New For* 33:29–40 . doi: 10.1007/s11056-006-9011-x
- Reyer CPO, Leuzinger S, Rammig A, et al (2013) A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. *Glob Chang Biol* 19:75–89 . doi: 10.1111/gcb.12023
- Rezza G (2014) Dengue and chikungunya: long-distance spread and outbreaks in naïve areas. *Pathog Glob Health* 108:349–55 . doi: 10.1179/2047773214Y.0000000163
- Rianna G, Zollo A, Tommasi P, et al (2014) Evaluation of the Effects of Climate Changes on Landslide Activity of Orvieto Clayey Slope. *Procedia Earth Planet Sci* 9:54–63 . doi: 10.1016/j.proeps.2014.06.017
- 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 . doi: 10.1007/s00227-007-0880-0
- Rinaldo D, Mourot J (2001) Effects of tropical climate and season on growth, chemical composition of muscle and adipose tissue and meat quality in pigs. *Anim Res* 50:507–521 . doi: 10.1051/animres:2001142
- Ringler C, Bryan E, Biswas A, Cline SA (2010) Water and Food Security Under Global Change. In: *Global change: Impacts on water and food security*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 3–15
- Rita A, Borghetti M, Todaro L, Saracino A (2016) Interpreting the Climatic Effects on Xylem Functional Traits in Two Mediterranean Oak Species: The Role of Extreme Climatic Events. *Front Plant Sci* 7: . doi: 10.3389/fpls.2016.01126
- Rita A, Cherubini P, Leonardi S, et al (2015) Functional adjustments of xylem anatomy to climatic variability: insights from long-term *Ilex aquifolium* tree-ring series. *Tree Physiol* 35:817–828 . doi: 10.1093/treephys/tpv055
- Rivetti I, Frascchetti S, Lionello P, et al (2013) Mass mortalities and upper layer warming in the Mediterranean Sea. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. p 15
- Rivetti I, Frascchetti S, Lionello P, et al (2014) Global Warming and Mass Mortalities of Benthic Invertebrates in the Mediterranean Sea. *PLoS One* 9:e115655 . doi: 10.1371/journal.pone.0115655
- Rixen M, Beckers J-M, Levitus S, et al (2005) The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change. *Geophys Res Lett* 32:n/a---n/a . doi: 10.1029/2005gl022702
- Rizzi J, Torresan S, Critto A, et al (2016) Climate change impacts on marine water quality: The case study of the Northern Adriatic sea. *Mar Pollut Bull* 102:271–282 . doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.06.037
- Rodolfi A, Chiesi M, Tagliaferri G, et al (2007) Assessment of forest GPP variations in central Italy. *Can J For Res Can Rech For* 37:1944–1953 . doi: Doi 10.1139/X07-010

- Rodrigues LC, Bergh JCJM Van Den, Massa F, et al (2015) Sensitivity of Mediterranean Bivalve Mollusc Aquaculture to Climate Change, Ocean Acidification, and Other Environmental Pressures: Findings from a Producer Survey. *J Shellfish Res* 34:1161–1176 . doi: 10.2983/035.034.0341
- Roessig JM, Woodley CM, Cech JJ, Hansen LJ (2004) Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Rev Fish Biol Fish* 14:251–275 . doi: 10.1007/s11160-004-6749-0
- Roggero PP, Bagella S, Farina R (2002) Un archivio di dati di indici specifici per la valutazione integrata del valore pastorale. *Riv di Agron* 36:149–156
- Romanelli M, Giovanardi O (2012) Recent patterns of the Adriatic hydraulic dredge fishery targeting striped venus *Chamelea gallina* (L.) and influence of smaller rivers. *Biol Mar Mediterr* 19:218–219
- Romano E, Preziosi E (2012) Precipitation pattern analysis in the Tiber River basin (central Italy) using standardized indices. *Int J Climatol* 33:1781–1792 . doi: 10.1002/joc.3549
- Rosa R, Marques A, Nunes ML (2012) Impact of climate change in Mediterranean aquaculture. *Rev Aquac* 4:163–177 . doi: 10.1111/j.1753-5131.2012.01071.x
- Roudier P, Andersson JCM, Donnelly C, et al (2015) Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a 2°C global warming. *Clim Change* 135:341–355 . doi: 10.1007/s10584-015-1570-4
- Rozemeijer JC, Broers HP, van Geer FC, Bierkens MFP (2009) Weather-induced temporal variations in nitrate concentrations in shallow groundwater. *J Hydrol* 378:119–127 . doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.09.011
- Ruiz-Labourdette D, Schmitz MF, Pineda FD (2013) Changes in tree species composition in Mediterranean mountains under climate change: Indicators for conservation planning. *Ecol Indic* 24:310–323 . doi: 10.1016/j.ecolind.2012.06.021
- Ruiz-Mirazo J, Martínez-Fernández J, Vega-García C (2012) Pastoral wildfires in the Mediterranean: Understanding their linkages to land cover patterns in managed landscapes. *J Environ Manage* 98:43–50 . doi: 10.1016/j.jenvman.2011.12.017
- Rulli MC, Offeddu L, Santini M (2013) Modeling post-fire water erosion mitigation strategies. *Hydrol Earth Syst Sci* 17:2323–2337 . doi: 10.5194/hess-17-2323-2013
- Russell BD, Connell SD (2009) Eutrophication science: moving into the future. *Trends Ecol Evol* 24:527–528 . doi: 10.1016/j.tree.2009.06.002
- Saadi S, Todorovic M, Tanasijevic L, et al (2015) Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agric Water Manag* 147:103–115 . doi: 10.1016/j.agwat.2014.05.008
- Sabaté S, Gracia CA, 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. *For Ecol Manage* 162:23–37 . doi: 10.1016/S0378-1127(02)00048-8
- Sabatella R (2015) Parte II: Rapporto sulle strutture produttive nei mari italiani. In: Mannini A, Sabatella R (eds) *Annuario sullo stato delle risorse e sulle strutture produttive dei mari italiani*. Società Italiana Biologia Marina, Genova
- Sabatés ANA, 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. *Glob Chang Biol* 12:2209–2219 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01246.x
- Sabbioni C, Bonazza A, Messina P (2008) Global climate change and archaeological heritage: prevision, impact an mapping. In: Marchetti N, Thuesen I (eds) *ARCHAIA Case Studies on Research Planning, Characterisation, Conservation and Management of Archaeological Sites*. Archaeopress, Oxford, pp 295–300
- Sadori L, Giraudi C, Masi A, et al (2016) Climate, environment and society in southern Italy during the last 2000 years. A review of the environmental, historical and archaeological evidence. *Quat Sci Rev*

136:173–188 . doi: 10.1016/j.quascirev.2015.09.020

- Sahoo GB, Schladow SG, Reuter JE, Coats R (2010) Effects of climate change on thermal properties of lakes and reservoirs, and possible implications. *Stoch Environ Res Risk Assess* 25:445–456 . doi: 10.1007/s00477-010-0414-z
- Salinari F, Giosue S, Tubiello FN, et al (2006) Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Glob Chang Biol* 12:1299–1307 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01175.x
- Salis M, Ager AA, Arca B, et al (2013) Assessing exposure of human and ecological values to wildfire in Sardinia, Italy. *Int J Wildl Fire* 22: . doi: 10.1071/WF11060
- Salis M, Alcasena FJ, Munoz Lozano O, et al (2014) Produzione di mappe di probabilità e di comportamento potenziale degli incendi a scala regionale con proiezioni di scenari climatici. Roma
- Salis M, Laconi M, Ager AA, et al (2016) Evaluating alternative fuel treatment strategies to reduce wildfire losses in a Mediterranean area. *For Ecol Manage* 368:207–221 . doi: 10.1016/j.foreco.2016.03.009
- Salmaso N, Mosello R (2010) Limnological research in the deep southern subalpine lakes: synthesis, directions and perspectives. *Adv Oceanogr Limnol* 1:29 . doi: 10.4081/aiol.2010.5294
- Salvati L, Ceccarelli T, Brunetti A (2005) Geodatabase sul rischio di desertificazione in Italia - Agricoltura e degrado del territorio nello scenario del clima che cambia
- San-Miguel-Ayanz J, Moreno JM, Camia A (2013) Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *For Ecol Manage* 294:11–22 . doi: 10.1016/j.foreco.2012.10.050
- Santangeli A, Lehtikoinen A (2017) Are winter and breeding bird communities able to track rapid climate change? Lessons from the high North. *Divers Distrib* 23:308–316 . doi: 10.1111/ddi.12529
- 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. *Reg Environ Chang* 14:1405–1418 . doi: 10.1007/s10113-013-0582-8
- Sarmiento JL, Hughes TMC, Stouffer RJ, Manabe S (1998) Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming. *Nature* 393:245–249 . doi: 10.1038/30455
- Savi T, Bertuzzi S, Branca S, et al (2014) Drought-induced xylem cavitation and hydraulic deterioration: risk factors for urban trees under climate change? *New Phytol* 205:1106–1116 . doi: 10.1111/nph.13112
- Scalercio S, Bonacci T, Mazzei A, et al (2014) Better up, worse down: bidirectional consequences of three decades of climate change on a relict population of *Erebia cassioides*. *J Insect Conserv* 18:643–650 . doi: 10.1007/s10841-014-9669-x
- Schifano P, Lallo A, Asta F, et al (2013) Effect of ambient temperature and air pollutants on the risk of preterm birth, Rome 2001-2010. *Environ Int* 61:77–87 . doi: 10.1016/j.envint.2013.09.005
- Schmidtko S, Stramma L, Visbeck M (2017) Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature* 542:335–339 . doi: 10.1038/nature21399
- Schmuck G, San-Miguel-Ayanz J, Durrant T, et al (2015) Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2014. Publications Office of the European Union
- Schneider A, Schuh A, Maetzel F-K, et al (2008) Weather-induced ischemia and arrhythmia in patients undergoing cardiac rehabilitation: another difference between men and women. *Int J Biometeorol* 52:535–547 . doi: 10.1007/s00484-008-0144-9
- Schoener TW (1986) Mechanistic Approaches to Community Ecology: A New Reductionism. *Am Zool* 26:81–106 . doi: 10.1093/icb/26.1.81
- Sciortino M, De Cecco L, Martini S, Borfecchia F (2016) Monitoring and mapping Land Productivity: The Italian case study. *Submitt to Ecol Indic*
- Seidl R, Schelhaas M-J, Rammer W, Verkerk PJ (2014) Increasing forest disturbances in Europe and their

- impact on carbon storage. *Nat Clim Chang* 4:806–810 . doi: 10.1038/nclimate2318
- Selås V, Sønsteby A, Heide O, Opstad N (2015) Climatic and seasonal control of annual growth rhythm and flower formation in *Vaccinium myrtillus* (Ericaceae), and the impact on annual variation in berry production. *Plant Ecol Evol* 148:350–360 . doi: 10.5091/plecevo.2015.1110
- Sfriso A, Facca C (2007) Distribution and production of macrophytes and phytoplankton in the lagoon of Venice: comparison of actual and past situation. *Hydrobiologia* 577:71–85 . doi: 10.1007/s10750-006-0418-3
- Sfriso A, Facca C, Ghetti PF (2007) Rapid Quality Index (R-MaQI), based mainly on macrophyte associations, to assess the ecological status of Mediterranean transitional environments. *Chem Ecol* 23:493–503 . doi: 10.1080/02757540701702918
- Sfriso A, Marcomini A (1996) Decline of *Ulva* growth in the lagoon of Venice. *Bioresour Technol* 58:299–307 . doi: 10.1016/S0960-8524(96)00120-4
- Shivashankara KS, Rao NKS, Geetha GA (2013) Impact of Climate Change on Fruit and Vegetable Quality. In: *Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies*. Springer Nature, pp 237–244
- Silvestro F, Gabellani S, Giannoni F, et al (2012) A hydrological analysis of the 4 November 2011 event in Genoa. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 12:2743–2752 . doi: 10.5194/nhess-12-2743-2012
- Sirca C (2014) Report sugli impatti dei cambiamenti climatici sulla pericolosità potenziale degli incendi nell'area Euro-Mediterranea
- Smiraglia C, Diolaiuti G (eds) (2015) *Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani*. Ev-K2-CNR Ed., Bergamo
- Smith P, Olesen JE (2010) Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *J Agric Sci* 148:543–552 . doi: 10.1017/S0021859610000341
- SNPA (2015) Monitoraggio della microalga potenzialmente tossica *Ostreopsis cf. ovata* lungo le coste italiane. Anno 2014. ISPRA Rapporto 232/2015
- Sokolova IM, Frederich M, Bagwe R, et al (2012) Energy homeostasis as an integrative tool for assessing limits of environmental stress tolerance in aquatic invertebrates. *Mar Environ Res* 79:1–15 . doi: 10.1016/j.marenvres.2012.04.003
- Solidoro C, Bandelj V, Bernardi FA, et al (2010) Response of the Venice Lagoon ecosystem to natural and anthropogenic pressures over the last 50 years. In: Michael J. Kennish HWP (ed) *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*. CRC Press, pp 483–511
- Solomon S, Qin D, Manning M, et al (2007) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Sorokin YI, Zakusina OY (2010) Features of the Comacchio ecosystem transformed during persistent bloom of picocyanobacteria. *J Oceanogr* 66:373–387 . doi: 10.1007/s10872-010-0033-9
- Southwick S, Uyemoto J (1999) *Cherry Crinkle-leaf and Deep Suture Disorders*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources
- Southworth J, Randolph JC, Habeck M, et al (2000) Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States. *Agric Ecosyst Environ* 82:139–158 . doi: 10.1016/S0167-8809(00)00223-1
- Stachowitsch M (1991) Anoxia in the Northern Adriatic Sea: rapid death, slow recovery. *Geol Soc London, Spec Publ* 58:119–129 . doi: 10.1144/gsl.sp.1991.058.01.09
- 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*
- Staddon PL, Montgomery HE, Depledge MH (2014) Climate warming will not decrease winter mortality. *Nat Clim Chang* 4:190–194 . doi: 10.1038/nclimate2121
- STECF (2015) *Mediterranean assessments part 1 (STECF-15-18)*, EUR 27638. Publications Office of the European Union, Luxembourg

- Stramma L, Johnson GC, Sprintall J, Mohrholz V (2008) Expanding Oxygen-Minimum Zones in the Tropical Oceans. *Science* (80-) 320:655–658 . doi: 10.1126/science.1153847
- Strand LB, Barnett AG, Tong S (2011) Maternal Exposure to Ambient Temperature and the Risks of Preterm Birth and Stillbirth in Brisbane, Australia. *Am J Epidemiol* 175:99–107 . doi: 10.1093/aje/kwr404
- Sturrock RN, Frankel SJ, Brown A V, et al (2011) Climate change and forest diseases. *Plant Pathol* 60:133–149 . doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x
- Sujaritpong S, Dear K, Cope M, et al (2013) Quantifying the health impacts of air pollution under a changing climate: a review of approaches and methodology. *Int J Biometeorol* 58:149–160 . doi: 10.1007/s00484-012-0625-8
- Suphioglu C, Singh MB, Taylor P, et al (1992) Mechanism of grass-pollen-induced asthma. *Lancet* (London, England) 339:569–572
- Svenning J-C, Sandel B (2013) Disequilibrium vegetation dynamics under future climate change. *Am J Bot* 100:1266–1286 . doi: 10.3732/ajb.1200469
- Tanasijevic L, Todorovic M, Pereira LS, et al (2014) Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agric Water Manag* 144:54–68 . doi: 10.1016/j.agwat.2014.05.019
- Tankson JD, Vizzier-Thaxton Y, Thaxton JP, et al (2001) Stress and Nutritional Quality of Broilers. *Poult Sci* 80:1384–1389 . doi: 10.1093/ps/80.9.1384
- Tedim F, Remelgado R, Borges C, et al (2013) Exploring the occurrence of mega-fires in Portugal. *For Ecol Manage* 294:86–96 . doi: 10.1016/j.foreco.2012.07.031
- TERNA (2016) Previsioni della Domanda Elettrica In Italia e del Fabbisogno di Potenza Necessario. Anni 2015 – 2025. Roma
- Thackeray SJ, Sparks TH, Frederiksen M, et al (2010) Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Glob Chang Biol* 16:3304–3313
- Theocharis A (2008) Do we expect significant changes in the thermohaline circulation in the Mediterranean in relation to the observed surface layers warming? *CIESM Work Monogr* 35:25–29
- Thiede J, Aksnes D, Bathmann U, et al (2016) Marine Sustainability in an age of changing oceans and seas. Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Thuiller W, Lafourcade B, Engler R, Araújo MB (2009) BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* (Cop) 32:369–373 . doi: 10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x
- Tibby J, Tiller D (2007) Climate-water quality relationships in three Western Victorian (Australia) lakes 1984-2000. *Hydrobiologia* 591:219–234 . doi: 10.1007/s10750-007-0804-5
- Tolbert PE, Mulholland JA, Macintosh DL, et al (2000) Air Quality and Pediatric Emergency Room Visits for Asthma and Atlanta, Georgia. *Am J Epidemiol* 151:798–810 . doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a010280
- ToPDAd (2015) How Will Climate Change Affect Tourism Flows in Europe? Adaptation Options for Beach and Ski Tourists Assessed by ToPDAd Models'. ToPDAd project
- 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
- Touratier F, Goyet C (2009) Decadal evolution of anthropogenic CO₂ in the northwestern Mediterranean Sea from the mid-1990s to the mid-2000s. *Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap* 56:1708–1716 . doi: 10.1016/j.dsr.2009.05.015
- Trabucco A, Gallo A, Mereu V, Spano D (2014) GIS DSSAT: GIS spatial platform analyzing yield and crop risk for climate time-series geodatasets. In: CMCC Annual meeting. 10th-13th June, 2014. Marina di Ugento, Lecce, Italy.
- Tsagarakis K, Palialexis A, Vassilopoulou V (2013) Mediterranean fishery discards: review of the existing

- knowledge. *J Mar Sci* 71:1219–1234 . doi: 10.1093/icesjms/fst074
- Tsikliras AC, Dinouli A, Tsiros V-Z, Tsalkou E (2015) The Mediterranean and Black Sea Fisheries at Risk from Overexploitation. *PLoS One* 10:e0121188 . doi: 10.1371/journal.pone.0121188
- Tubiello FN, Donatelli M, Rosenzweig C, Stockle CO (2000) Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *Eur J Agron* 13:179–189 . doi: 10.1016/s1161-0301(00)00073-3
- Turco M, Llasat M-C, von Hardenberg J, Provenzale A (2014) Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Clim Change* 125:369–380 . doi: 10.1007/s10584-014-1183-3
- Ugolotti M, Pasquarella C, Vitali P, et al (2015) Characteristics and trends of selected pollen seasons recorded in Parma (Northern Italy) from 1994 to 2011. *Aerobiologia (Bologna)* 31:341–352 . doi: 10.1007/s10453-015-9368-4
- UN Expert group (2014) Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks
- UNCCD (2015) Climate change and land degradation: Bridging knowledge and stakeholders. In: UNCCD 3rd Scientific Conference, 9-12 March 2015, Cancún, Mexico
- 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
- Urban MC, Meester L De, Vellend M, et al (2011) A crucial step toward realism: responses to climate change from an evolving metacommunity perspective. *Evol Appl* 5:154–167 . doi: 10.1111/j.1752-4571.2011.00208.x
- USDOT (2012) Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase II. US Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Washington DC, USA
- Vadodaria K, Loveday DL, Haines V (2014) Measured winter and spring-time indoor temperatures in UK homes over the period 1969-2010: A review and synthesis. *Energy Policy* 64:252–262 . doi: 10.1016/j.enpol.2013.07.062
- Vakali C, Zaller JG, Köpke U (2011) Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organic farming. *Soil Tillage Res* 111:133–141 . doi: 10.1016/j.still.2010.09.003
- Vallisneri M, Vecchi A, Manfredi C (2004) Ciclo biologico annuale di *Merlangius Merlangus* (Linneo, 1758) (*Osteichthyes*, *Gadidae*) in alto-medio Adriatico. *Biol Mar Mediterr* 11:652–656
- van der Linden P, Dempsey P, Dunn R, et al (2015) Extreme weather and climate in Europe. ETC/CCA, Bologna
- van Vliet MTH, Yearsley JR, Ludwig F, et al (2012) Vulnerability of US and European electricity supply to climate change. *Nat Clim Chang* 2:676–681 . doi: 10.1038/nclimate1546
- van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, et al (2011) The representative concentration pathways: an overview. *Clim Change* 109:5–31 . doi: 10.1007/s10584-011-0148-z
- Van Wagner CE (1987) Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service
- Vannini A, Vettraino A, Martignoni D, et al (2017) Does *Gnomoniopsis castanea* contribute to the natural biological control of chestnut gall wasp? *Fungal Biol* 121:44–52 . doi: 10.1016/j.funbio.2016.08.013
- Vaquer-Sunyer R, Duarte CM (2008) Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proc Natl Acad Sci* 105:15452–15457 . doi: 10.1073/pnas.0803833105
- Vardoulakis S, Dimitroulopoulou C, Thornes J, et al (2015) Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK. *Environ Int* 85:299–313 . doi: 10.1016/j.envint.2015.09.010
- Ventrella D, Charfeddine M, Moriondo M, et al (2011) Agronomic adaptation strategies under climate

- change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. *Reg Environ Chang* 12:407–419 . doi: 10.1007/s10113-011-0256-3
- Vezzoli R, Mercogliano P, Pecora S, et al (2015) Hydrological simulation of Po River (North Italy) discharge under climate change scenarios using the RCM COSMO-CLM. *Sci Total Environ* 521–522:346–358 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.096
- Viaroli, P., Puma F, Ferrari I (2010) Sessione speciale “Aggiornamento delle conoscenze ecologiche sul bacino idrografico padano”. *Biologia Ambientale* 24, 1, 366. In: Atti XVIII Congresso S.It.E., Parma 13 settembre 2008. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale (CISBA), Reggio Emilia, Italia
- Viaroli P, Marinov D, Bodini A, et al (2007) Analysis of Clam Farming Scenarios in the Sacca di Goro lagoon. *Transitional Waters Monogr* 1:71–92
- Viles HA, Camuffo D, Fitz S, et al (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: Baer NS, Snethlage R (eds) *Saving Our Architectural Heritage*. John Wiley and Sons, Chichester, pp 95–112
- 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. *J Limnol* 67:87 . doi: 10.4081/jlimnol.2008.87
- Vitali A, Felici A, Esposito S, et al (2015) The effect of heat waves on dairy cow mortality. *J Dairy Sci* 98:4572–4579 . doi: 10.3168/jds.2015-9331
- Vitali A, Lana E, Amadori M, et al (2014) Analysis of factors associated with mortality of heavy slaughter pigs during transport and lairage. *J Anim Sci* 92:5134–5141 . doi: 10.2527/jas.2014-7670
- Viterbi R, Cerrato C, Bassano B, et al (2013) Patterns of biodiversity in the northwestern Italian Alps: a multi-taxa approach. *Community Ecol* 14:18–30 . doi: 10.1556/ComEc.14.2013.1.3
- Viterbi R, Imperio S, Alpe D, et al (2015) Climatic control and population dynamics of black grouse (*Tetrao tetrix*) in the Western Italian Alps. *J Wildl Manage* 79:156–166 . doi: 10.1002/jwmg.810
- Vollenweider RA (1992) Coastal marine eutrophication: principles and control. In: *Marine Coastal Eutrophication*. Elsevier {{BV}}, pp 1–20
- Wang Y, Frei M, Song Q, Yang L (2011) The impact of atmospheric CO₂ concentration enrichment on rice quality – A research review. *Acta Ecol Sin* 31:277–282 . doi: 10.1016/j.chnaes.2011.09.006
- Wardman AED, Stefani D, MacDonald JC (2002) Thunderstorm-Associated Asthma or Shortness of Breath Epidemic: A Canadian Case Report. *Can Respir J* 9:267–270 . doi: 10.1155/2002/728257
- Waters CN, Zalasiewicz J, Summerhayes C, et al (2016) The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* (80-) 351:aad2622 . doi: 10.1126/science.aad2622
- Weatherhead EK, Howden NJK (2009) The relationship between land use and surface water resources in the UK. *Land use policy* 26:S243–S250 . doi: 10.1016/j.landusepol.2009.08.007
- Webb LB, Whetton PH, Barlow EWR (2011) Observed trends in winegrape maturity in Australia. *Glob Chang Biol* 17:2707–2719 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02434.x
- Webb LB, Whetton PH, Barlow EWR (2007) Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Aust J Grape Wine Res* 13:165–175 . doi: 10.1111/j.1755-0238.2007.tb00247.x
- Whitehead PG, Wade AJ, Butterfield D (2009a) Potential impacts of climate change on water quality and ecology in six UK rivers. *Hydrol Res* 40:113 . doi: 10.2166/nh.2009.078
- Whitehead PG, Wilby RL, Battarbee RW, et al (2009b) A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrol Sci J* 54:101–123 . doi: 10.1623/hysj.54.1.101
- Whitney FA, Freeland HJ, Robert M (2007) Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific. *Prog Oceanogr* 75:179–199 . doi: 10.1016/j.pocean.2007.08.007
- WHO (2000) *Air quality guidelines for Europe*. Second Edition. Copenhagen
- WHO (2016) *Zika Virus Microcephaly and Guillain-Barré Syndrome*. Situation Report March 2016

- Wiens JA, Seavy NE, Jongsomjit D (2011) Protected areas in climate space: What will the future bring? *Biol Conserv* 144:2119–2125 . doi: 10.1016/j.biocon.2011.05.002
- Williams JW, Jackson ST (2007) Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. *Front Ecol Environ* 5:475–482 . doi: 10.1890/070037
- Woods D (2008) Stakeholder involvement and public participation: a critique of Water Framework Directive arrangements in the United Kingdom. *Water Environ J* 22:258–264 . doi: 10.1111/j.1747-6593.2008.00136.x
- World Bank (2008) Agriculture for development. Washington D.C.
- World Economic Forum (2014) Report Global Risks 2014 Ninth Edition
- Xia R, Zhang Y, Critto A, et al (2016) The Potential Impacts of Climate Change Factors on Freshwater Eutrophication: Implications for Research and Countermeasures of Water Management in China. *Sustainability* 8:229 . doi: 10.3390/su8030229
- Xu J, Grumbine RE (2014) Building ecosystem resilience for climate change adaptation in the Asian highlands. *Wiley Interdiscip Rev Clim Chang* 5:709–718 . doi: 10.1002/wcc.302
- Yang LH, Rudolf VHW (2010) Phenology, ontogeny and the effects of climate change on the timing of species interactions. *Ecol Lett* 13:1–10 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01402.x
- 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 . doi: 10.3390/s7102297
- Zaharescu DG, Hooda PS, Burghilea CI, et al (2016) Climate change enhances the mobilisation of naturally occurring metals in high altitude environments. *Sci Total Environ* 560–561:73–81 . doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.002
- Zampiglia M, Canestrelli D, Chiocchio A, Nascetti G (2013) Geographic distribution of the chytrid pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* among mountain amphibians along the Italian peninsula. *Dis Aquat Organ* 107:61–68 . doi: 10.3354/dao02655
- Zecca A, Chiari L (2012) Lower bounds to future sea-level rise. *Glob Planet Change* 98–99:1–5 . doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.002
- Zeka A, Browne S, McAvoy H, Goodman P (2014) The association of cold weather and all-cause and cause-specific mortality in the island of Ireland between 1984 and 2007. *Environ Heal* 13: . doi: 10.1186/1476-069x-13-104
- Zenetos A, Gofas S, Morri C, et al (2012) A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction to trends and pathways. *Mediterr Mar Sci* 13:328–352
- Zenetos A, Gofas S, Verlaque M, et al (2010) Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. *Mediterr Mar Sci* 11: . doi: 10.12681/mms.87
- Zhang J, Gilbert D, Gooday AJ, et al (2010) Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development. *Biogeosciences* 7:1443–1467 . doi: 10.5194/bg-7-1443-2010
- Zucaro R, Pontrandolfi A, Dodaro GM, et al (2011) Atlante nazionale dell'irrigazione