



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici

DICEMBRE 2023

Sommario

Sommario	2
Introduzione e obiettivi del piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici.....	4
1 Il quadro giuridico di riferimento	8
1.1 L'applicazione alla tematica dei cambiamenti climatici di norme e principi formati in materia ambientale e per fini di salvaguardia dei diritti umani	8
1.2 Gli atti adottati a livello internazionale che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici	8
1.3 Gli atti adottati a livello dell'Unione europea che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici.....	11
1.4 Gli atti adottati a livello nazionale che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici	14
1.5 La dimensione regionale e locale dell'adattamento ai cambiamenti climatici	15
1.5.1 Il livello regionale.....	15
1.5.2 Il livello locale	16
2 Il quadro climatico nazionale.....	17
2.1 Analisi del clima sul periodo di riferimento.....	19
2.1.1 Sintesi degli eventi meteo-climatici significativi in anni recenti.....	23
2.2 Valutazione delle proiezioni climatiche.....	24
2.3 Aree marine	31
2.3.1 Analisi della condizione climatica di riferimento.....	31
2.3.2 Proiezioni climatiche.....	32
2.3.3 Analisi delle aree marine della fascia costiera.....	32
2.3.4 Analisi a scala nazionale	34
3 Impatti dei cambiamenti climatici in Italia e vulnerabilità settoriali.....	40
3.1 Criosfera e montagna	40
3.2 Risorse idriche	43
3.3 Ambienti marini: biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici.....	45
3.4 Ecosistemi e biodiversità di acque interne e di transizione	48
3.5 Zone costiere	49
3.6 Suolo e territorio	52
3.6.1 Dissesto geologico, idrologico e idraulico	52
3.6.2 Degrado del territorio.....	54
3.7 Ecosistemi terrestri.....	57
3.8 Specie alloctone.....	60
3.9 Foreste.....	62

3.10	Agricoltura e produzione alimentare	63
3.11	Pesca marittima	66
3.12	Acquacoltura.....	69
3.13	Turismo.....	71
3.14	Insedimenti urbani.....	73
3.15	Trasporti e infrastrutture.....	75
3.15.1	Trasporto terrestre	75
3.15.2	Trasporto aereo	76
3.15.3	Trasporto navale e porti	77
3.16	Industrie e infrastrutture pericolose	77
3.17	Patrimonio culturale e paesaggio	78
3.18	Energia	80
3.19	Salute	82
3.20	Impatti socioeconomici	84
4	Misure e azioni del PNACC	85
4.1	Misure e azioni sistemiche	86
4.2	Misure di indirizzo	88
4.2.1	Misure e azioni settoriali	89
4.2.2	Caratterizzazione delle azioni.....	89
4.2.3	Categorizzazione delle azioni.....	90
4.2.4	Valutazione delle azioni.....	92
4.2.5	Il Database delle azioni.....	94
5	Finanziare l'adattamento ai cambiamenti climatici	96
6	Governance dell'adattamento.....	99
6.1	Osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici	99
6.1.1	Comitato	100
6.1.2	Segreteria	101
6.1.3	Forum	101
6.1.4	Tempistiche	103
6.2	Monitoraggio, reporting e valutazione del PNACC.....	104

Allegati

Allegato I: Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici

Allegato II: Metodologie per la definizione di strategie e piani locali di adattamento ai cambiamenti climatici

Allegato III: Impatti e vulnerabilità settoriali

Allegato IV: Database delle azioni

INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL PIANO NAZIONALE DI ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I cambiamenti climatici rappresentano e rappresenteranno in futuro una delle sfide più rilevanti da affrontare a livello globale ed anche nel territorio italiano. L'Italia si trova nel cosiddetto "hot spot mediterraneo", un'area identificata come particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici (IPCC, ARC.6; IPCC ARC.5; EEA 2012). Il territorio nazionale è, inoltre, notoriamente soggetto ai rischi naturali (fenomeni di dissesto, alluvioni, erosione delle coste, carenza idrica) e già oggi è evidente come l'aumento delle temperature e l'intensificarsi di eventi estremi connessi ai cambiamenti climatici (siccità, ondate di caldo, venti, piogge intense, ecc.) amplifichino tali rischi i cui impatti economici, sociali e ambientali sono destinati ad aumentare nei prossimi decenni.

È quindi evidente l'importanza dell'attuazione di azioni di adattamento nel territorio per far fronte ai rischi provocati dai cambiamenti climatici. Essendo il tema fortemente trasversale, la pianificazione di azioni adeguate necessita di:

- una base di conoscenza dei fenomeni che sia messa a sistema;
- un contesto organizzativo ottimale;
- una governance multilivello e multisettoriale.

I primi passi a livello nazionale sono stati compiuti nel 2015, quando è stata adottata la Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (SNAC), che ha analizzato lo stato delle conoscenze scientifiche sugli impatti e sulla vulnerabilità ai cambiamenti climatici per i principali settori ambientali e socioeconomici e ha presentato un insieme di proposte e criteri d'azione per affrontare le conseguenze di tali cambiamenti e ridurre gli impatti. L'obiettivo generale dell'adattamento è stato declinato nella SNAC in obiettivi specifici da perseguire, indicando come elementi di importanza primaria per attuare un'efficace strategia di adattamento:

- l'attivazione di infrastrutture per lo scambio di dati e analisi sull'adattamento, nonché la realizzazione di attività volte a promuovere la partecipazione e aumentare la consapevolezza dei portatori di interesse sulle azioni;
- la valutazione costi/benefici delle misure di adattamento;
- lo sviluppo e l'attuazione di strategie e piani di adattamento ai diversi livelli;
- l'integrazione di criteri di adattamento in piani e programmi settoriali (cd. mainstreaming climatico) al fine di contenere le vulnerabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici agli impatti dei cambiamenti climatici;
- il regolare monitoraggio e una valutazione dei progressi compiuti a livello nazionale, settoriale e territoriale.

Importanti indirizzi volti a perseguire un ulteriore sviluppo e una maggiore efficacia di strategie e piani nazionali si rinvencono negli atti di fonte internazionale e dell'UE che trattano il tema dell'adattamento.

In occasione della COP-21 del 2015 è stato presentato l'Accordo di Parigi, entrato in vigore l'anno successivo che, all'art. 7, fissa l'obiettivo globale dell'adattamento e prevede, per il suo conseguimento, che ciascuna Parte si impegni in processi di pianificazione dell'adattamento e nell'attuazione di misure che consistono, in particolare, nella messa a punto o rafforzamento dei pertinenti piani, politiche e/o contributi, che possono comprendere: (a) la realizzazione di misure, programmi e/o sforzi di adattamento; (b) il processo di formulazione e attuazione dei piani di adattamento nazionali (art. 7, par. 9).

Nel 2021 la Commissione europea ha presentato la nuova Strategia di adattamento (COM(2021) 82 final del 25 febbraio 2021, Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici) che sostituisce la precedente Strategia del 2013. La nuova Strategia, preannunciata nel Green Deal europeo, mira a realizzare la trasformazione dell'Europa in un'Unione resiliente ai cambiamenti climatici entro il 2050 e si basa su quattro priorità: un adattamento più intelligente, più sistemico e integrato, più rapido, oltre che una intensificazione dell'azione internazionale.

Per rendere l'adattamento più sistemico e integrato la Commissione, ribadendo l'importanza di strategie e piani nazionali di adattamento, sollecita gli Stati a renderli efficaci e a svilupparli ulteriormente, e da parte sua si impegna a sostenerne lo sviluppo e l'attuazione a tutti i livelli di governance articolando l'approccio intorno a tre priorità trasversali: integrazione dell'adattamento nella politica macro-finanziaria, soluzioni per l'adattamento basate sulla natura e azioni locali di adattamento (par. 2.2. della Strategia). Gli obiettivi delineati nella Strategia europea sono rafforzati dalla cd. **Legge europea sul clima** (Reg. (UE) 2021/1119 del 30 giugno 2021) che, integrando nell'ordinamento dell'UE l'Accordo di Parigi e l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, prevede che gli Stati membri adottino e attuino strategie e piani nazionali di adattamento, tenendo conto della Strategia dell'UE di adattamento (art. 5, par. 9 del Reg. (UE) 2021/1119).

L'Italia ha recepito gli indirizzi contenuti nei citati atti di fonte internazionale e dell'UE e, coerentemente con essi, oltreché con quanto previsto dalla SNAC, ha intrapreso rilevanti iniziative sul tema dell'adattamento proseguendo, inoltre, gli sforzi intrapresi dal 2017 per giungere all'approvazione di un Piano nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici.

In primo luogo, nel mese di **ottobre 2022** il Ministero della Transizione Ecologica (ora Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - MASE), in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), ha pubblicato la **Piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici**, un portale finalizzato ad informare e sensibilizzare i cittadini e i portatori di interessi sulla tematica dell'adattamento ed a rendere disponibili dati e strumenti utili a supportare la Pubblica Amministrazione nei processi decisionali. La Piattaforma sarà periodicamente aggiornata e arricchita con dati e informazioni provenienti da diverse fonti.

In linea con le indicazioni della Strategia europea di adattamento, che mirano a realizzare un adattamento più intelligente, la Piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici si prefigge lo scopo di mettere insieme dati, informazioni e strumenti operativi e di renderli facilmente disponibili per incrementare la conoscenza e la capacità di pianificazione e attuazione di azioni di adattamento sul territorio nazionale.

In secondo luogo, nel recepire gli indirizzi contenuti nei citati atti di fonte internazionale e dell'UE intervenuti successivamente all'adozione della SNAC, nel 2022 è stato istituito un apposito Gruppo di lavoro con l'obiettivo di accelerare le attività finalizzate all'approvazione del Piano di adattamento, con l'obiettivo di pervenire ad uno strumento con cui l'Italia fornirà il proprio contributo alla realizzazione dell'obiettivo globale di adattamento ai cambiamenti climatici definito dall'Accordo di Parigi del 2015, consistente nel: migliorare la capacità di adattamento, rafforzare la resilienza e ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici nell'ambito dello sviluppo sostenibile e dell'obiettivo di contenimento dell'innalzamento della temperatura media globale.

L'obiettivo principale del PNACC è fornire un quadro di indirizzo nazionale per l'implementazione di azioni finalizzate a ridurre al minimo possibile i rischi derivanti dai cambiamenti climatici, a migliorare la capacità di adattamento dei sistemi socioeconomici e naturali, nonché a trarre vantaggio dalle eventuali opportunità che si potranno presentare con le nuove condizioni climatiche.

Percorso del PNACC

Il percorso che il Ministero ha deciso di intraprendere per dotarsi di un Piano nazionale di adattamento consta di due fasi complementari e consecutive tra loro: una prima fase che **si conclude con l'approvazione del PNACC a seguito del completamento del procedimento di VAS** e una seconda fase che si concretizzerà con **l'avvio delle attività della struttura di governance del Piano per la definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle misure del PNACC** ai diversi livelli di governo.

La prima fase è stata caratterizzata da un articolato *iter* avviato nel 2017, così come previsto dalla SNAC. Nel 2018, a seguito della condivisione dei documenti di Piano con la Conferenza Stato-Regioni, il Ministero ha ritenuto che la redazione del Piano dovesse avvenire nell'ambito di un processo partecipativo strutturato, quale quello incluso nel procedimento di Valutazione Ambientale Strategica. Si è dunque proceduto alla verifica di assoggettabilità a VAS nel 2020 e alla fase di *scoping* nel 2021, che si è conclusa con la comunicazione dell'Autorità competente, il 3 giugno 2021, che ha trasmesso il parere della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS, n. 13 del 3 maggio 2021.

Nel 2022, a seguito della riorganizzazione degli uffici ministeriali e tenendo conto degli esiti del percorso svolto, il Ministero ha istituito, con decreto direttoriale n. 96 del 12 luglio 2022, un apposito Gruppo di lavoro per il necessario supporto tecnico alla rielaborazione del Piano, anche alla luce delle osservazioni formulate dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS, nel sopra citato parere n. 13/2021 e della intervenuta normativa europea.

Si è pervenuti, quindi, alla fase di consultazione pubblica sulla proposta di Piano e sul Rapporto Ambientale avviata il 16/02/2023 con la pubblicazione dell'avviso sul portale delle valutazioni ambientali del MASE. Con la chiusura della consultazione al 14/04/2023 sono pervenute osservazioni e contributi da vari enti e da privati cittadini, per un totale di 84 documenti.

Il procedimento di VAS si è concluso con il Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica di concerto con il Ministro della Cultura, n. 256 del 4 agosto 2023, che ha trasmesso il parere della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA-VAS, n. 472 del 12 giugno 2023, ed il parere della Direzione Generale Archeologia Belle Arti e Paesaggio del Ministero della Cultura n. 20907-P del 12 giugno 2023.

Per la descrizione completa dell'iter procedurale si rimanda alla Dichiarazione di Sintesi sulla procedura di Valutazione Ambientale Strategica ex art. 17 del D.lgs. 152/2006.

Il PNACC così rielaborato risponde a una duplice esigenza: quella di realizzare compiutamente la prima e necessaria azione di sistema dell'adattamento, che è rappresentata **dall'istituzione di un'apposita struttura di governance nazionale**; e quella di produrre un **documento di indirizzo**, finalizzato a porre **le basi per una pianificazione di breve e di lungo termine** per l'adattamento ai cambiamenti climatici, attraverso la definizione di specifiche misure volte sia al rafforzamento della capacità di adattamento a livello nazionale, attraverso l'aumento e la messa a sistema delle conoscenze, sia allo sviluppo di un contesto organizzativo ottimale; requisiti di base per la definizione di azioni efficaci nel territorio.

A seguito dell'approvazione del PNACC si aprirà la seconda fase del percorso, gestita dalla struttura di *governance*, finalizzata a garantire l'immediata operatività del Piano. I risultati di questa attività potranno altresì convergere in piani settoriali o intersettoriali.

Struttura del PNACC

La gestione dei processi legati agli impatti dei cambiamenti climatici, la costruzione di modalità di adattamento e la messa in campo di strategie operative costituiscono un'attività di pianificazione complessa che richiede la **condivisione degli obiettivi e dei metodi** e la **predisposizione di modelli di governance appositi**. In ragione di questo, la costruzione del documento di Piano del 2018 è avvenuta

seguendo un approccio *bottom-up*. La fase di elaborazione è stata accompagnata da una prima consultazione pubblica tramite questionario, diretta a indagare la percezione dei diversi portatori di interesse nei confronti della tematica dell'adattamento ai cambiamenti climatici, contribuire a valutare le possibili azioni da intraprendere per favorirlo e i modelli di governance più efficaci per conseguirlo. Una seconda consultazione è stata attuata attraverso la pubblicazione della prima bozza di Piano nel 2018, al fine di raccogliere osservazioni e suggerimenti da tutti i soggetti interessati. Tale modalità ha completato gli ulteriori momenti di consultazione dedicati a specifiche categorie di portatori di interesse, come le Regioni, gli Enti di Ricerca, i Ministeri e le associazioni ambientaliste. Le varie fasi di condivisione hanno permesso di integrare il Piano e, ove opportuno, di modificarne i contenuti sulla base delle indicazioni pervenute.

Successivamente, a guidare il lavoro per la predisposizione del Piano nell'ambito del procedimento di VAS sono state due esigenze fondamentali: l'urgenza di dare risposta alle criticità climatiche riscontrate in Italia e agli impatti già in atto nel nostro territorio; la necessità di tenere conto delle osservazioni e delle indicazioni fornite, nel corso del procedimento di VAS, dai Soggetti Competenti in materia Ambientale e dal pubblico interessato.

La struttura del PNACC è articolata come segue:

1. Il quadro giuridico di riferimento
2. Il quadro climatico nazionale
3. Impatti dei cambiamenti climatici in Italia e vulnerabilità settoriali
4. Misure e azioni del PNACC
5. Finanziare l'adattamento ai cambiamenti climatici
6. Governance dell'adattamento.

In allegato al PNACC sono riportati, inoltre, quattro documenti di riferimento per specifici aspetti del piano:

- due documenti di indirizzo per la definizione di strategie/piani regionali e locali di adattamento ai cambiamenti climatici: le *“Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici”* e le *“Metodologie per la definizione di strategie e piani locali di adattamento ai cambiamenti climatici”* che costituiscono gli **Allegati I e II** descritti al paragrafo 4.2.
- un documento analitico riportante il quadro delle conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici in Italia, prodotto nell'arco degli anni 2017-2018 da una ampia comunità di esperti (**Allegato III**). Il tema degli impatti climatici è inoltre trattato nel capitolo 3 che contiene elementi di conoscenza aggiornati per alcuni settori.
- un documento di riferimento per le azioni di adattamento (**Allegato IV** - Database delle azioni) che rappresenta un quadro organico di *“possibili opzioni di adattamento”* che troveranno applicazione nei diversi strumenti di pianificazione, a scala nazionale, regionale e locale, con le modalità che saranno individuate dalla struttura di governance stabilita nel presente Piano (l'Osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici descritto al capitolo 6).

1 IL QUADRO GIURIDICO DI RIFERIMENTO¹

1.1 L'applicazione alla tematica dei cambiamenti climatici di norme e principi formati in materia ambientale e per fini di salvaguardia dei diritti umani

Il tema degli impatti attuali e attesi dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali, sull'uomo e sui settori socioeconomici, e delle misure di adattamento ai cambiamenti climatici, rientra in ampia parte, benché non esclusivamente, nella materia ambientale.

Sotto il profilo giuridico, la tematica dei cambiamenti climatici nasce principalmente nell'ambito del diritto ambientale, pur presentando connessioni anche con altre branche del diritto, tra le quali, in particolare, quella del diritto internazionale e quella del diritto dell'energia, e progressivamente acquista una propria autonomia, affermandosi oggi come "diritto del clima".

Le norme e i principi che informano, in generale, la materia ambientale sono applicabili, per quanto di pertinenza, anche al tema dei cambiamenti climatici. Si tratta, in particolare, del divieto di cagionare danni transfrontalieri, degli obblighi di cooperazione e di valutazione d'impatto ambientale, dei principi di salvaguardia dell'ambiente, di prevenzione, di precauzione, del "chi inquina paga", delle responsabilità comuni ma differenziate e rispettive capacità, di equità intergenerazionale e intragenerazionale, dello sviluppo sostenibile, di non regressione, d'integrazione, di sviluppo resiliente al clima, di conoscenza scientifica e integrità nel processo decisionale, di solidarietà, del divieto di arrecare un danno significativo all'ambiente (DNSH). Parimenti rilevanti sono i diritti previsti nella Convenzione di Aarhus sull'accesso alle informazioni, la partecipazione del pubblico ai processi decisionali e l'accesso alla giustizia in materia ambientale, del 25 giugno 1998, entrata in vigore il 30 ottobre 2001.

Oltre alle norme e ai principi formati nel quadro del diritto dell'ambiente, devono ritenersi applicabili alla tematica dei cambiamenti climatici, ove pertinenti, le norme e i principi posti a salvaguardia dei diritti umani: i cambiamenti climatici, difatti, possono avere un impatto su tali diritti (es. diritto alla salute, diritto alla vita, diritto alla vita privata e familiare, diritto di proprietà).

1.2 Gli atti adottati a livello internazionale che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici

La Convenzione-Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC)

Il primo fondamentale accordo adottato dalla comunità internazionale per affrontare la problematica dei cambiamenti climatici è la Convenzione-Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) aperta alla firma in occasione della Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo, tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno 1992, ed entrata in vigore il 21 marzo 1994, la quale è stata ratificata da 198 Parti incluse l'Italia, che vi ha provveduto con l. 15 gennaio 1994, n. 65 (in G.U. 29 gennaio 1994, n. 23), e l'Unione europea, che l'ha formalmente approvata il 21 dicembre 1993.

La UNFCCC persegue l'obiettivo di stabilizzazione delle emissioni di gas climalteranti e al contempo onera gli Stati dell'adozione di misure di adattamento: prevede, in modo programmatico, che gli Stati

¹ Per le tematiche trattate in questo capitolo, v. Castellari, S., Venturini, S., Pozzo, B., Tellarini, G., Giordano, F. (2014). 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. Carlarne, C.P., Gray, K.R., Tarasofsky, R. (a cura di) (2016). The Oxford Handbook of International Climate Change Law, OUP, Oxford. Bodansky, D., Brunnée, J., Rajamani, L. (2017). International Climate Change Law, OUP, Oxford. Franceschelli, F. (2019). L'impatto dei cambiamenti climatici nel diritto internazionale, Editoriale Scientifica, Napoli. Scovazzi, T. (2021). Dal Protocollo di Kyoto all'Accordo di Parigi, in Rivista Giuridica dell'Ambiente, n. 1, pp. 163-173

mettano in esecuzione e aggiornino programmi nazionali e, ove opportuno, regionali, per attuare l'adattamento ai cambiamenti climatici (artt. 3.3; 4.1 lett. b; 4.1 lett. e; 4.4).

Il Protocollo di Kyoto e l'Emendamento di Doha

Il Protocollo di Kyoto alla Convenzione-Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici è stato aperto alla firma l'11 dicembre 1997, è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, ed è stato ratificato da 192 Parti tra cui l'Italia, che vi ha provveduto con l. 1° giugno 2002, n. 120 (in G.U. 19 giugno 2002, n. 142), e l'Unione europea, che l'ha formalmente approvato il 31 maggio 2002. Il termine per l'efficacia del Protocollo di Kyoto è stato fissato al 13 dicembre 2012 (primo periodo di impegno del Protocollo di Kyoto).

Oltre ad avere introdotto obiettivi giuridicamente vincolanti di riduzione delle emissioni climalteranti a carico dei Paesi maggiormente sviluppati e ad altri aspetti relativi alla mitigazione, il Protocollo di Kyoto contiene anche disposizioni in tema di adattamento: in particolare, riprendendo il contenuto della UNFCCC, stabilisce che gli Stati sono chiamati a realizzare programmi nazionali e regionali di adattamento (artt. 10.1 lett. b; 10.1 lett. b (i); 10.1 lett. b (ii); 12.8).

Con l'Emendamento di Doha al Protocollo di Kyoto adottato l'8 dicembre 2012, entrato in vigore il 31 dicembre 2020 e ratificato da 148 Parti tra cui l'Italia, che vi ha provveduto con l. 3 maggio 2016, n. 79 (in G.U. 25 maggio 2016, n. 121), e l'Unione europea, che l'ha formalmente approvato il 21 dicembre 2017, l'efficacia del Protocollo di Kyoto è stata prorogata fino al 31 dicembre 2020, con alcune modifiche relative – tra l'altro – alla previsione di differenti obiettivi di riduzione (secondo periodo di impegno del Protocollo di Kyoto). Ancor prima dell'entrata in vigore dell'Emendamento di Doha alcuni Stati hanno deciso di procedere all'applicazione provvisoria di questo strumento.

L'Accordo di Parigi

L'Accordo di Parigi collegato alla UNFCCC è stato adottato a Parigi il 12 dicembre 2015 in occasione della COP-21, aperto alla firma il 22 aprile 2016, entrato in vigore il 4 novembre 2016, e ratificato da 195 Parti, tra cui l'Italia, che vi ha provveduto con l. 4 novembre 2016, n. 204 (in G.U. 10 novembre 2016, n. 263), e l'Unione europea, che l'ha formalmente approvato il 5 ottobre 2016.

L'Accordo di Parigi è un trattato internazionale universale che stabilisce il quadro giuridico globale per affrontare le cause e gli impatti del cambiamento climatico nel periodo post-2020.

Costituisce lo strumento principale mediante il quale è attualmente disciplinata sul piano internazionale la materia dei cambiamenti climatici.

Fulcro dell'Accordo di Parigi sono le *Nationally Determined Contributions (NDCs)*, che rappresentano gli impegni assunti dagli Stati parti per ridurre le emissioni e per l'adattamento ai cambiamenti climatici e da essi comunicati periodicamente alla UNFCCC. Con le proprie comunicazioni gli Stati indicano come intendono contribuire a conseguire l'obiettivo generale posto dall'Accordo di Parigi di contenere l'aumento della temperatura media globale entro 2°C, sostenendo ogni sforzo per contenerla entro 1,5°C, rispetto ai livelli preindustriali. Le Parti, parimenti, devono periodicamente trasmettere alla UNFCCC una comunicazione relativa all'adattamento, che può essere inclusa in altre comunicazioni o documenti.

L'obiettivo globale dell'adattamento è stabilito specificamente nell'art. 7, a sua volta suddiviso in 14 paragrafi nei quali si affrontano molteplici aspetti dell'adattamento ai cambiamenti climatici, dall'essere un obiettivo globale per gli Stati parti, alla sua natura di sfida globale nell'ambito di una governance multilivello in una dimensione locale, subnazionale, nazionale, regionale e internazionale per dare una risposta nel lungo periodo al problema della protezione delle popolazioni, dell'ambiente di vita e dell'ecosistema.

È altresì previsto che tutte le Parti devono, laddove appropriato, dare attuazione a processi di pianificazione nazionale di adattamento.

L'Agenda 2030 e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile

L'Agenda 2030 con gli annessi 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione globale per le persone, il pianeta, la prosperità, la pace e la partnership approvato con Risoluzione del 25 settembre 2015 adottata all'unanimità dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite (*Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development* – UN Doc. A/RES/70/1).

L'Agenda 2030 definisce 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (SDGs), declinati in 169 *target*, da conseguire entro il 2030 e costituisce una piattaforma strategica idonea ad orientare politiche pubbliche e azioni di sostenibilità orizzontale e intersettoriale, integrate nelle dimensioni economica, sociale e ambientale: l'Agenda 2030 ed i 17 SDGs sono così assurti a quadro di riferimento a livello internazionale per lo sviluppo sostenibile, inteso nelle sue tre dimensioni di crescita economica, tutela dei diritti sociali e tutela ambientale.

L'Agenda 2030, riconoscendo espressamente il ruolo della UNFCCC come principale forum internazionale e intergovernativo al fine di negoziare la risposta globale al cambiamento climatico, affronta tale tema sia in modo diffuso all'interno dell'Obiettivo 13 (*Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico*) a sua volta declinato in 5 *target*, con riguardo alle azioni di mitigazione e di adattamento; sia nel contesto di altri Obiettivi tra i quali assume un particolare rilievo, in tema di adattamento, l'Obiettivo 11 (*Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili*), che persegue una maggiore resilienza delle città rispetto ai cambiamenti climatici.

Il Quadro di riferimento di Sendai per la riduzione del rischio di disastri

Il Quadro di riferimento di Sendai per la riduzione del rischio di disastri 2015-2030 adottato a Sendai il 18 marzo 2015 in occasione della Terza Conferenza Mondiale delle Nazioni Unite (World Conference on Disaster Risk Reduction (WCDRR), *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*), e approvato dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite il 25 giugno 2015 (UN Doc. A/RES/69/284), fornisce un significativo contributo alla disciplina relativa al rischio di disastri – sia naturali, sia provocati dall'uomo – e al contempo tratta sotto più aspetti il tema dell'adattamento, integrandosi con esso.

Nel Quadro di Sendai è previsto espressamente che gli Stati devono adottare tutte le misure necessarie a prevenire e ridurre il rischio di disastri e che, nel far questo, Stati e altri *stakeholders* devono promuovere e proteggere i diritti umani.

Ulteriori atti di fonte internazionale di rilievo in tema di adattamento ai cambiamenti climatici

Oltre a quelli citati, anche altri atti integrano tematiche climatiche sotto più profili, i quali sono stati adottati in diversi contesti e hanno differente efficacia giuridica. Tra essi, possono qui richiamarsi la Convenzione sulla diversità biologica del 1992 entrata in vigore il 29 dicembre 1993, i Cancun Agreements presentati nel 2010, il Glasgow Climate Pact presentato nel 2021, l'Accordo istitutivo di un fondo per le perdite e i danni presentato nel 2022, il Trattato per l'Alto Mare (Agreement under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the Conservation and Sustainable Use of Marine Biological Diversity of Areas beyond National Jurisdiction) aperto alla firma il 20 settembre 2023.

1.3 Gli atti adottati a livello dell'Unione europea che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici

La base giuridica dell'azione sul clima a livello europeo

La base giuridica per l'intervento dell'UE in materia ambientale e climatica è costituita dall'art. 192 TFUE che, per la realizzazione degli obiettivi previsti in tali materie dall'art. 191 TFUE, prevede che il Parlamento europeo e il Consiglio deliberino secondo procedura legislativa ordinaria o speciale. L'art. 193 TFUE, poi, fa salvi i livelli di protezione maggiore, rispetto a quelli dell'UE, eventualmente previsti negli Stati membri, purché le misure adottate a livello nazionale siano compatibili con i Trattati.

Principali atti e iniziative dell'Unione Europea

L'Unione europea si pone come soggetto leader e principale protagonista dell'azione sul clima a livello globale. Oltre ad aver promosso l'adozione di importanti strumenti multilaterali ed averne formalmente approvato i principali, ha intrapreso sul piano interno numerose iniziative e ha emanato, nell'ambito delle competenze che le sono attribuite, un ampio numero di atti, in parte vincolanti, in parte privi di efficacia vincolante, mediante i quali essa si propone di affrontare le cause e gli impatti dei cambiamenti climatici.

Tra essi, si richiamano qui sinteticamente in ordine cronologico i principali atti che riguardano, alcuni specificamente, alcuni in parte, aspetti di rilievo connessi all'adattamento ai cambiamenti climatici:

- nel 2000 vi è stato il lancio dello European Climate Change Programme (ECCP);
- nel 2003 si è provveduto dall'adozione della Direttiva 2003/87 che ha istituito l'EU ETS con cui è stata data concreta attuazione alla politica dell'UE sui cambiamenti climatici;
- nel 2008 la Commissione europea ha istituito ufficialmente il Patto dei Sindaci e nel 2014 ha varato l'iniziativa "Mayors Adapt" quale azione chiave della Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici in vigore all'epoca, per coinvolgere e sostenere le autorità locali nelle azioni in materia di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico. Quest'iniziativa è entrata nella attuale fase nel 2016 con la denominazione di Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia, in seguito ulteriormente rivista alla luce dei target combinati di riduzione delle emissioni inquinanti al 2030 e 2050, adattamento e resilienza climatica, lotta alla povertà energetica previsti dalla Strategia UE 2021, dagli impegni dell'Accordo di Parigi e dal Green Deal europeo;
- nel 2012, in forza di un partenariato tra la Commissione europea e l'Agenzia Europea per l'Ambiente, è stata lanciata la Piattaforma Climate-ADAPT (<https://climate-adapt.eea.europa.eu>), finalizzata a sostenere l'UE nell'adattamento, mediante il supporto agli utenti nell'accesso e nella condivisione di dati e di informazioni in materia climatica;
- nel 2013 la Commissione ha adottato la prima Strategia europea specificamente focalizzata sull'adattamento (Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici, COM(2013) 216 final del 16 aprile 2013), successivamente sostituita dalla nuova Strategia del 2021;
- nel 2018 è stato emanato il Regolamento (UE) 2018/1999 sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per clima, che, benché centrato prevalentemente sulla mitigazione, contiene alcune disposizioni rilevanti per l'adattamento;
- con Comunicazione della Commissione europea COM(2019) 640, dell'11 dicembre 2019 è stato adottato il "Green Deal europeo: Strategia di crescita dell'UE a impatto climatico zero, giusta e prospera", mediante il quale l'UE si propone di divenire una società equa, sana, sostenibile e prospera e di risanare il modo in cui interagiamo con la natura, garantendo – per quanto riguarda i cambiamenti climatici – che per il 2050 venga raggiunto il risultato dell'azzeramento delle emissioni nette e riafferma il proprio impegno sul tema dell'adattamento (par. 2.1.1);

- il Regolamento (UE) 852/2020 del Parlamento europeo e del Consiglio del 18 giugno 2020 ha istituito un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili (cd. “Regolamento tassonomia”) che contempla sei obiettivi ambientali, tra i quali è annoverato l’adattamento ai cambiamenti climatici. Nel Regolamento è sancito il principio che prevede il divieto di arrecare danni significativi all’ambiente (Do No Significant Harm – DNSH) ovvero un danno significativo ai sei obiettivi in questione tra i quali, quindi, l’adattamento;
- con Comunicazione COM(2020) 788 final del 9 dicembre 2020 la Commissione ha lanciato il Patto europeo per il clima, un’iniziativa che - concentrandosi sulla diffusione della consapevolezza e sul sostegno all’azione - intende coinvolgere diversi portatori di interessi e la società civile affinché si impegnino a favore dell’azione per il clima e di comportamenti più sostenibili;
- con Comunicazione COM(2021) 82 final del 24 febbraio 2021 la Commissione ha approvato la nuova Strategia di adattamento “Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici” che fa seguito alla precedente Strategia dell’UE del 2013.
La nuova Strategia stabilisce come l’Unione europea possa adattarsi agli impatti inevitabili dei cambiamenti climatici e diventare resiliente al clima entro il 2050. Essa fissa 4 obiettivi principali di adattamento da realizzare mediante azioni volte a migliorare le conoscenze e gestire le incertezze: 1. Adattamento più smart e intelligente: spingere la conoscenza dell’adattamento. Migliorare qualità e quantità dei dati raccolti sui rischi e sulle perdite connessi al clima, mettendoli a disposizione di tutti. Potenziare e ampliare la Piattaforma Climate-Adapt, che sarà affiancata da un Osservatorio per migliorare la comprensione dei rischi per la salute legati al clima; 2. Adattamento sistemico ed integrato: in politica macro-fiscale, soluzioni basati sulla natura, azioni di adattamento locale; 3. Adattamento più rapido; 4. intensificare l’azione internazionale sull’adattamento ai cambiamenti climatici;
- il Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 giugno 2021 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica (cd. “Legge europea sul clima”), nel dare attuazione agli obiettivi previsti nel Green Deal europeo, ha stabilito l’obiettivo vincolante della neutralità climatica nell’Unione entro il 2050 e ha istituito un quadro per progredire nel perseguimento dell’obiettivo globale di adattamento, così integrando il contenuto dell’Accordo di Parigi e dell’Agenda 2030 (in particolare dell’Obiettivo 13) nel quadro giuridico dell’Unione europea. Nell’art. 5, rubricato “Adattamento ai cambiamenti climatici”, è delineato il ruolo svolto dalle istituzioni dell’UE e dagli Stati membri ai fini di un costante progresso nel miglioramento della capacità di adattamento, nel rafforzamento della resilienza e nella riduzione della vulnerabilità ai cambiamenti climatici in conformità all’art. 7 dell’Accordo di Parigi. I progressi compiuti dagli Stati sono sottoposti a valutazione della Commissione, ai sensi dei successivi artt. 6 e 7, la quale, laddove giudichi insufficienti i progressi compiuti o incoerenti le misure introdotte dagli Stati, può adottare le misure necessarie conformemente ai trattati, in particolare può formulare raccomandazioni;
- il 14 luglio 2021 la Commissione europea ha presentato il pacchetto di proposte “Pronti per il 55%” (noto come “Green Package”) volto a conseguire entro il 2030 gli obiettivi di riduzione delle emissioni del 55% rispetto ai livelli del 1990, indicati nel Green Deal e resi vincolanti dalla Legge europea sul clima, e contiene anche elementi di rilievo per l’adattamento;
- la Comunicazione della Commissione europea “Orientamenti tecnici per infrastrutture a prova di clima nel periodo 2021-2027”, (2021/C 373/01) del 16 settembre 2021;
- il 12 luglio 2023 il Parlamento europeo ha approvato con emendamenti la proposta di adozione di un Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio sul ripristino della natura

“nature restoration law” (P9_TA(2023)0277) che all’art. 1 indica tra le finalità dell’atto quella di contribuire al conseguimento degli obiettivi generali dell’Unione in materia di adattamento ai cambiamenti climatici.

Atti di fonte dell’UE di rilievo in tema di adattamento ai cambiamenti climatici

Oltre agli atti citati, altri, pur non essendo indirizzati ad affrontare specificamente il tema dell’adattamento ai cambiamenti climatici, integrano tali tematiche sotto più profili assumendo un rilievo centrale. Tra essi, si richiamano qui, in ordine cronologico:

- la Direttiva Uccelli del 1979;
- la Direttiva Habitat del 1992;
- la Direttiva-quadro sulle acque del 2000;
- la "Direttiva alluvioni" del 2007;
- la Direttiva-quadro sulla strategia per l’ambiente marino del 2008;
- la Strategia per le infrastrutture verdi del 2013;
- la Strategia dal produttore al consumatore (“Farm to Fork”) del 2020;
- la Strategia sulla biodiversità per il 2030 (che segue l’approccio “One-Health”) del 2020;
- “Un nuovo piano d’azione per l’economia circolare - Per un’Europa più pulita e più competitiva”, del 2020;
- il Piano d’azione “Verso l’inquinamento zero per l’aria, l’acqua e il suolo” del 2021;
- la Strategia sul suolo per il 2030 del 2021, COM(2021) 699 final;
- la proposta della Commissione di una Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio sul monitoraggio e la resilienza del suolo (“Soil monitoring law”), COM(2023) 416 final del 5 luglio 2023.

Altri atti: programmazione dei fondi europei e “tagging” climatico nel bilancio UE

Come riporta la stessa Strategia dell’UE di adattamento del 2021 “nel suo bilancio a lungo termine per il periodo 2021-2027, l’UE ha aumentato l’obiettivo di spesa a favore dell’azione per il clima del 30%, con l’adattamento come componente chiave” (pag. 14), intendendo fornire pertanto un contributo fondamentale alla lotta contro il cambiamento climatico.

Secondo le stime della Commissione, nel periodo 2014-2020 il bilancio dell’UE ha destinato alla lotta ai cambiamenti climatici 220,9 miliardi di euro (il 20,60% delle risorse), mentre per il ciclo di programmazione 2021-2027 il bilancio dell’UE, incluso NextGenerationEU, dovrebbe destinare al conseguimento degli obiettivi climatici 557 miliardi di euro, vale a dire il 32% delle risorse². Ciò significa che nel complesso delle previsioni del bilancio a lungo termine dell’UE (MFF) ogni Stato membro dell’UE deve destinare a progetti che contribuiscano a conseguire gli obiettivi climatici (e digitali) dell’UE, una quota stabilita dei fondi che ad esso sono stati complessivamente assegnati.

Precisamente può essere evidenziato quanto segue:

A) Il «tagging» nei Fondi previsti nel ciclo di programmazione 2021-2027.

Il Reg. (UE) 2021/1060 che contiene disposizioni comuni sui fondi SIE per il periodo 2021-2027, all’art. 6 “Obiettivi climatici e meccanismo di adeguamento in materia di clima”, prevede che “...Il FESR e il Fondo di coesione contribuiscono rispettivamente al 30% e al 37% del contributo dell’Unione alle spese sostenute per il conseguimento degli obiettivi climatici fissati per il bilancio dell’Unione”.

La dotazione finanziaria preliminare del FESR per l’Italia, pari a 26,34 miliardi di euro è, quindi, destinata per il 30%, pari a 7,9 miliardi di euro, al conseguimento degli obiettivi climatici.

B) Il «tagging» nei Fondi previsti dal Next Generation EU all’interno del RFF (e PNRR).

² https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/performance-and-reporting/mainstreaming_it

Il Dispositivo per la Ripresa e Resilienza, che è il fulcro del Next Generation EU, enuncia all'art. 18, par. 4, lett. e) e f), il principio del contributo all'obiettivo climatico e digitale (cd. tagging).

RFF mette a disposizione dell'Italia risorse per 191,5 miliardi di euro, da impiegare nel periodo 2021-2026 in progetti per investimenti e riforme programmati in base al PNRR.

Il 37,5% delle risorse, pari a 71,7 miliardi di euro, deve essere utilizzato per sostenere gli obiettivi climatici. Il 15% di questo importo, a sua volta, è destinato alle misure di adattamento ai cambiamenti climatici.

1.4 Gli atti adottati a livello nazionale che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici

La tutela dell'ambiente nei principi fondamentali della Costituzione

A seguito delle modifiche agli artt. 9 e 41 della Costituzione introdotte con Legge costituzionale 11 febbraio 2022, n. 1, la tutela dell'ambiente è adesso espressamente prevista tra i principi fondamentali della Costituzione italiana: l'art. 9, comma III, della Costituzione stabilisce che «La Repubblica [...] Tutela l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, anche nell'interesse delle future generazioni».

Atti che affrontano specificamente il tema dell'adattamento

La Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC) costituisce l'atto espressamente indirizzato ad affrontare a livello nazionale il tema dell'adattamento. Essa è stata adottata in Italia con Decreto Direttoriale del 16 giugno 2015, n. 86, emanato dal Direttore Generale della ex DG Clima ed Energia del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (oggi Ministero della Transizione Ecologica).

La SNAC:

individua i principali impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse ambientali e su un insieme di settori socioeconomici rilevanti a livello nazionale;

fornisce una visione strategica nazionale indicando per ciascuno di essi delle prime proposte di azioni di adattamento a tali impatti.

Nella SNAC l'obiettivo generale dell'adattamento è declinato in quattro obiettivi specifici che riguardano:

1. il contenimento della vulnerabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici agli impatti dei cambiamenti climatici
2. l'incremento della capacità di adattamento degli stessi
3. il miglioramento dello sfruttamento delle eventuali opportunità
4. il coordinamento delle azioni a diversi livelli

Essa costituisce uno strumento per integrare le azioni di adattamento nelle attività di pianificazione a livello nazionale, regionale e locale.

La Strategia italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra adottata nel gennaio 2021 (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Ministero delle Politiche agricole, Alimentari e Forestali), elaborata nell'ambito degli impegni dell'Accordo di Parigi che invita i Paesi firmatari a comunicare entro il 2020 le proprie «Strategie di sviluppo a basse emissioni di gas serra di lungo periodo» al 2050, e si basa su tre direttrici fondamentali: 1. Riduzione della domanda di energia, grazie soprattutto al calo della mobilità privata e dei consumi in ambito civile; 2. Decisa accelerazione delle rinnovabili e della produzione di idrogeno; 3. Potenziamiento e miglioramento delle superfici verdi, per aumentare la capacità di assorbimento di CO₂. Essa contiene numerosi riferimenti all'adattamento e un capitolo dedicato specificamente alle «Politiche e misure di adattamento».

Il Piano per la Transizione Ecologica (PTE) approvato dal Comitato interministeriale per la transizione ecologica (CITE), con delibera 1/2022 dell'8 marzo 2022, che si integra con il PNRR, costituisce uno

strumento di coordinamento e di aggiornamento di una serie di politiche ambientali, ivi incluse quelle in materia di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici. Il PTE annovera l'adattamento ai cambiamenti climatici tra i cinque macro-obiettivi di politica ambientale condivisi a livello europeo.

Ulteriori atti nazionali che assumono rilievo in tema di adattamento ai cambiamenti climatici

Aspetti di rilievo per il tema dell'adattamento possono rinvenirsi, tra gli altri, nel quadro di diversi atti che hanno carattere trasversale o settoriale, tra i quali: il Codice dei beni culturali e del paesaggio (d.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42); il T.U. Ambiente (d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152); la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (presentata al Consiglio dei Ministri il 2 ottobre 2017 e adottata con Delibera CIPE del 22 dicembre 2017, n. 108; l'Agenzia nazionale per la meteorologia e climatologia denominata "ItaliaMeteo" istituita ai sensi dell'art. 1, commi da 549 a 561, della Legge 27 dicembre 2017, n. 205 (e il relativo Regolamento concernente l'organizzazione approvato con DPR 15 ottobre 2020, n. 186); il Codice della Protezione Civile, introdotto dal D.lgs. 2 gennaio 2018, n. 1; il Piano Proteggi Italia per il triennio 2019-2021 (Piano nazionale contro il dissesto idrogeologico, per la messa in sicurezza del territorio e per le opere di prevenzione del rischio, 27 febbraio 2019); il Decreto Clima (D.L. 14 ottobre 2019, n. 111) che ha introdotto disposizioni volte, principalmente, alla definizione di una politica strategica nazionale per il contrasto ai cambiamenti climatici e il miglioramento della qualità dell'aria; il Piano nazionale per la mitigazione del rischio idrogeologico (approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 febbraio 2019 e pubblicato in G.U. 13 aprile 2019, n. 88); il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) predisposto ai sensi del Regolamento (UE) 2018/1999 sulla governance dell'Unione dell'energia e presentato nel dicembre 2019, sul quale la Commissione europea si è pronunciata in data 14 ottobre 2020 (SWD(2020)911 final); il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), presentato in base al Dispositivo di Ripresa e di Resilienza (nel quadro del Next Generation EU) e approvato definitivamente il 13 luglio 2021 con Decisione di esecuzione n. 10160/21 del Consiglio ECOFIN; il Piano Nazionale di Prevenzione degli effetti del caldo sulla salute - LINEE DI INDIRIZZO PER LA PREVENZIONE; il Programma predefinito PP9 "Ambiente, Clima e Salute" – PNP 2020-2025; la Strategia forestale nazionale del 9 febbraio 2022; la Strategia nazionale biodiversità 2030 del 14 aprile 2022; la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile 2022 (approvata dal Comitato Interministeriale per la Transizione Ecologica - CITE il 18 settembre 2023); gli Indirizzi per la verifica climatica dei progetti infrastrutturali in Italia per il periodo 2021-2027, del Dipartimento per le politiche di coesione della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 6 ottobre 2023.

1.5 La dimensione regionale e locale dell'adattamento ai cambiamenti climatici³

1.5.1 Il livello regionale

A livello regionale numerose tipologie di atti possono contribuire a conseguire gli obiettivi di adattamento ai cambiamenti climatici:

- a) atti specificamente dedicati ai temi climatici: ad esempio Strategie, Piani e Documenti d'Azione regionali specificamente rivolti all'adattamento oppure quelli congiunti di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici;
- b) documenti di pianificazione territoriale o di settore che affrontano direttamente la tematica dell'adattamento o definiscono interventi e misure influenti sui processi di adattamento: ad es. Piani energetici regionali, Piani forestali regionali, Piani regionali di tutela delle acque, Piani

³ Il MASE, mediante le attività del Progetto CREIAMO PA (PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020), oltreché attraverso altri strumenti come accordi di collaborazione e tavoli di confronto istituzionale, ha supportato Regioni, Province Autonome, Città Metropolitane, Comuni ed altri Enti, al fine di favorire, tra le altre cose, sia l'adozione di Strategie e Piani di adattamento ed altri atti di rilievo per l'adattamento, sia la loro attuazione. Tali obiettivi sono stati perseguiti dal MASE anche mediante l'erogazione di fondi con bandi di finanziamento.

costieri, Piani Regionali di Qualità dell'Aria, Piani di protezione civile e di prevenzione multirischio, Piani sociali e sanitari, Strategie regionali per la lotta alla desertificazione, Piani territoriali paesistici/paesaggistici;

- c) integrazione dell'adattamento nelle Strategie regionali di sviluppo sostenibile. Ai sensi dell'art. 34 del TU Ambiente: *«le Regioni assicurano unitarietà all'attività di pianificazione ... assicurano la dissociazione fra la crescita economica ed il suo impatto sull'ambiente...il soddisfacimento dei requisiti sociali connessi allo sviluppo delle potenzialità individuali quali presupposti necessari per la crescita della competitività e dell'occupazione»;*
- d) atti di programmazione economico-finanziaria e utilizzo dei fondi a gestione regionale (es. POR, DEFR) per la sovvenzione di iniziative per la localizzazione di azioni di adattamento in ambiti specifici del contesto regionale e per particolari problematiche climatiche;
- e) norme di indirizzo regionali e altre iniziative come adozione di linee guida per l'integrazione dei criteri di adattamento nella VIA/VAS e in genere nelle valutazioni di coerenza climatica di piani e progetti a scala regionale e locale.

In detto elenco di strumenti possono essere inclusi convenzioni e accordi collaborativi di diversa natura tra più regioni di una stessa area geografica (ambiti transfrontalieri, regioni appenniniche e dell'arco alpino) nonché i programmi di intervento e pianificazione di ambiti interconnessi come bacini idrografici, zone umide e specchi d'acqua interni, aree protette, ecc.

1.5.2 Il livello locale

A livello locale vi sono diversi strumenti che possono dare un apporto al percorso di adattamento dei cambiamenti climatici, alcuni di carattere volontario come i Piani di adattamento comunali, i Piani di adattamento e mitigazione comunali, i Piani o le Strategie di sostenibilità e resilienza climatica, i programmi di Agenda urbana, i Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC-SECAP) adottati nel quadro del nuovo Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia, le Agende Metropolitane per lo Sviluppo Sostenibile. A questi si aggiungono strumenti declinabili in chiave "adattiva" derivanti da specifiche competenze di governo del territorio e pianificazione di attività a scala locale, come ad esempio i Piani Urbani della Mobilità Sostenibile (PUMS) di ambito comunale e di area vasta, i Piani del verde urbano, i Piani di emergenza comunale, i Regolamenti edilizi «*climate proof*», i Piani Urbanistici Generali, i Piani strategici e i Piani territoriali metropolitani.

Sono rilevanti per il conseguimento degli obiettivi di adattamento anche le iniziative assunte nell'ambito delle reti di città e comuni come, ad esempio:

- quelle concernenti la Carta di Budoia per l'adattamento nelle Alpi (2017) che vede la partecipazione dei Comuni appartenenti a 7 Stati dell'arco alpino;
- quelle concernenti la Carta degli Appennini (2018) presentata a Camerino, che vede la partecipazione dei Comuni dell'Appennino;
- quelle concernenti la Carta di Bologna (2017), sottoscritta da tutti i sindaci metropolitani;
- quelle della rete internazionale ICLEI – Local Governments for Sustainability;
- quelle trasversali svolte nel quadro dell'iniziativa «Making Cities Resilient 2030» (MCR2030) a cura dell'UNDRR (Ufficio delle Nazioni Unite per la riduzione del rischio di disastri);
- quelle riguardanti iniziative supportate dalla Commissione UE (EIT Climate-KIC) o promosse all'interno di reti progettuali europee (Horizon Europe, LIFE, Interreg, UIA, ESPON, ELENA).

Percorsi di adattamento e approcci di intervento possono riguardare anche esperienze di programmazione negoziata (contratti di fiume e di lago) e pianificazione di servizi in ambiti interconnessi destinati ad ospitare beni naturali, infrastrutture civili e produttive strategiche per l'economia e la vita di più territori e comunità locali (piani di gestione integrata e protezione della costa, piani della portualità e di sviluppo aeroportuale, piani di gestione dei parchi, piani di distretto socio-sanitario, ecc.).

2 IL QUADRO CLIMATICO NAZIONALE

Il presente capitolo aggiorna quanto riportato nella precedente versione del documento accogliendo le osservazioni pervenute dalla Sottocommissione VAS (ma anche tenendo conto delle osservazioni specifiche degli SCA) per la parte relativa allo stato attuale del clima e alle proiezioni climatiche.

Nello specifico, al fine di supportare la mappatura delle criticità ambientali e delle specificità del contesto a scala regionale e locale con un numero maggiore di informazioni, sono stati considerati 27 indicatori climatici (in precedenza l'analisi si era basata su 10 indicatori) messi in relazione con determinati pericoli (si veda per i dettagli la **Tabella 5** degli indicatori di riferimento). Inoltre, in relazione alle osservazioni pervenute relativamente alla non adeguatezza dell'analisi macroregionale, si è ritenuto opportuno un aggiornamento dell'analisi climatica che non preveda alcun tipo di accorpamento per zone. Per le proiezioni future è stato elaborato un quadro climatico basato su un ensemble di diversi modelli climatici prodotti dalla comunità scientifica internazionale che ha anche permesso di includere nel documento una valutazione dell'incertezza per i diversi indicatori climatici considerati.

Per quanto riguarda i dati sul Mediterraneo le proiezioni presentate si basano su un solo modello e non sono pertanto corredate, in questa fase, ad una stima dell'incertezza. Per completezza di informazione si può fare riferimento al lavoro recentemente pubblicato da ENEA (Sannino et al., 2022)⁴ che illustra attraverso un nuovo modello l'evoluzione del livello del mare nel Mediterraneo.

Il quadro climatico nazionale riporta l'analisi del clima sul periodo di riferimento 1981-2010 e le variazioni climatiche attese sul trentennio centrato sull'anno 2050 (2036-2065), rispetto allo stesso periodo 1981-2010, considerando i tre scenari IPCC: RCP8.5 "ad elevate emissioni", RCP4.5 "scenario intermedio", RCP2.6 "mitigazione aggressiva". Per il clima sul periodo di riferimento è stato utilizzato il dataset grigliato di osservazioni E-OBS (Cortes et al., 2018⁵; Haylock et al., 2008⁶) versione 25⁷ alla risoluzione di circa 12 km, mentre le variazioni climatiche attese sono state ottenute a partire da un *ensemble* di modelli climatici disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX (Hennemuth et al., 2017⁸; Jacob et al., 2020⁹) alla maggior risoluzione disponibile (circa 12 km)¹⁰. Come riferimento, è stato utilizzato il periodo 1981-2010 in quanto le simulazioni relative allo scenario IPCC "historical experiment" sono disponibili fino al 2005. Per la stima delle variazioni future il periodo di riferimento è stato quindi ottenuto utilizzando le simulazioni "historical experiment" per il periodo 1981-2005 e i dati basati sullo scenario IPCC RCP4.5 per il periodo 2006-2010. Pertanto, anche per l'analisi del clima sul periodo di riferimento si è considerato il periodo 1981-2010. Per approfondire la valutazione della condizione climatica osservata sul periodo più recente 1991-2020 si rimanda ai report ISPRA e SNPA, descritti nel paragrafo 2.1.

⁴ Sannino, G., Carillo, A., Iacono, R. et al. (2022). Modelling present and future climate in the Mediterranean Sea: a focus on sea-level change. *Clim Dyn* 59, 357–391. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06132-w>

⁵ Cortes, R., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., Jones, P.D. (2018). An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation datasets. *J. Geophys. Res. Atmos.* 123, 9391–9409, doi:10.1029/2017JD028200

⁶ Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D., New, M. A. (2008). European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res. Atm.*, 113, doi: 10.1029/2008jd010201

⁷ La versione 25 utilizzata risulta disponibile sulla piattaforma C3S di Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/insitu-gridded-observations-europe?tab=overview>)

⁸ Hennemuth, Tamás Illy, et al. "Guidance for EURO-CORDEX climate projections data use." Version1. 0-2017.08. Retrieved on 6 (2017): 2019.

⁹ Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S. et al. (2020). Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Reg Environ Change* 20, 51. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>

¹⁰ Tra i diversi modelli disponibili nel programma EURO-CORDEX alla risoluzione di 12 km sono stati selezionati quelli attualmente disponibili per la consultazione sulla piattaforma C3S di Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=overview>)

Il cambiamento climatico, come riportato dall'ampia letteratura dell'IPCC, induce variazioni complesse delle caratteristiche del clima su diverse scale spaziali e temporali. Infatti, esso influenza sia la frequenza, l'intensità, l'estensione spaziale, la durata degli eventi meteorologici estremi, sia fenomeni come l'innalzamento del livello del mare, che interessano scale spazio-temporali più ampie¹¹. Quando tali variazioni delle diverse caratteristiche del clima assumono un'entità tale da poter causare degli impatti negativi sui sistemi ambientali e socioeconomici, vengono tipicamente definiti "pericoli climatici".

Pertanto, il pericolo climatico costituisce un elemento fondamentale per lo studio e la valutazione del conseguente rischio climatico. In particolare, comprendere le caratteristiche del pericolo climatico (che possono essere controintuitive e complesse) è fondamentale per una corretta e adeguata definizione delle strategie di adattamento¹².

Nello specifico, per caratterizzare l'evoluzione spaziale e temporale del pericolo climatico, vengono solitamente utilizzati indicatori climatici che descrivono specifici aspetti del clima (sia in termini di valori medi che in termini di estremi) ritenuti rilevanti per lo studio degli impatti di interesse per il territorio nazionale. Tuttavia, è importante rilevare che gli indicatori climatici possono avere un contenuto informativo differente a seconda della dinamica di interesse ma restano un metodo speditivo che non può sostituire l'analisi degli impatti tramite l'adozione di modelli basati sulla descrizione di processi specifici di settore (EEA 2009¹³; EEA 2018¹⁴; EEA 2019¹⁵).

Il set di indicatori analizzati, composto da 27 indicatori climatici (due dei quali relativi all'area marino-costiera), è riportato con maggior dettaglio nella **Tabella 5**. Per ciascun indicatore sono state riportate le seguenti informazioni:

- la definizione dell'indicatore climatico;
- le variabili atmosferiche su cui si basa;
- le unità di misura dell'indicatore e della sua variazione;
- la scala temporale su cui l'indicatore è valutato (stagionale/annuale);
- i riferimenti bibliografici da cui è stata derivata la definizione dell'indicatore;
- il pericolo climatico al quale l'indicatore è correlato (sulla base di quanto elaborato da studi analoghi disponibili in letteratura);
- il settore principalmente e potenzialmente interessato dal suddetto pericolo climatico.

Tali indicatori sono stati calcolati sia in termini assoluti, come valori medi sul periodo di riferimento (paragrafo 2.1), che in termini di variazione tra il periodo futuro selezionato e quello di riferimento, utilizzando differenti scenari di concentrazione e molteplici modelli climatici (paragrafo 2.2).

Nel paragrafo 2.3 è riportata, invece, la descrizione della condizione climatica presente e attesa sulle aree marine/costiere considerando due variabili primarie per descrivere l'impatto dell'evoluzione del clima sui mari italiani: la temperatura superficiale dell'acqua e il livello del mare.

¹¹ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf

¹² <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>

¹³ European Environmental Agency (EEA) (2009). Regional Climate Change and Adaptation: The Alps Facing the Challenge of Changing Water Resources. <https://www.eea.europa.eu/publications/alps-climate-change-and-adaptation-2009>.

¹⁴ European Environment Agency (EEA) (2018). National climate change vulnerability and risk assessments in Europe, EEA Report No 1/2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/national-climate-change-vulnerability-2018>.

¹⁵ European Environment Agency (EEA) (2019). Spatial distribution of extreme temperature indicators across Europe.

2.1 Analisi del clima sul periodo di riferimento

L'analisi del clima sul periodo di riferimento 1981-2010 è stata effettuata utilizzando il dataset osservativo grigliato E-OBS. Tale dataset fornisce dati giornalieri di precipitazione, temperatura e umidità su un grigliato regolare con risoluzione orizzontale di circa 12 km ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$) sull'intero territorio nazionale; tale dataset è popolato dalle stazioni in situ rese disponibili dagli enti regionali e locali italiani. Sebbene tale dataset sia largamente utilizzato per lo studio delle caratteristiche del clima e sia costantemente aggiornato e migliorato¹⁶ sull'area europea, è importante sottolineare che esso presenta alcune limitazioni dovuta all'accuratezza dell'interpolazione dei dati, che, in particolare risulta ridotta al diminuire della densità del numero di stazioni, come accade nel territorio del Sud Italia e in corrispondenza di aree ad orografia complessa. Tale dataset è stato selezionato in quanto è quello che attualmente rende disponibile il maggior numero di variabili osservate, spazializzate sull'intero territorio nazionale, tuttavia, anche in questo caso è stato possibile valutare solo 22 dei 25 indicatori climatici analizzati per la parte terra, selezionati per lo svolgimento dell'attuale lavoro e riportati nella **Tabella 5**¹⁷. È comunque rilevante riportare che a livello nazionale, esistono anche altre fonti di dati che possono essere utilizzati per studi a carattere regionale/locale.

Il sistema nazionale di raccolta, elaborazione e diffusione dei dati climatici, SCIA (www.scia.isprambiente.it), realizzato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e alimentato in collaborazione e con i dati del Sistema Nazionale di Protezione dell'Ambiente (SNPA) e delle principali reti di monitoraggio distribuite sul territorio nazionale, risponde all'esigenza di armonizzare e standardizzare i metodi di elaborazione e di rendere disponibili dati, indici e indicatori utili a rappresentare e valutare lo stato, le variazioni e gli andamenti del clima in Italia. Sulla base di serie temporali di osservazioni provenienti da diverse reti di monitoraggio, vengono calcolate e rappresentate statistiche decadal, mensili e annuali. Inoltre, le serie di dati climatici sono sottoposte a verifiche di validità con metodologie omogenee, secondo le linee guida dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM).

Una preziosa fonte di informazione è costituita dai dati degli Osservatori storici dotati di serie più che secolari, risalenti talvolta al XVIII secolo, di grande importanza scientifica per lo studio del cambiamento climatico in corso.

La Figura 1 riporta i valori medi stagionali, nel trentennio 1981-2010, della precipitazione totale e della temperatura media. In termini di precipitazione totale nella penisola italiana si registrano i valori più alti durante la stagione autunnale soprattutto in Liguria e Friuli-Venezia Giulia; le aree geografiche del Sud - Italia e le isole, invece risultano, in particolare nella stagione estiva, le meno piovose. In termini di temperatura media i valori più bassi si registrano in tutte le stagioni lungo le catene montuose delle Alpi e degli Appennini. La forte differenza orografica è messa in perfetta luce nella stagione estiva dalla distribuzione dei valori della temperatura media.

Oltre ai valori medi della precipitazione cumulata e della temperatura media, sono stati calcolati sul periodo di riferimento 1981-2010, i valori medi annuali/stagionali di diversi indicatori climatici utili a comprendere l'evoluzione di specifici pericoli climatici (per maggiori dettagli sugli indicatori si veda **Tabella 5**). A tale scopo, la Figura 2 riporta la distribuzione spaziale, relativamente al periodo di

¹⁶ Descrizione delle migliorie apportate nella configurazione utilizzata nel presente documento rispetto alle versioni precedenti https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_eobs.php

¹⁷ In particolare, non sono disponibili in questo dataset la quantità di neve superficiale e l'intensità del vento massimo giornaliero.

riferimento 1981-2010, degli indicatori ritenuti più rilevanti¹⁸ anche in relazione alla loro rappresentatività dei pericoli climatici attesi. Nella penisola i valori massimi degli indici di siccità (in termini di occorrenza percentuale della classe di siccità estrema) vengono registrati nelle aree a nord-ovest della nazione e i valori tendono a diminuire muovendosi verso sud. I massimi valori della precipitazione giornaliera sono stati registrati in Liguria, al confine tra Emilia-Romagna e Toscana, e in Friuli-Venezia Giulia al confine con la Slovenia; queste aree, insieme all'arco alpino piemontese risultano essere anche quelle che mediamente nel periodo di riferimento hanno registrato il maggior numero di giorni con precipitazioni superiore a 20 mm.

Il nord-est italiano presenta, nel periodo di riferimento, i valori maggiori dell'indice di durata dei periodi di caldo.

Infine, nella Tabella 1 e 2 sono riportati rispettivamente i valori medi stagionali della temperatura media e della precipitazione cumulata e i valori medi annuali di tutti gli indicatori calcolati, suddivisi per area geografiche al fine di valutare i principali impatti di interesse. Inoltre, nelle colonne “+/-DS”, è riportata la deviazione standard, come stima della variabilità spaziale degli indicatori all'interno dell'area geografica. La Tabella 1, per la precipitazione cumulata, mette in luce che l'autunno è la stagione con accumuli precipitativi maggiori sulle tre aree geografiche (Nord Est, Nord Ovest e Centro), mentre l'inverno risulta essere la più piovosa per il Sud e le Isole; la deviazione standard invece mette bene in mostra la complessità orografica delle aree.

La Tabella 2 mostra come le aree di Centro e Nord Italia siano quelle dove i valori di precipitazione sono maggiori, sia in termini di accumuli che di eventi intensi, in contrapposizione alle temperature che seguono l'andamento opposto. Le aree geografiche del Nord-Est e Nord-Ovest sono quelle che hanno registrato le percentuali di siccità più alte, con una dispersione areale di pochi punti percentuali.

Tutte le figure e le tabelle sono state realizzate da Fondazione CMCC.

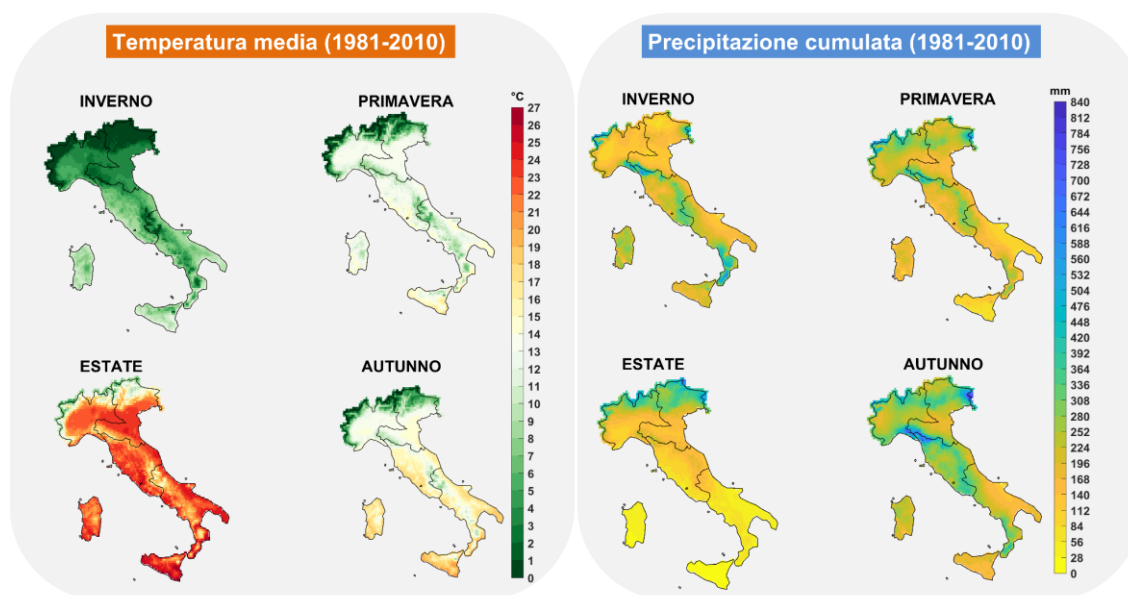


Figura 1: Valori medi stagionali delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate su periodo di riferimento 1981-2010 a partire dal dataset grigliato E-OBS v25.

¹⁸ Per una visualizzazione più completa dei dati si faccia riferimento alla piattaforma <http://climadat.isprambiente.it/pnacc/dati-indicatori-mappe-pnacc/>

dicembre 2023

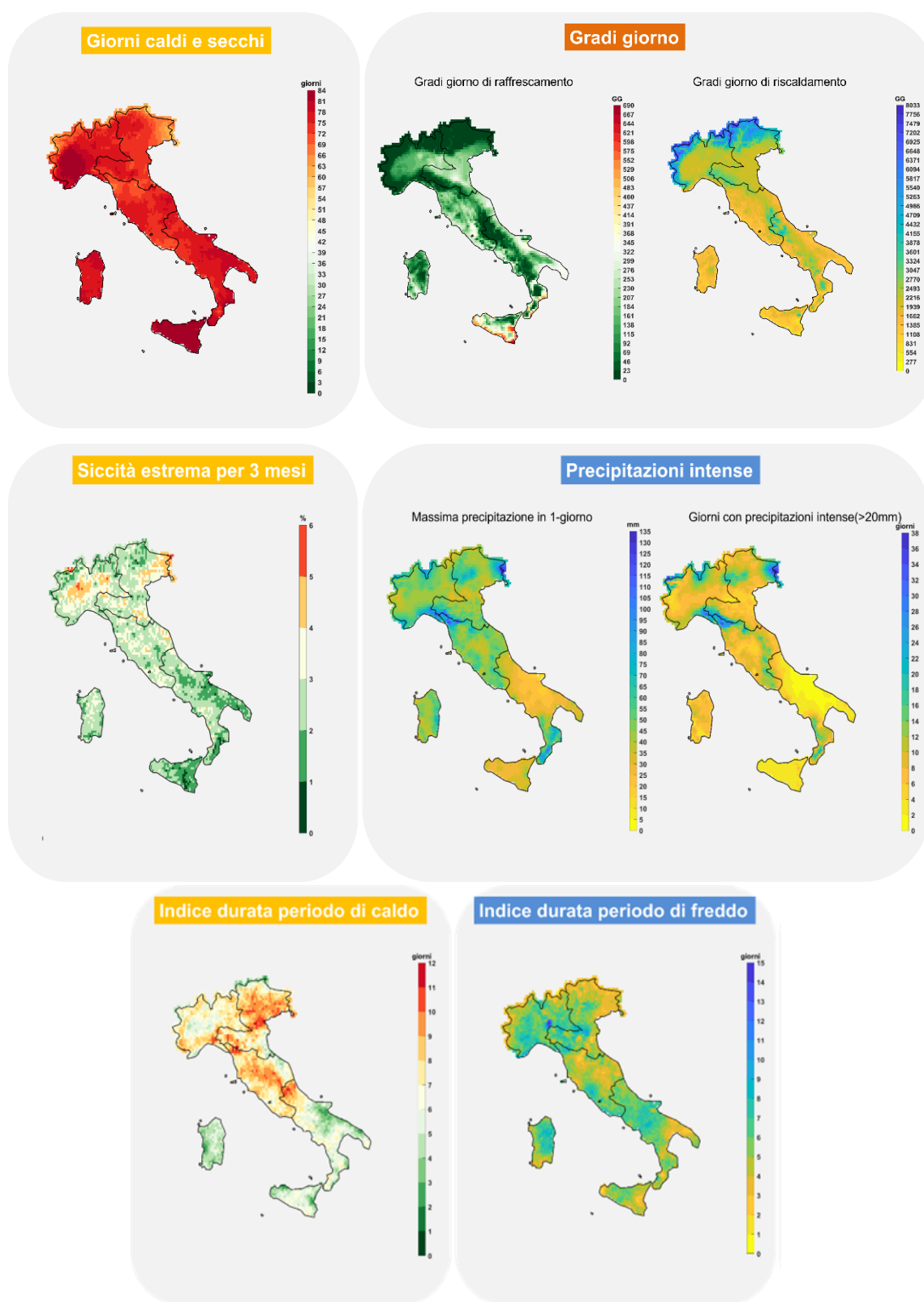


Figura 2: Mappe di alcuni degli indicatori climatici analizzati sul periodo di riferimento 1981-2010 a partire dal dataset grigliato E-OBS v25.

Valori medi stagionali 1981-2010								
	DJF	±DS	MAM	±DS	JJA	±DS	SON	±DS
Nord- Ovest	1,6	3,6	9,2	5,0	18,6	5,1	10,4	4,2
	170	83	249	70	205	94	289	81
Nord-Est	1,1	3,2	9,4	4,5	19,1	4,8	10,6	4,0
	160	69	228	64	242	101	293	104
Centro	6,3	2,0	12,4	1,9	22,1	1,9	14,8	2,1
	247	75	217	61	118	41	314	87
Sud	6,7	2,5	11,8	2,5	21,9	2,5	15,1	2,5
	228	92	157	59	64	31	216	66
Isole	9,2	1,5	13,4	1,8	23,1	1,9	17,3	1,7
	216	36	129	46	23	11	194	33

Tabella 1: Valori medi stagionali per aree geografiche di temperatura media e precipitazione a partire dal dataset di osservazione E-OBS (versione 25) per il periodo 1981-2010; nella colonna +/-DS è invece riportata, per ciascun valore stagionale, una stima della variabilità su scala areale (tramite il calcolo della deviazione standard).

	Nord-ovest		Nord-est		Centro		Sud		Isole	
	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS
TG (°C)	10,0	4,5	10,1	4,1	13,9	2,0	13,9	2,5	15,8	1,7
WD (giorni)	77	5	73	4	74	2	77	2	80	2
WW (giorni)	55	20	52	16	52	10	62	12	62	7
HDDS (GG)	3180	1448	3171	1293	1934	535	1925	669	1384	390
CDDS (GG)	78	81	97	97	157	91	164	128	225	155
PRCPTOT (mm)	912	277	922	288	897	246	667	227	561	121
R20 (giorni)	10	5	11	6	10	5	5	4	5	2
RX1DAY(mm)	50	12	51	15	51	13	35	16	39	10
SDII(mm)	10	2	10	2	10	2	8	2	8	1
PR99PRCTILE(mm)	46	11	46	12	46	11	34	13	39	8
CDD(giorni)	35	7	33	4	37	8	50	11	81	12
SPI3 classe siccità severa (%)	5	1	5	1	5	1	4	1	4	1
SPI3 classe siccità estrema (%)	3	1	3	1	3	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità severa (%)	4	1	5	1	5	1	4	1	5	1
SPI6 classe siccità estrema (%)	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI12 classe siccità severa (%)	5	1	4	1	4	1	3	2	5	2
SPI12 classe siccità estrema (%)	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI24 classe siccità severa (%)	6	2	4	2	4	1	3	2	4	2
SPI24 classe siccità estrema (%)	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1
PET(mm)	650	138	658	130	757	68	750	88	806	72
CSDI(giorni)	6	2	5	2	5	1	6	1	5	1
FD(giorni)	93	63	98	56	34	22	23	26	3	7
WSDI(giorni)	7	1	8	2	8	1	6	2	5	1
HUMIDEX(giorni)	4	6	7	9	13	9	9	9	6	8
SU95P(giorni)	23	21	28	24	43	18	37	21	34	17
TR(giorni)	8	8	9	12	9	11	24	21	36	19

Tabella 2: Valori medi annuali per aree geografiche degli indicatori calcolati a partire dal dataset di osservazione E-OBS (versione 25) per il periodo 1981-2010; nella colonna +/-DS è invece riportata una stima della variabilità su scala areale (tramite il calcolo della deviazione standard).

Una descrizione dei valori medi di temperatura e precipitazione e di alcuni indici climatici, aggiornata al trentennio più recente, elaborata sulla base di un insieme di stazioni del sistema SCIA ed integrata con dati provenienti da ulteriori fonti, è disponibile nel rapporto ISPRA “I normali climatici 1991-2020 di temperatura e precipitazione in Italia”¹⁹. Le elaborazioni di un numeroso gruppo di stazioni sono disponibili sull'app web all'indirizzo <https://valori-climatici-normali.isprambiente.it/>

Lo stato del clima e la stima aggiornata delle tendenze in corso, sono riportate nel rapporto “Il clima in Italia nel 2022” del Sistema Nazionale di Protezione dell'Ambiente (SNPA, 2023)²⁰. Come emerge dal rapporto, in Italia i segnali di cambiamento climatico sono evidenti. La temperatura media mostra un marcato trend in crescita, con un rateo di variazione dal 1981 al 2022 di $(+0.39 \pm 0.04) ^\circ\text{C} / 10$ anni e il 2022 si colloca al primo posto tra gli anni più caldi dal 1961; l'analisi degli estremi mostra un

¹⁹ Fioravanti, G., Frascchetti, P., Lena, F., Perconti, W., Piervitali, E. (2022). I normali climatici 1991-2020 di temperatura e precipitazione in Italia, Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente, 99.

²⁰ Il clima in Italia nel 2022. Report SNPA 36/2023.

aumento degli indici legati agli estremi di caldo (quali giorni e notti calde, giorni estivi, notti tropicali) e una riduzione di quelli rappresentativi degli estremi di freddo (quali giorni e notti fredde, giorni con gelo). Per quanto riguarda la precipitazione non emergono tendenze significative a scala nazionale. Negli anni recenti numerosi sono stati gli eventi meteo-climatici significativi, di cui una breve sintesi è presentata nel paragrafo successivo.

2.1.1 Sintesi degli eventi meteo-climatici significativi in anni recenti

Con riferimento al 2022, le precipitazioni sono state ben inferiori alla media climatologica, soprattutto durante l'inverno e la primavera nell'Italia centro-settentrionale, con anomalie precipitative superiori a -40% rispetto al periodo 1991-2020; diverse aree del Nord Italia hanno sperimentato condizioni di siccità severa ed estrema. Un lunghissimo periodo di giorni asciutti consecutivi, che ha comportato danni all'agricoltura e agli allevamenti, è stato registrato ad esempio presso la stazione meteorologica di Torino nel periodo di febbraio/marzo.

L'estate è stata caratterizzata da un caldo intenso e prolungato; un'ondata di calore a fine giugno ha investito le regioni centro-settentrionali, con temperature massime che hanno superato i 38 °C in diverse stazioni di misura.

Il 3 luglio l'enorme crollo verificatosi nel ghiacciaio della Marmolada ha provocato una valanga di neve, ghiaccio e rocce che ha causato numerose vittime. L'incidente, verificatosi per una serie di condizioni il cui peso relativo non è di facile determinazione, è legato anche all'aumento delle temperature che hanno influito sullo stato del ghiaccio²¹.

Intorno alla metà di agosto, piogge intense, grandine e forti venti, con raffiche superiori a 120 km/h, hanno colpito parti dell'Italia settentrionale e centrale, causando frane, caduta di alberi, danni ad edifici, interruzione di strade.

Tra il 15 e il 16 settembre una violenta ondata di maltempo abbattutasi nelle Marche, fra le province di Ancona e di Pesaro e Urbino ha avuto un esito disastroso, provocando allagamenti ed esondazioni di diversi corsi d'acqua e la conseguente perdita di vite umane. L'evento ha avuto precipitazioni cumulate che hanno raggiunto localmente 419 mm.

Il 26 novembre l'isola di Ischia è stata colpita da intense piogge, i cui effetti, amplificati dalla fragilità del territorio e dall'urbanizzazione degli ultimi decenni, hanno provocato una frana, ingenti danni e anche qui la perdita di vite umane.

Tra gli eventi significativi verificatisi nel 2021 ricordiamo l'intensa ondata di calore che a fine luglio ha fatto registrare temperature oltre i 40°C in vaste aree della Sicilia orientale, con un massimo termico di 48.8 °C rilevato nella stazione di Siracusa l'11 agosto (nuovo record europeo confermato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale).

Nel 2020, tra il 2 e il 3 ottobre piogge intense hanno colpito l'Italia nord-occidentale; in particolare in Piemonte i valori di precipitazione su 24 ore hanno raggiunto i massimi storici, con cumulate superiori a 500 mm in diverse stazioni e un massimo di 619.6 mm, provocando onde di piena eccezionali sui corsi d'acqua del reticolo principale e secondario della regione. In Liguria, sul litorale di ponente, le forti precipitazioni hanno causato esondazioni, frane, smottamenti, ingenti danni alle infrastrutture, crolli, strade e ponti danneggiati.

²¹ <https://www.unipr.it/notizie/il-crollo-della-marmolada-il-parere-dei-ricercatori-che-da-ventanni-studiano-il-ghiacciaio> (Gruppo di lavoro glaciologico-geofisico per le ricerche sulla Marmolada: Comitato Glaciologico Italiano, Università di Parma, Università di Padova, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale).

È possibile reperire le informazioni relative ai principali eventi estremi verificatisi in Italia alla pagina <http://mappaestremi.isprambiente.it/> (altrimenti disponibile dalla home page del sistema SCIA di ISPRA www.isprambiente.it). Tali informazioni, estratte dai rapporti annuali di ISPRA "Gli indicatori del clima in Italia" per gli anni 2020 e 2021 e dal rapporto SNPA "Il clima in Italia nel 2022" sono raccolte con il contributo di diversi enti/organismi e disponibili, pertanto, contestualmente alla pubblicazione del rapporto nel mese di luglio di ciascun anno relativamente all'anno precedente.

2.2 Valutazione delle proiezioni climatiche

In questa sezione vengono riportate le variazioni climatiche degli indicatori precedentemente identificati per il periodo futuro 2036-2065 (centrato sull'anno 2050), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

Come già indicato, sono state utilizzate alcune delle simulazioni del programma EURO-CORDEX disponibili in C3S; in particolare per ogni scenario sono stati utilizzati 14 possibili simulazioni climatiche, in accordo con quanto attualmente disponibile sulla piattaforma Copernicus. Questo dataset, largamente utilizzato per la valutazione a scala regionale del cambiamento climatico in Europa (Jacob et al; 2020), include i dati di diversi modelli, frequenze temporali e periodi calcolati secondo il protocollo degli esperimenti CORDEX²². In generale, questi esperimenti consistono in simulazioni con modelli regionali che rappresentano diversi scenari socioeconomici futuri (Jacob et al., 2014²³; Giorgi e Gutowski, 2015²⁴). L'utilizzo di questo insieme di modelli climatici ha permesso di valutare non solo il valore medio (denominato "ensemble mean" e ritenuto in letteratura il valore più affidabile), ottenuto a partire dai valori dei singoli modelli che rappresentano l'ensemble, ma anche la dispersione dei singoli modelli intorno a questo valore medio (incertezza). Conoscere tale dispersione è molto importante per una valutazione dell'accordo tra i modelli nella valutazione dell'indicatore e quindi stimarne l'incertezza che origina dal segnale climatico. Nel seguito, la dispersione verrà quantificata attraverso il calcolo della deviazione standard: in altre parole, per ogni punto del dominio, quanto più è basso il valore di deviazione standard tanto più sarà elevato il grado di accordo tra i modelli climatici dell'ensemble EURO-CORDEX, e viceversa (Von Trentini et al., 2019²⁵). Per ciascun indicatore analizzato, dunque, sono state calcolate le variazioni medie attese in futuro, corredate dall'informazione relativa all'incertezza, per ciascuno scenario di emissione considerato. In particolare, gli scenari IPCC considerati nella presente analisi sono:

RCP8.5 ("ad elevate emissioni") – crescita delle emissioni ai ritmi attuali. Assume, entro il 2100, concentrazioni atmosferiche di CO₂ triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm). Lo scenario RCP 8.5 risulta caratterizzato dal verificarsi di un consumo intensivo di combustibili fossili e dalla mancata adozione di qualsiasi politica di mitigazione con un conseguente innalzamento della temperatura globale pari a +4-5°C rispetto ai livelli preindustriali atteso per la fine del secolo.

²² <https://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en>

²³ Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B.; Alias, A.; Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Deque, M., Georgievski, G., et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change*. 14, 563–578, doi:10.1007/s10113-013-0499-2

²⁴ Giorgi, F., Gutowski, W.J. (2015). Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 40, 467–490, doi:10.1146/annurev-environ-102014-021217

²⁵ Von Trentini, F., Leduc, M., and Ludwig, R. (2019). Assessing natural variability in RCM signals: comparison of a multi model EURO-CORDEX ensemble with a 50-member single model large ensemble, *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-019-04755-8.

RCP4.5 (“scenario intermedio”) – assumono la messa in atto di alcune iniziative per controllare le emissioni. Sono considerati scenari di stabilizzazione: entro il 2070 le concentrazioni di CO₂ scendono al di sotto dei livelli attuali (400 ppm) e la concentrazione atmosferica si stabilizza, entro la fine del secolo, a circa il doppio dei livelli preindustriali. In RCP6.0, le concentrazioni di CO₂ continuano a crescere fino a circa il 2080, impiegano più tempo a stabilizzarsi e sono circa il 25% superiori rispetto ai valori di RCP4.5.

RCP2.6 (“mitigazione aggressiva”) – emissioni dimezzate entro il 2050. Assume strategie di mitigazione ‘aggressive’ per cui le emissioni di gas serra iniziano a diminuire dopo circa un decennio e si avvicinano allo zero più o meno in 60 anni a partire da oggi. Secondo l’IPCC, per quanto riguarda il particolare scenario RCP2.6, si stima che le temperature medie globali della superficie nel periodo 2081-2100, rispetto al periodo di riferimento 1986-2005, si posizioneranno, per la maggior parte dei modelli globali utilizzati nel CMIP5, in un intervallo compreso tra 0,3°C e 1,7°C.

Per quanto attiene l’utilizzo dello scenario RCP8.5, è importante sottolineare che esso è ritenuto troppo pessimistico e poco realistico nei suoi presupposti tecnologici ed economici (Hausfather & Peters, 2020)²⁶. Tuttavia, l’utilizzo di questo scenario risulta utile se si vogliono fornire informazioni sui potenziali scenari peggiori che potrebbero realizzarsi senza adottare significative misure di adattamento. Inoltre, risulta particolarmente utile per la ricerca scientifica per studiare la risposta del sistema climatico a valori elevati di emissioni.

È utile sottolineare che il sesto rapporto dell’IPCC (AR6, IPCC 2021) ha introdotto nuovi scenari che integrano le traiettorie di concentrazione già definite (gli RCP) con una selezione di possibili “Percorsi Socioeconomici Condivisi” (Shared Socio-economic Paths, SSP); cinque diverse “narrazioni” che corrispondono ad altrettanti possibili futuri socioeconomici. Gli scenari così definiti coprono alternative che vanno da “emissioni molto basse” (SSP1 – 1.9) a “emissioni molto alte” (SSP3 – 8.5), passando, tra i vari scenari, per “emissioni basse” (SSP1 – 2.6), “intermedie” (SSP2 – 4.5) e “alte” (SSP3 – 7.0).

Le catene di simulazione climatica comprese nell’iniziativa EURO-CORDEX e prese in considerazione in questo lavoro, presentano Global Climate Models (GCM) afferenti alla quinta fase del Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5)²⁷, una iniziativa del Working Group on Coupled Modelling (WGCM)²⁸, e sono dunque forzate dagli scenari definiti dall’AR5 dell’IPCC. Per quanto riguarda invece i nuovi scenari definiti dall’AR6, essi rappresentano i forzanti per i GCM afferenti alla sesta fase (CMIP6)²⁹. Al momento, tuttavia, non esistono simulazioni risultanti dall’applicazione di modelli regionali forzati di proiezioni globali CMIP6: di conseguenza, per analisi di impatto locale, al momento, la comunità scientifica non può che continuare a riferirsi alle proiezioni CMIP5, in altre parole agli scenari RCP.

Gli incrementi di temperatura sopra riportati ed associati agli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5, rappresentano valori di aumento medio a livello globale, mentre a livello italiano sono previsti essere leggermente superiori, come si evince dalle elaborazioni proposte in Figura 3 (che prendono come riferimento il periodo 1976-2005). Per quanto attiene alla temperatura media, entro il 2100 è attesa mediamente sull’area italiana una crescita con valori compresi tra 1° C, secondo lo scenario RCP2.6, e 5°C, secondo lo scenario RCP8.5. Nella Figura 3, è stato utilizzato il test di Mann-Kendall

²⁶ Hausfather, Z., Peters, G.P. (2020). Emissions – the ‘business as usual’ story is misleading. Nature 577, 618–620. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3>

²⁷ <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

²⁸ <https://www.wcrp-climate.org/ipo-esmo-groups/modelling-wgcm>

²⁹ <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>

(Kendall,1975)³⁰, con un livello di confidenza del 95% per valutare la significatività statistica del trend di crescita dell'anomalia di temperatura calcolata a partire dai modelli EURO-CORDEX. I trend risultano statisticamente significativi per tutti e tre gli scenari IPCC considerati (nella Figura 3 i trend statisticamente significativi sono individuati da un asterisco).

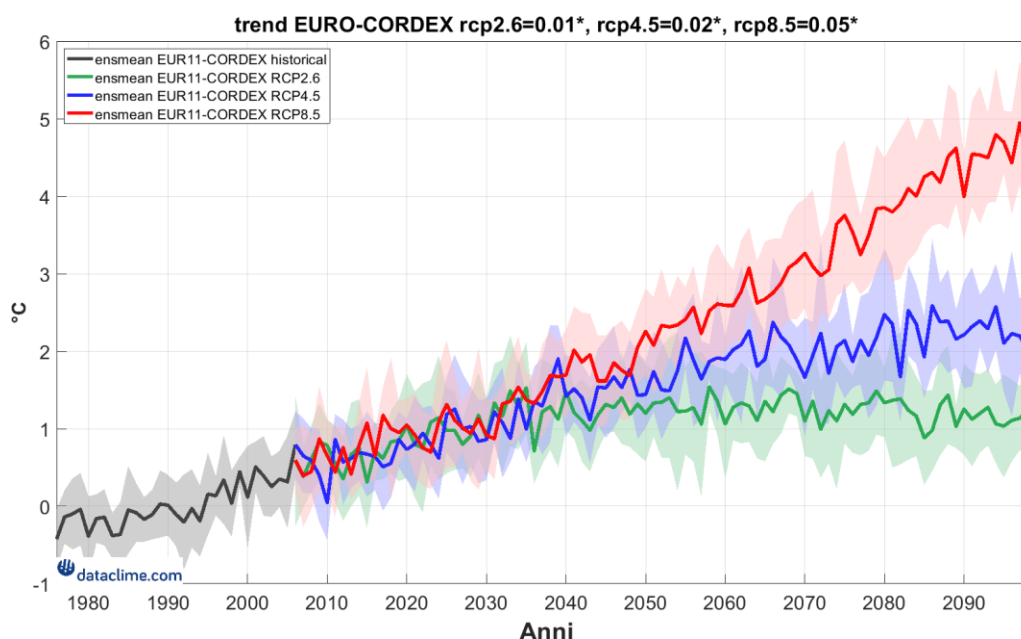


Figura 3: Anomalie annuali di temperatura media (°C) su scala nazionale ottenute a partire dai modelli EURO-CORDEX, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP8.5 (in rosso), RCP4.5 (in blu) e RCP2.6 (in verde). Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005. La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori annuali di tutte le simulazioni considerate per ogni scenario di concentrazione; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

La Figura 4 riporta le variazioni annuali per la precipitazione totale e la temperatura media su scala annuale, insieme alla stima dell'incertezza, mentre la Tabella 3 mostra l'analisi stagionale. Tale analisi evidenzia un generale aumento delle temperature per tutti gli scenari considerati (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP8.5), più pronunciato considerando lo scenario RCP 8.5, con incrementi superiori ai 2°C.

Per quanto riguarda le precipitazioni, invece, le proiezioni indicano per il Sud Italia, in particolare per lo scenario RCP8.5, una diminuzione delle precipitazioni complessive annue. Nello specifico, lo scenario RCP 8.5 proietta una generale riduzione nel Sud Italia e in Sardegna (fino al 20% nel 2050s³¹) e un aumento nelle aree geografiche Nord-Ovest e Nord-Est (Figura 4). Lo scenario RCP 2.6, invece, proietta un aumento rilevante delle precipitazioni sul Nord Italia e una lieve riduzione al Sud. In generale, la stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura essendo le precipitazioni già soggette a forti variazioni naturali (MATTM, SNACC, Rapporto sullo stato delle conoscenze, 2014). Come mostrato in Figura 4, si osserva infatti una maggiore dispersione (espressa in termini di deviazione standard) intorno ai valori medi per le variazioni di precipitazione rispetto a quelle di temperatura. Tali incertezze appaiono particolarmente pronunciate nel Nord Italia, secondo lo scenario RCP 2.6.

³⁰ Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London.

³¹ Con il termine 2050s si intende, in forma abbreviata indicare il trentennio centrato intorno al 2050 ovvero 2036-2065 su cui è stata eseguita l'analisi.

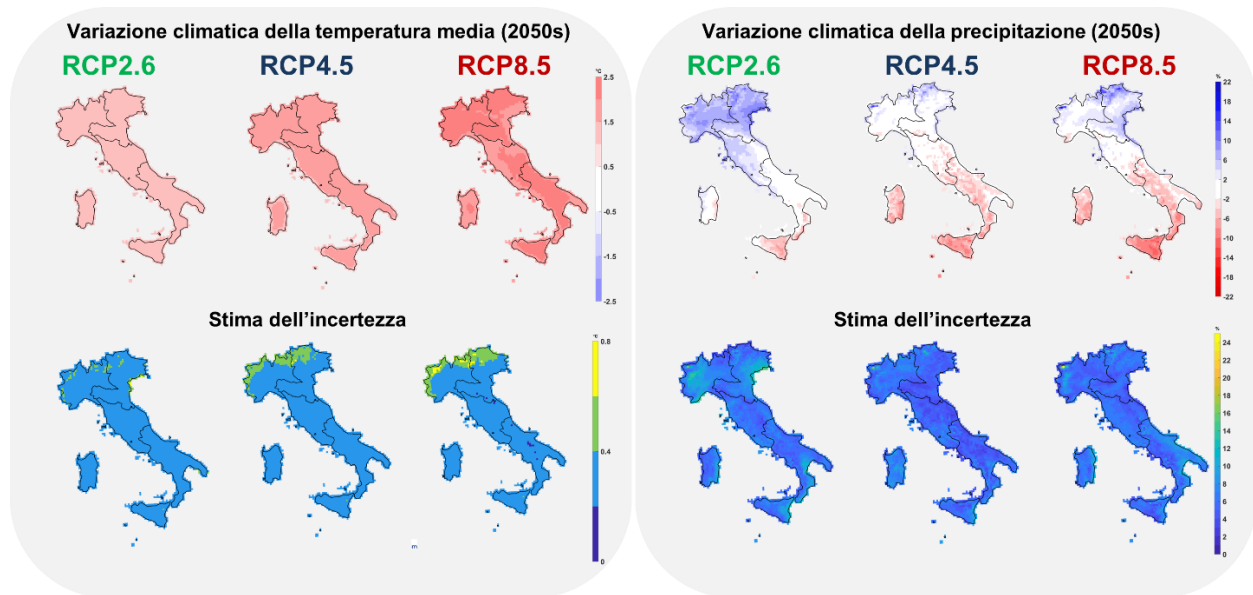


Figura 4: Variazioni climatiche annuali delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate medie per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5. I valori sono espressi in termini di media (ensemble mean) e deviazione standard (dispersione attorno al valore medio) calcolati sull'insieme delle proiezioni dei modelli climatici regionali disponibili nell'ambito del programma euro-cordex.

Variazione della temperatura media (°C)												
	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
Nord- Ovest	1,2	0,9	1,1	1,5	1,8	1,2	1,9	1,8	2,3	1,7	2,3	2,5
	0,3	0,4	0,3	0,8	0,5	0,4	0,3	0,8	0,4	0,5	0,4	0,9
Nord-Est	1,2	0,9	1,1	1,4	1,7	1,2	1,9	1,7	2,2	1,7	2,2	2,4
	0,3	0,4	0,3	0,7	0,4	0,4	0,3	0,7	0,3	0,5	0,4	0,8
Centro	1,0	0,9	1,2	1,3	1,5	1,1	2,0	1,7	1,9	1,5	2,3	2,3
	0,3	0,4	0,4	0,7	0,3	0,4	0,3	0,7	0,3	0,4	0,3	0,8
Sud	1,0	0,9	1,3	1,3	1,5	1,1	2,0	1,6	1,8	1,6	2,3	2,2
	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,7
Isole	1,0	0,9	1,2	1,3	1,3	1,1	1,9	1,6	1,7	1,6	2,2	2,2
	0,3	0,3	0,4	0,7	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,7
Variazione della precipitazione cumulata (%)												
	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
Nord- Ovest	12,3	3,2	5,9	5,1	14,3	-0,3	-4,8	-2,3	2,5	3,3	-0,9	2,4
	15	5	7	13	10	4	8	11	12	10	11	9
Nord-Est	12	4	6	5	10	1	-6	2	5	3	0	6
	16	5	9	11	8	4	11	10	9	7	12	12
Centro	9	-1	3	3	5	-2	-14	1	0	-3	-6	4
	13	4	12	11	7	4	13	10	7	6	12	15
Sud	3	-2	0	1	0	-3	-15	2	-2	-5	-12	1
	9	7	16	12	6	5	14	10	9	7	13	9
Isole	3	-6	7	-1	-2	-7	-14	-3	-7	-8	-13	-2
	8	7	25	11	5	8	14	9	7	7	16	10

Tabella 3: Variazioni di temperatura media e precipitazione cumulata (ensemble mean) per il periodo centrato su 2050 (2036-2065) rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, su scala stagionale (DJF: inverno; MAM: primavera; JJA: estate; SON: autunno) per le diverse macroaree; nella seconda riga è invece riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per la temperatura media e precipitazione riportate nella prima riga. I colori della tabella sono da intendersi in modo qualitativo: per variazione di precipitazione il colore dal blu chiaro indica variazioni basse di segno positivo fino ad arrivare al blu intenso che indica le variazioni maggiori con segno positivo. Per la variazione di temperatura media il rosa indica le variazioni minori mentre il colore rosso quelle di intensità maggiore. Per l'incertezza il giallo indica quantitativamente il grado di incertezza.

In Figura 5 sono riportati a titolo esemplificativo alcune delle mappe più rilevanti (in termini di variazione attesa) per gli indicatori considerati in questa sezione, mentre la Figura 6 contiene in maniera sintetica le variazioni attese (valori medi e stima delle incertezze) per le diverse aree geografiche in cui è stata suddivisa l'Italia e per tutti gli indicatori selezionati, utilizzati per dare informazione sui pericoli climatici di interesse (maggiori dettagli sono riportati nella **Tabella 5**).

Per quanto riguarda gli impatti sulla domanda energetica, si evince una generale riduzione, in particolare nelle aree montane, dei gradi giorno di riscaldamento (HDDs) e un generale aumento dei gradi giorno di raffrescamento (CDDs) per le aree pianeggianti e costiere. Tali variazioni, più marcate considerando lo scenario RCP8.5, potrebbero comportare una ridotta esigenza di energia necessaria per il riscaldamento degli ambienti e un incremento della richiesta di energia per il loro raffrescamento, in particolare nella stagione estiva. Tale tendenza è influenzata anche dall'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di caldo. Infatti, è da attendersi un aumento generalizzato del pericolo legato alle ondate di caldo mentre, contrariamente ad una generale riduzione dei fenomeni di ondata di freddo sull'intero territorio nazionale soprattutto nello scenario RCP 8.5. Per lo stesso scenario è inoltre atteso un significativo aumento del rischio incendi, fino al 20% in particolare sugli Appennini e sulle Alpi.

Per quanto riguarda il dissesto geo-idrologico, sono state valutate diverse caratteristiche delle precipitazioni intense e dalle analisi si evince un generale incremento sia dei cumuli giornalieri sia dell'intensità e della frequenza degli eventi estremi di precipitazione, specie per lo scenario RCP 8.5, ed in particolar modo per le aree del centro-nord. Questo aspetto denota un potenziale aumento del rischio per fenomeni di frane meteo-indotte e fenomeni di alluvioni che tuttavia necessita di essere studiato con maggior dettaglio locale grazie a modelli di impatto accoppiati con modelli di rischio.

Per quanto riguarda il fenomeno della siccità, esso è stato valutato mediante l'indice SPI (McKee et al. 1993³²) considerando diverse finestre temporali per i cumuli di precipitazione (3 mesi, 6 mesi, 9 mesi, 12 mesi e 24 mesi). Tale indice, a seconda dell'arco temporale considerato, può fornire indicazioni su impatti immediati, a medio e lungo termine sul surplus o deficit di precipitazione (siccità meteorologica) rispetto alla climatologia dell'area analizzata. Nelle tabelle, mostrate in figura 6, sono state considerate le sole due classi di siccità severa ed estrema (in termini di variazione dell'occorrenza rispetto al periodo climatologico). Considerando periodi temporali di 3-6 mesi, l'indicatore SPI fornisce informazioni su impatti prevalentemente agronomici, mentre per periodi temporali di 12-24 mesi, tale indice fornisce informazioni utili per impatti di tipo prevalentemente idrologico e socioeconomico. Per tutte le scale temporali considerate, è da attendersi un incremento del numero di episodi di siccità, in particolare per lo scenario RCP8.5 nel Sud Italia (incluso le isole). Per la valutazione degli altri pericoli climatici analizzati si rimanda alle tabelle per aree geografiche riportate nella Figura 6.

³² McKee, Thomas B., Nolan J. Doesken, and John Kleist (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales." *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Vol. 17. No. 22.

dicembre 2023

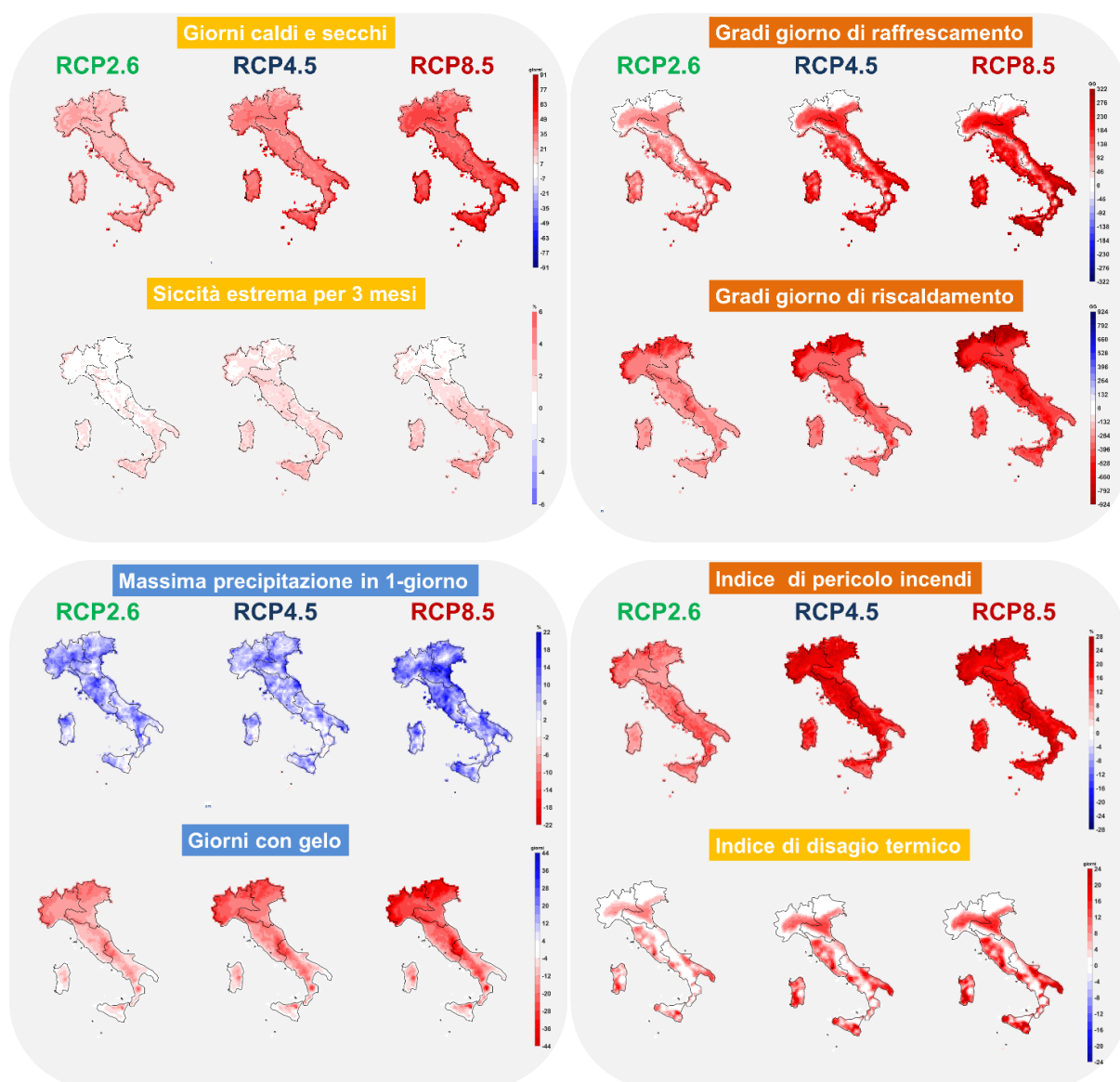


Figura 5: Variazioni climatiche annuali (ensemble mean) per alcuni degli indicatori climatici analizzati per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5

dicembre 2023

		Nord-ovest					
		RCP2.6	±SD RCP2.6	RCP4.5	±SD RCP4.5	RCP8.5	±SD RCP8.5
TG (°C)		1,2	0,3	1,7	0,3	2,2	0,3
WD (giorni)		20	9	30	13	39	15
WW (giorni)		15	5	20	4	25	4
HDDS (GG)		-349	73	-474	87	-627	90
CDDS (GG)		44	29	76	37	95	50
PRCPTOT (%)		6	6	1	5	2	4
R20 (giorni)		1	1	0	1	1	1
RX1DAY(%)		8	5	6	4	9	4
SDII(%)		5	4	4	2	5	2
PR99PRCTILE(%)		7	4	6	3	9	4
CDD(giorni)		0	1	0	2	-1	1
SPI3 classe siccità severa (%)		0	1	0	1	0	1
SPI3 classe siccità estrema (%)		1	1	1	1	1	1
SPI6 classe siccità severa (%)		0	1	0	1	0	1
SPI6 classe siccità estrema (%)		1	1	1	2	1	2
SPI12 classe siccità severa (%)		-1	2	0	2	0	1
SPI12 classe siccità estrema (%)		1	2	1	2	1	2
SPI24 classe siccità severa (%)		-1	2	0	2	-1	2
SPI24 classe siccità estrema (%)		1	2	1	3	1	2
PET (%)		6	1	9	2	11	2
CSDI(giorni)		-3	2	-4	1	-5	1
FD(giorni)		-16	4	-22	4	-28	5
WSDI(giorni)		19	10	29	12	41	14
HUMIDEX(giorni)		2	2	3	3	4	3
SU95P(giorni)		6	4	10	4	13	6
TR(giorni)		6	4	10	5	13	6
SCD(giorni)		-2	1	-2	1	-4	2
EWS(%)		0	1	0	1	0	1
FWI(%)		9	7	18	4	20	4

		Nord-est					
		RCP2.6	±SD RCP2.6	RCP4.5	±SD RCP4.5	RCP8.5	±SD RCP8.5
TG (°C)		1,1	0,3	1,6	0,3	2,1	0,3
WD (giorni)		19	9	29	11	37	14
WW (giorni)		14	5	18	3	23	3
HDDS (GG)		-334	76	-450	75	-592	79
CDDS (GG)		50	30	86	36	105	51
PRCPTOT (%)		6	6	2	3	4	4
R20 (giorni)		1	1	0	1	1	1
RX1DAY(%)		7	5	7	4	10	5
SDII(%)		5	3	4	2	6	2
PR99PRCTILE(%)		6	3	7	3	10	4
CDD(giorni)		0	1	0	1	0	1
SPI3 classe siccità severa (%)		-1	1	0	1	0	1
SPI3 classe siccità estrema (%)		1	1	1	2	1	1
SPI6 classe siccità severa (%)		-1	1	0	1	-1	1
SPI6 classe siccità estrema (%)		1	2	1	2	1	2
SPI12 classe siccità severa (%)		-1	2	0	2	-1	1
SPI12 classe siccità estrema (%)		0	2	1	2	0	2
SPI24 classe siccità severa (%)		-1	2	0	2	-1	2
SPI24 classe siccità estrema (%)		0	2	1	3	0	3
PET (%)		6	2	8	2	11	2
CSDI(giorni)		-3	2	-4	1	-5	1
FD(giorni)		-15	4	-20	4	-26	5
WSDI(giorni)		18	9	27	10	39	12
HUMIDEX(giorni)		2	2	4	3	5	4
SU95P(giorni)		7	4	12	4	14	6
TR(giorni)		7	4	11	5	14	7
SCD(giorni)		-1	1	-2	1	-2	1
EWS(%)		0	1	0	1	0	1
FWI(%)		8	6	17	5	18	4

		Centro					
		RCP2.6	±SD RCP2.6	RCP4.5	±SD RCP4.5	RCP8.5	±SD RCP8.5
TG (°C)		1,1	0,3	1,5	0,2	2,0	0,2
WD (giorni)		21	10	32	12	41	15
WW (giorni)		15	6	19	4	24	4
HDDS (GG)		-273	59	-358	51	-475	63
CDDS (GG)		77	50	127	60	157	83
PRCPTOT (%)		3	5	-1	4	0	5
R20 (giorni)		1	1	0	1	1	1
RX1DAY(%)		8	6	7	4	10	6
SDII(%)		4	3	3	2	5	3
PR99PRCTILE(%)		6	4	7	4	10	6
CDD(giorni)		0	2	2	3	1	2
SPI3 classe siccità severa (%)		0	1	0	1	0	1
SPI3 classe siccità estrema (%)		1	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità severa (%)		0	1	0	1	0	1
SPI6 classe siccità estrema (%)		1	2	1	2	2	2
SPI12 classe siccità severa (%)		-1	2	0	2	0	2
SPI12 classe siccità estrema (%)		1	2	2	2	2	2
SPI24 classe siccità severa (%)		0	3	2	3	1	2
SPI24 classe siccità estrema (%)		2	4	3	3	4	5
PET (%)		6	2	8	2	11	2
CSDI(giorni)		-3	1	-3	1	-4	1
FD(giorni)		-10	4	-14	4	-18	6
WSDI(giorni)		20	12	31	12	44	14
HUMIDEX(giorni)		3	3	5	5	6	6
SU95P(giorni)		11	6	18	6	21	9
TR(giorni)		10	6	15	8	19	10
SCD(giorni)		0	0	0	0	0	0
EWS(%)		0	1	0	1	0	1
FWI(%)		9	7	18	5	19	4

		Sud					
		RCP2.6	±SD RCP2.6	RCP4.5	±SD RCP4.5	RCP8.5	±SD RCP8.5
TG (°C)		1,1	0,3	1,5	0,2	2,0	0,2
WD (giorni)		25	11	37	12	48	15
WW (giorni)		16	7	22	7	28	8
HDDS (GG)		-260	66	-339	47	-449	61
CDDS (GG)		95	51	153	57	192	80
PRCPTOT (%)		0	5	-3	3	-3	5
R20 (giorni)		0	1	0	0	0	0
RX1DAY(%)		6	6	5	4	7	5
SDII(%)		3	2	2	2	4	2
PR99PRCTILE(%)		5	4	6	3	9	4
CDD(giorni)		1	3	3	3	3	3
SPI3 classe siccità severa (%)		0	1	1	1	1	1
SPI3 classe siccità estrema (%)		1	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità severa (%)		1	1	1	1	2	1
SPI6 classe siccità estrema (%)		1	2	2	2	3	2
SPI12 classe siccità severa (%)		0	2	1	1	2	1
SPI12 classe siccità estrema (%)		2	2	2	2	4	2
SPI24 classe siccità severa (%)		1	2	2	2	3	2
SPI24 classe siccità estrema (%)		2	3	3	3	5	3
PET (%)		6	2	9	2	12	2
CSDI(giorni)		-2	1	-3	1	-4	1
FD(giorni)		-8	3	-10	4	-13	6
WSDI(giorni)		18	11	28	11	40	14
HUMIDEX(giorni)		3	3	6	5	7	6
SU95P(giorni)		12	6	19	6	23	8
TR(giorni)		12	6	19	6	24	8
SCD(giorni)		0	0	0	0	0	0
EWS(%)		0	1	0	1	0	1
FWI(%)		11	7	16	5	19	4

		Isole					
		RCP2.6	±SD RCP2.6	RCP4.5	±SD RCP4.5	RCP8.5	±SD RCP8.5
TG (°C)		1,1	0,3	1,5	0,2	1,9	0,2
WD (giorni)		29	13	42	15	54	18
WW (giorni)		20	9	26	10	34	12
HDDS (GG)		-230	57	-295	37	-395	47
CDDS (GG)		117	62	179	66	226	87
PRCPTOT (%)		-1	5	-5	4	-6	4
R20 (giorni)		0	0	0	0	0	0
RX1DAY(%)		4	6	5	5	7	6
SDII(%)		2	3	2	2	3	2
PR99PRCTILE(%)		5	4	7	4	10	5
CDD(giorni)		1	5	5	4	4	4
SPI3 classe siccità severa (%)		0	1	1	1	1	1
SPI3 classe siccità estrema (%)		1	1	2	1	3	1
SPI6 classe siccità severa (%)		1	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità estrema (%)		2	2	3	2	3	2
SPI12 classe siccità severa (%)		1	2	2	1	3	1
SPI12 classe siccità estrema (%)		2	2	3	2	4	2
SPI24 classe siccità severa (%)		1	3	3	2	3	2
SPI24 classe siccità estrema (%)		3	3	5	3	7	4
PET (%)		6	2	9	2	12	3
CSDI(giorni)		-2	1	-3	1	-3	1
FD(giorni)		-3	2	-4	2	-6	3
WSDI(giorni)		20	13	30	13	45	16
HUMIDEX(giorni)		4	3	7	6	9	7
SU95P(giorni)		12	6	19	6	23	8
TR(giorni)		16	7	23	8	29	9
SCD(giorni)		0	0	0	0	0	0
EWS(%)		0	1	-1	1	-1	1
FWI(%)		9	7	14	4	16	4

Figura 6. Variazioni climatiche (ensemble mean) annuali per aree geografiche, considerando tutti gli indicatori climatici riportati in **Tabella 5**, per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010,

per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. Nella seconda colonna di ogni tabella è invece riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per gli indicatori riportati nella prima colonna. I colori della tabella sono da interpretarsi in modo qualitativo: colori più intensi indicano variazioni maggiori mentre colori tenui indicano variazioni di intensità minore.

2.3 Aree marine

In base alla letteratura scientifica e alla disponibilità di dati osservati e modellistici sono state identificate due variabili primarie per descrivere l'impatto dell'evoluzione del clima sui mari italiani: la temperatura superficiale dell'acqua e il livello del mare.

Il livello del mare prodotto dal modello forzato e dalle rianalisi deve essere opportunamente trattato per includere non solo l'evoluzione della superficie libera del mare, riferita come componente di massa degli oceani, ma anche l'effetto di espansione e contrazione del volume dovuto ai cambiamenti di temperatura e salinità delle masse oceaniche. Il livello del mare presentato in questo documento tiene conto dell'effetto cumulativo di queste tre componenti.

2.3.1 Analisi della condizione climatica di riferimento

Per la valutazione della condizione climatica attuale sulle aree marino/costiere sono stati utilizzati i prodotti delle rianalisi marine del Mar Mediterraneo (Simoncelli et al. 2019³³) che fanno parte dei servizi marini messi a disposizione dal servizio Europeo CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) (<http://marine.copernicus.eu>), qui identificate con l'acronimo REAN. Tali rianalisi sono ottenute tramite l'integrazione di modelli numerici e l'assimilazione di osservazioni multiplatforma e rappresentano lo stato dell'arte per la caratterizzazione delle condizioni meteo-climatiche del mare. I dati disponibili per il Mar Mediterraneo si riferiscono al periodo 1987-2010 ed hanno una risoluzione orizzontale di circa 7 km. Le mappe della climatologia degli indicatori Temperatura superficiale del mare (SST) e livello del mare (SSH) sono riportate in Figura 7.

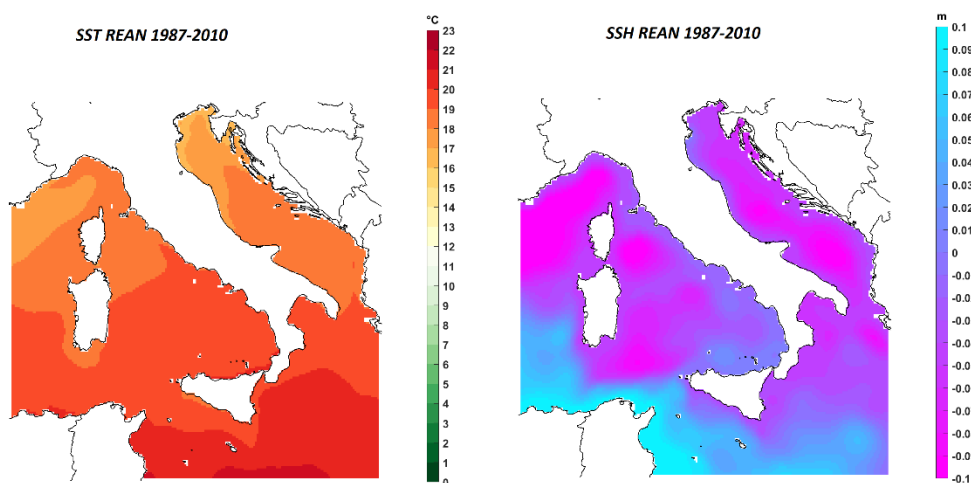


Figura 7: Valori climatologici degli indicatori SST e SSH sul Mediterraneo centrale ottenute dal dataset REAN per il periodo 1987-2010.

³³ Simoncelli, S., Fratianni, C., Pinardi, N., Grandi, A., Drudi, M., Oddo, P., & Dobricic, S. (2019). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Physics) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). https://doi.org/10.25423/MEDSEA_REANALYSIS_PHYS_006_004

2.3.2 *Proiezioni climatiche*

Al fine di studiare le anomalie climatiche attese durante la metà del XXI secolo per quanto concerne la temperatura e il livello del mare, sono stati considerati i dati delle simulazioni climatiche per il periodo 1981-2100 ottenuti tramite modello oceanico NEMO (Madec 2008³⁴) applicato al Mar Mediterraneo (7 km di risoluzione) e forzato con i dati atmosferici e idrologici del modello climatico CMCC-CM a ~80 Km di risoluzione orizzontale (Scoccimarro et al. 2011³⁵). La configurazione del modello impiegata in queste simulazioni, identificata come MEDSEA, è stata sviluppata dalla Fondazione CMCC e descrive l'evoluzione del sistema per lo scenario climatico RCP8.5 (Lovato et al. 2013³⁶; Galli et al. 2017³⁷; Reale et al. 2022³⁸). I dati prodotti con tale sistema modellistico sono distribuiti pubblicamente tramite il portale web dds.cmcc.it³⁹.

In generale, lo scenario RCP8.5 rappresenta la condizione più cautelativa in quanto descrive l'evoluzione del clima per uno scenario di emissioni "business as usual".

Una prima analisi è stata condotta con l'obiettivo di avvalorare la consistenza spazio-temporale tra il dataset REAN e il clima attuale riprodotto nel dataset MEDSEA (utilizzato per l'analisi delle anomalie climatiche attese).

In particolare, sono state considerate la differenza nella distribuzione spaziale e la variabilità stagionale delle variabili fisiche primarie sul periodo 1987-2010. In generale, tale analisi ha rivelato che, sia la temperatura superficiale sia il livello del mare del dataset MEDSEA, presentano differenze molto contenute rispetto ai dati delle rianalisi e consentono di descrivere con un buon grado di realismo lo stato dei mari nel periodo climatico di riferimento.

Successivamente è stata condotta un'analisi delle anomalie per le variabili fisiche primarie tra i periodi 2036-2065 e 1981-2010. Qui di seguito è riportata una sintesi dei maggiori risultati per la temperatura superficiale e il livello del mare, al fine di caratterizzare le proiezioni climatiche del dataset MEDSEA a scala di bacino e lungo le aree costiere italiane.

2.3.3 *Analisi delle aree marine della fascia costiera*

In questa sezione è riportata un'analisi di dettaglio delle proiezioni climatiche future per le aree marine della fascia costiera. I mari italiani vengono suddivisi in tre macroregioni sulla base della Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (MSFD 2008/56/CE recepita in Italia con D.Lgs 190/2010): Mar Mediterraneo Occidentale, Mare Adriatico, Mar Ionio e Mar Mediterraneo Centrale. Al fine di fornire un maggiore dettaglio per l'inquadramento dei cambiamenti nei mari italiani, in questa analisi le macroregioni principali sono state ulteriormente suddivise in otto sotto unità come

³⁴ Madec, G. (2008). NEMO Ocean Engine. Note du Pole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France.

³⁵ Scoccimarro E, Gualdi S, Bellucci A, et al (2011). Effects of Tropical Cyclones on Ocean Heat Transport in a High-Resolution Coupled General Circulation Model. J Clim 24:4368-4384. doi: 10.1175/2011jcli4104.1

³⁶ Lovato T., Vichi M., Oddo P. (2013). High-Resolution Simulations of Mediterranean Sea Physical Oceanography Under Current and Scenario Climate Conditions: Model Description, Assessment and Scenario Analysis. C Res Pap No 207.

³⁷ Galli, G., Solidoro, C., & Lovato, T. (2017). Marine heat waves hazard 3D maps and the risk for low motility organisms in a warming Mediterranean Sea. Frontiers in Marine Science, 4, 136. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00136>

³⁸ Reale, M., Cossarini, G., Lazzari, P., Lovato, T., Bolzon, G., Masina, S., ... & Salon, S. (2022). Acidification, deoxygenation, and nutrient and biomass declines in a warming Mediterranean Sea. Biogeosciences, 19(17), 4035-4065.

<https://doi.org/10.5194/bg-19-4035-2022>

³⁹ <https://dds.cmcc.it/#/dataset/medsea-cmip5-projections-physics>

illustrato in Figura 8. La fascia costiera è stata identificata come la zona all'interno del limite di dodici miglia marine dalla costa e corrisponde alle acque territoriali.

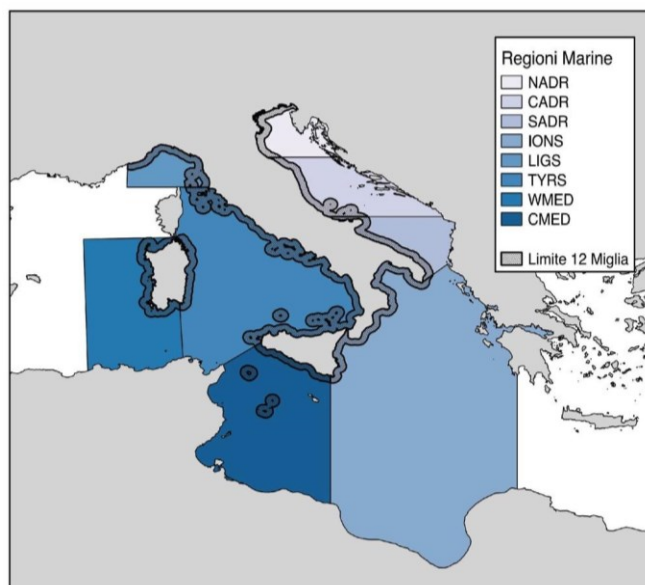


Figura 8: Divisione dei mari italiani in specifiche sotto regioni marine (Fратиanni et al. 2016⁴⁰). La zona ombreggiata indica il limite di 12 miglia dalla linea di costa. Le regioni marine sono identificate tramite i seguenti acronimi: NADR: Adriatico settentrionale, CADR: Adriatico Centrale, SADR: Adriatico meridionale, IONS: Mar Ionio e Mediterraneo centrale, LIGS: Mar Ligure, TYRS: Mar Tirreno, WMED: Mar Mediterraneo Occidentale, CMED: Mar Mediterraneo centrale.

Nella Tabella 4 sono riportate le anomalie su base annuale per la temperatura superficiale dell'acqua (SSTA) e il livello del mare (SSHA), rispettivamente, calcolate usando i dati di MEDSEA per il clima corrente (1981-2010) e lo scenario (2036-2065), mediati all'interno delle aree costiere entro le 12 miglia marine definite in Figura 8.

L'anomalia della temperatura superficiale mostra che tutte le aree costiere italiane saranno caratterizzate da un aumento di temperatura rispetto al periodo di riferimento 1981-2010. Tale aumento varia da un minimo di 1.9 °C nelle zone del Mediterraneo Centrale e Occidentale e nel Mar Ligure ad un massimo di 2.3 °C nell'Adriatico settentrionale e centrale. L'aumento è pressoché costante durante tutto l'anno mantenendo quindi invariata la stagionalità di ciascuna zona.

Analogamente alla temperatura superficiale dell'acqua, l'aumento del livello del mare durante il periodo 2036-2065 per lo scenario RCP8.5 caratterizza tutte le aree costiere. Rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, i valori vanno da un minimo di +16 cm per le tre sottoregioni del bacino Adriatico, fino ad un massimo di 19 cm nei mari Tirreno e Ligure e nel Mediterraneo occidentale.

⁴⁰ Fratianni, 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

Tabella 4: Anomalia media della temperatura superficiale (SSTA) e del livello del mare (SSHA), calcolata come differenza tra il periodo 2036-2065 e 1981-2010 usando il dataset MEDSEA RCP8.5.

Area Costiera	SSTA [°C]	SSHA [cm]
NADR	+2.26	+16
CADR	+2.26	+16
SADR	+2.14	+16
IONS	+2.03	+17
CMED	+1.92	+18
LIGS	+1.90	+19
TYRS	+1.91	+19
WMED	+1.93	+19

2.3.4 Analisi a scala nazionale

Le analisi condotte nel presente paragrafo hanno l'obiettivo di valutare le anomalie climatiche per la temperatura superficiale e il livello del mare a livello nazionale.

Le distribuzioni spaziali per SSTA e SSHA tra i periodi 2036-2065 e 1981-2010 su base annuale ottenute considerando lo scenario futuro RCP8.5 sono illustrate nella Figura 9. Le anomalie della temperatura superficiale del mare indicano un aumento generale su base annuale che varia da circa 1.9°C nel Mar Tirreno a circa 2.3°C nell'Adriatico. Il mare Adriatico presenta il cambiamento più significativo della temperatura media pari a circa +2.3°C, con variazioni nel periodo invernale e primaverile che potranno raggiungere +2.6°C.

Per quanto riguarda, invece, le variazioni del livello del mare attese per il periodo 2036-2065, esse risultano essere pari a circa 16 cm nell'Adriatico, 17 cm nel Mar Ionio e nel canale di Sicilia, mentre nei mari Tirreno, Ligure e nel Mediterraneo occidentale arrivano ai 19 cm.

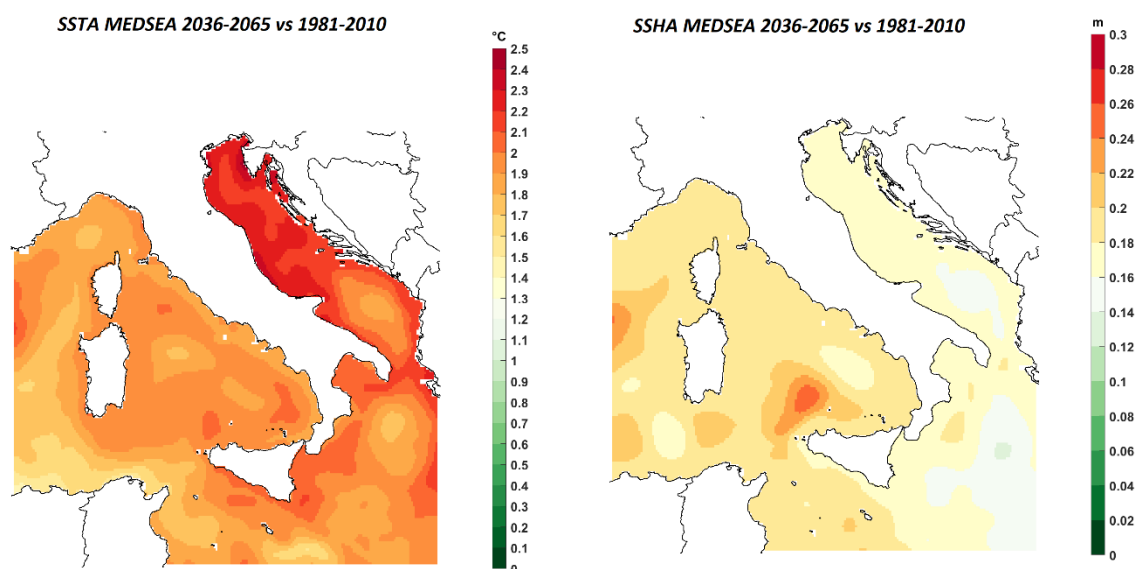


Figura 9: Anomalie climatiche degli indicatori SSTA e SSHA sul Mediterraneo centrale ottenute dal dataset MEDSEA RCP8.5 per il periodo 2036-2065 vs 1981-2010

dicembre 2023

Tabella 5 – Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC

Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
Temperatura Media (TG): Media della temperatura media giornaliera.	T	°C	+ - °C	stagionale/ annuale		Aumento delle temperature	
WD: <i>Giorni caldi - secchi</i> - Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura media giornaliera e con precipitazione giornaliera minore del 25° percentile della precipitazione giornaliera.	T - Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ECAD-EU, Beniston 2009	Elevate temperature e precipitazioni scarse/elevate	Salute, agricoltura
WW: <i>Giorni caldi - piovosi</i> - Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura media giornaliera e con precipitazione giornaliera maggiore del 75° percentile della precipitazione giornaliera.	T - Prec	giorni	+ - giorni	annuale			
HDDs: <i>Gradi giorni di riscaldamento</i> - Somma di 18°C meno la temperatura media giornaliera se la temperatura media giornaliera è minore di 15°C.	T	GG	GG o %	annuale	https://www.isprambiente.gov.it/files2018/publicazioni/rapporti/R_277_17_Allegati_Relazioni_dell'ottogruppoHDD_CD.pdf	Basse/elevate temperature che determinano Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento	Energia
CDDs: <i>Gradi giorni di raffrescamento</i> - somma della temperatura media giornaliera meno 21°C se la temperatura media giornaliera è maggiore di 24°C.	T	GG	GG o %	annuale			
PRCPTOT: Precipitazione cumulata nei giorni piovosi (mm) - Cumulata (somma) della precipitazione per i giorni con precipitazione maggiore/uguale a 1 mm.	Prec	mm	%	stagionale/ annuale	ETCCDI	Precipitazioni intense/persistenti (che concorrono al rischio di dissesto geo-idrologico)	NOTA: si è ritenuto opportuno non assegnare al dissesto geo-idrologico un settore

dicembre 2023

Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
R20: Giorni di precipitazioni intense - Numero di giorni con precipitazione superiore a 20 mm.	Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI		a sé stante. Esso costituisce un pericolo che interessa la maggior parte dei settori, ognuno con diverso grado di esposizione.
RX1DAY: Valore massimo della precipitazione giornaliera	Prec	mm	%	annuale	ETCCDI		
SDII: Indice di intensità di precipitazione giornaliera - Precipitazione media giornaliera nei giorni di precipitazione maggiore o uguale a 1mm.	Prec	mm	%	annuale	ETCCDI		
PR99prctile: 99° percentile della precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione maggiore/uguale a 1 mm.	Prec	mm	%	annuale	Kumar et al, 2020		
CDD: Giorni consecutivi secchi - Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera minore a 1 mm.	Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Siccità	Produzioni agricole, Risorse idriche ed Ecosistemi terrestri
SPI3: Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 3 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI3 calcolato per un periodo di accumulo corto (3 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sugli impatti immediati, quali quelli relativi alla riduzione di umidità del suolo, del manto nevoso e della portata nei piccoli torrenti.	
SPI6: Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 6 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI6 calcolato per un periodo di accumulo medio (6 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi.	

dicembre 2023

Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
SPI12: Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 12 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI12 calcolato per un periodo di accumulo medio (12 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi.	
SPI24: Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 24 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI24 calcolato per un periodo di accumulo lungo (24 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla ridotta ricarica degli invasi e sulla disponibilità di acqua nelle falde.	
PET: Evapotraspirazione Potenziale (con metodo Thornwaite)	Tmin, Tmax, Tmean	mm	%	annuale	Thornwaite (1948)	Siccità e desertificazione. Fornisce, nell'ambito della stima della risorsa idrica disponibile o potenziale, una valutazione della massima quantità di acqua che passerebbe in atmosfera, attraverso i processi di evaporazione e traspirazione, qualora la quantità di acqua nel terreno non costituisca un fattore limitante. L'evapotraspirazione potenziale è utilizzata per il calcolo di indici climatici come, ad esempio, l'“indice di aridità” (UNEP, United Nations Environment Programme) adottato come indice ufficiale nell'ambito della Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione, che sintetizza qualitativamente le caratteristiche climatiche del territorio. L'indice di aridità è definito come il rapporto tra la precipitazione annua e l'evapotraspirazione potenziale: $la = P / Etp$ L'evapotraspirazione potenziale è alla base dei modelli per la stima dell'evapotraspirazione reale.	

dicembre 2023

Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
CSDI: <i>Indice di durata dei periodi di freddo</i> - Numero totale di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile* della temperatura minima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Ondate di freddo	Salute, Energia
FD: Giorni con gelo - Numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a 0°C.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI		
WSDI: <i>Indice di durata dei periodi di caldo</i> - Numero totale di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile* della temperatura massima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Ondate di caldo	Salute, Energia
FWI: Indice di rischio incendio (basato su velocità massima del vento, umidità relativa, precipitazione cumulata, temperatura). Tale indice prevede il calcolo di 5 sottoindici: tre sottoindici primari (FFMC, DMC, DC) che rappresentano l'umidità del combustibile; due sottoindici intermedi (ISI, BUI) che rappresentano il tasso di dispersione ed il consumo del combustibile disponibile.	T - Prec - UR - V	-	%	annuale	Van Wagner, 1987	Condizioni meteorologiche che favoriscono il rischio di incendio	Foreste, Ecosistemi terrestri, Insediamenti
EWS: 98° percentile della velocità massima giornaliera del vento.	V	m/s	%	annuale/ stagionale	EEA, 2017	Tempeste di vento	Insediamenti, Foreste
SCD: <i>Durata del manto nevoso</i> - Numero di giorni nella stagione nivale (dal primo novembre di un dato anno al 31 marzo dell'anno successivo) con quantità di neve superficiale giornaliera superiore a 300 mm.	Hn	giorni	+ - giorni	novembre-marzo	Durand et al.2009, Marcolini et al. 2017	diminuzione/assenza di precipitazione nevosa	Turismo invernale

dicembre 2023

Acronimo, definizione indicatore climatico	Variabili fondamentali	Unità di misura dell'indicatore	Unità di misura della variazione climatica (scenario)	Scala temporale	Reference	Pericolo climatico/Proxy	Settore
Humidex5 (giorni): <i>Indice di disagio termico</i> - Misura del calore percepito che risulta dall'effetto combinato dell'umidità e della temperatura - Categoria 5: numero di giorni per anno nel quale l'indice humidex è maggiore di 45°C.	T - UR	giorni	+ - giorni	annuale	Masterson and Richardson 1979	Condizioni di temperatura e umidità che inducono disagio termico	Salute
SU95p: <i>Giorni estivi</i> - Numeri di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 29.2°C. Tale indicatore è stato definito per il territorio italiano (PNACC 2018).	T	giorni	+ - giorni	annuale	PNACC 2018	Condizioni di temperatura e umidità che inducono disagio termico	Salute
TR (giorni): <i>Notti tropicali</i> - Numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Condizioni di temperatura e umidità che inducono disagio termico	Salute
SST: Temperatura superficiale del mare	T	°C	°C			Aumento della temperatura del mare	Ecosistemi marini, pesca
SSH: Livello del mare	W	m	m			Aumento del livello del mare	Ecosistemi marini, Turismo estivo, Infrastrutture (porti)

3 IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA E VULNERABILITÀ SETTORIALI

Il VI Rapporto di Valutazione del Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico delle Nazioni Unite (IPCC, AR6, Rapporto di sintesi 2023) evidenzia come i cambiamenti climatici hanno un impatto trasversale su tutte le attività umane, dalla produzione agricola alla gestione delle risorse idriche, dalla salute pubblica alla conservazione della biodiversità, nonché sui processi naturali e sugli ecosistemi. Ad esempio, la migrazione degli animali, la fioritura delle piante e i cicli di vita marini sono tutti soggetti a variazioni a causa delle alterazioni climatiche.

Il presente Piano include, pertanto, un quadro sintetico inerente agli aspetti più rilevanti in tema di impatti dei cambiamenti climatici e vulnerabilità settoriali che caratterizzano il territorio italiano. I settori trattati sono quelli già inclusi all'interno della Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (MATTM, 2015⁴¹), che corrispondono ai sistemi naturali e ai settori socioeconomici più vulnerabili ai cambiamenti climatici nel nostro paese.

A tal fine sono stati presi in considerazione i risultati delle proiezioni climatiche per l'Italia e selezionati alcuni tra i più consolidati indicatori di impatto a livello nazionale. Sono richiamati, inoltre, alcuni dei più recenti e significativi fenomeni verificatisi sul territorio italiano a seguito di eventi meteorologici estremi, a titolo esemplificativo delle possibili ricadute che i cambiamenti climatici potranno avere su ambiente, società ed economia italiana e a supporto dell'identificazione delle possibili opzioni di adattamento. Per una trattazione più approfondita di questi temi si rimanda all'Allegato III.

Nella parte conclusiva viene infine presentata un'analisi trasversale degli impatti socioeconomici del cambiamento climatico che intende offrire una prima visione generale delle conseguenze economiche e sociali che interessano l'intera società, indipendentemente dal settore specifico. Questo approccio integrato mira a sottolineare l'interdipendenza e la complessità delle sfide poste dal cambiamento climatico, enfatizzando la necessità di strategie che tengano conto di tutti gli aspetti socioeconomici coinvolti.

Il quadro delle conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici in Italia, contenuto nell'Allegato III e prodotto nell'arco degli anni 2017-2018 da una ampia comunità di esperti, nonostante non sia aggiornato agli anni più recenti, risulta comunque efficiente nell'anticipare le ricadute dei cambiamenti climatici su diversi settori ambientali, economici e sociali.

Il presente Piano, contiene in ogni caso elementi di conoscenza aggiornati per alcuni settori, ove sia stato possibile reperire le necessarie informazioni, fermo restando che un aggiornamento completo della valutazione degli impatti e della vulnerabilità è in ogni caso previsto tra le azioni di sistema individuate.

3.1 Criosfera e montagna

La criosfera, l'insieme di neve, ghiacciai e permafrost, è fortemente impattata dai cambiamenti climatici: negli ultimi decenni la durata e lo spessore della neve si sono fortemente ridotti così come lo stock idrico nivale che si accumula ogni anno a fine inverno. I ghiacciai hanno già perso dal 30 al 40% del loro volume. Nella figura 10 si riporta il bilancio di massa netto per alcuni ghiacciai italiani elaborato da ISPRA (SNPA, 2021⁴²). Tale indicatore rappresenta la somma algebrica tra la massa accumulata, derivante dalle precipitazioni nevose invernali e primaverili, e la massa di ghiaccio persa nel periodo di fusione (ablazione). Sebbene la disponibilità del dato, con una adeguata copertura temporale, sia relativa a un

⁴¹ MATTM (2015). Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici.

⁴² SNPA (2021). Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA 21/2021 – ISBN: 978-88-448-1058-0.

numero limitato di corpi glaciali la misura del bilancio di massa è un'informazione rilevante degli effetti del clima sui ghiacciai.

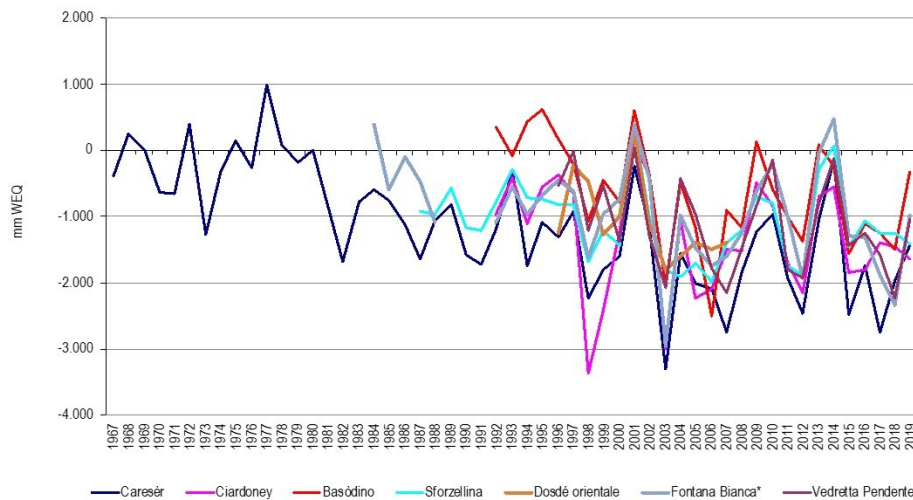


Fig. 10 – Bilancio di massa netto di alcuni ghiacciai italiani (Fonte: SNPA, 21/2021⁴³)

Per i sette corpi glaciali considerati si verifica una generale tendenza alla deglaciazione e alla fusione, anche se con andamento discontinuo. Il trend di bilancio decisamente più significativo è quello espresso dalla lunga serie storica del Caresér (Trentino-Alto Adige): si tratta di un ghiacciaio di dimensioni maggiori rispetto agli altri, seppure sia in decisa riduzione areale. Dal punto di vista della correlazione con l'andamento climatico, sebbene l'informazione di bilancio annuale possieda un valore intrinseco elevato, la risposta del ghiacciaio ai principali fattori climatici (temperatura e precipitazioni) risulta non essere sempre lineare in quanto le caratteristiche del singolo bacino glaciale possono incidere sul bilancio annuale in modo diverso. Nel complesso si delinea un quadro molto articolato, dove la fusione dei ghiacciai rappresenta la risultante del fattore termico a cui si combinano le variazioni della distribuzione delle precipitazioni nel corso dell'anno e le condizioni climatiche peculiari.

Il cosiddetto “peak water”, il fenomeno di aumento temporaneo della portata dei torrenti di montagna causata dall'incremento della fusione glaciale che si esaurisce quando il ghiacciaio si estingue o si ritira a quote talmente elevate da non poter più fondere, è già stato raggiunto nella maggior parte dei bacini glaciali italiani. La temperatura del permafrost sta aumentando in modo significativo in tutti i siti di misura alpini così come lo spessore dello strato di terreno o roccia che annualmente viene scongelato. Queste tendenze continueranno nei prossimi decenni in funzione dell'intensità dell'aumento delle temperature globali. La durata della copertura nevosa nei fondo-valle e sui versanti meridionali fino a 2.000 m si ridurrà di 4/5 settimane e di 2/3 settimane a 2.500 m. Il ritiro dei ghiacciai continuerà ad accelerare così come la degradazione del permafrost.

È soprattutto per la presenza di neve e ghiaccio che le montagne sono considerate “water towers” capaci di fornire acqua ai territori a valle e alle pianure compensando la riduzione delle precipitazioni estive tipiche dei climi italiani. Il contributo della fusione di neve e ghiaccio al deflusso totale dei fiumi italiani può variare dal 5% nelle regioni meridionali al 50-60% del bacino padano. La riduzione della neve e la scomparsa dei ghiacciai comprometteranno questo fondamentale ruolo tampone andando ad incrementare le crisi idriche estive. È infatti nei mesi estivi che si verifica il picco della domanda di acqua

⁴³ SNPA (2021). Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA 21/2021 – ISBN: 978-88-448-1058-0.

per uso civile, sensibile alle enormi fluttuazioni di presenze nelle destinazioni turistiche, irriguo ed industriale, innescando conflitti d'uso multiscala (locale, regionale e nazionale) e intersettoriali (primario, secondario e terziario).

Le montagne sono un territorio particolarmente sensibile ai pericoli naturali legati essenzialmente all'intensificazione del ciclo dell'acqua ed ai cambiamenti della criosfera entrambi fattori importanti nel controllo della stabilità di pareti e versanti. Rispetto ad altre aree montane, le regioni alpine sono particolarmente vulnerabili a causa dell'alta densità di popolazione, della significativa frequentazione turistica e dell'elevata estensione della superficie interessata da ghiacciai e permafrost. La degradazione del permafrost può ridurre la stabilità dei pendii e incidere sulla stabilità delle infrastrutture in alta montagna (funivie, rifugi, edifici, tralicci). Le valanghe di ghiaccio, la caduta di seracchi e lo svuotamento improvviso di sacche d'acqua glaciali sono processi legati all'interazione tra il riscaldamento globale e la naturale evoluzione dei ghiacciai.

È di luglio 2022 il crollo del seracco della Marmolada. Da un punto di vista glaciologico è necessario sottolineare come crolli di questo tipo risentano in maniera solo parziale delle temperature registrate a livello giornaliero, poiché l'inerzia dei ghiacciai ai cambi di temperature e le risposte in termini di fenomeni di questo tipo, necessitano di tempi lunghi e di persistenza di condizioni sfavorevoli, condizioni che si stanno verificando ormai da anni. Premesso ciò da un'analisi dei dati meteorologici della stazione automatica di Punta Rocca dell'ARPAV, risulta che a maggio e giugno, nei quali generalmente si attivano i processi di fusione del ghiacciaio, le temperature medie giornaliere sono risultate significativamente superiori alla media storica, con uno scarto di +3.2°C nei due mesi (ARPA Veneto, 2022⁴⁴).

Nonostante vi sia un forte accordo sul fatto che il collasso delle fronti dei ghiacciai sospesi sarà aggravato dall'innalzamento delle temperature basali dei ghiacciai, rimane difficile collegare deterministicamente tali processi ai fattori climatici e sviluppare sistemi predittivi di allerta. È importante sottolineare il ruolo delle specificità locali e la sostanziale impossibilità di generalizzazione.

Occorre inoltre evidenziare che le tipologie di rischi presentate possono agire in sinergia ed in modo cumulativo, con effetti a cascata. Ne consegue che tutte le strategie di adattamento al rischio dovranno, tenendo conto di queste possibilità di interazione tra i pericoli, agire a diversi livelli in modo da consentire alle comunità locali di appropriarsi di una governance efficace del tema dei rischi naturali associati alla montagna.

Infine, è fondamentale sottolineare come i cambiamenti climatici stanno modificando le attività alpinistiche. Molti itinerari sono stati modificati e rivisti. Coerentemente con le recenti Direttive del Dipartimento Protezione civile nazionale, l'azione delle autorità responsabili deve essere rivolta esclusivamente alle zone antropizzate e alle infrastrutture, mentre l'attività alpinistica deve essere lasciata alle valutazioni del singolo alpinista e dei professionisti della montagna come le Guide alpine. Rispetto a chiusure mirate e localizzate di itinerari deve essere data priorità alle regole della consapevolezza del rischio e dell'auto-responsabilità ed alle iniziative di autoregolazione delle Società delle Guide alpine, soprattutto considerando la maggior valenza ed incisività sugli altri alpinisti.

⁴⁴ ARPA Veneto (2022). Crollo Marmolada, Analisi meteo climatica e glaciologica.

3.2 Risorse idriche

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 uno sviluppo equo e sostenibile e la sicurezza idrica è un requisito fondamentale per lo sviluppo economico, la produzione alimentare, l'equilibrio sociale, la competitività delle imprese e la tutela dell'ambiente naturale.

In riferimento al trentennio 1991-2020, in Italia si è stimato un apporto di acqua piovana di circa 285 miliardi di m³, corrispondente ad un'altezza di precipitazione media annuale di circa 943 mm. Il 53% delle precipitazioni (circa 498 mm) è ritornato in atmosfera per evapotraspirazione; il restante 47%, rimasto al suolo, è ripartito tra infiltrazione nel sottosuolo (21%) e deflusso superficiale (26%).

Nel 2020 si è registrato un calo delle precipitazioni rispetto al periodo climatico 1971-2000 (CLINO: Normale Climatologica di riferimento). In particolare, si è verificata una precipitazione totale annua pari a 661 mm corrispondente ad una diminuzione di precipitazione di -132 mm (ISTAT, 2022⁴⁵). Le precipitazioni annue totali, in riferimento al CLINO per le diverse regioni italiane, mostrano anomalie di distribuzione significative sul territorio in linea con le previsioni messe in luce nell'ultimo rapporto IPCC 2022, che stanno determinando, sia a scala globale che nazionale, delle anomalie meteorologiche critiche ed estreme.

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 (Castellari et al. 2014a⁴⁶) 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 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 2011a⁴⁷, b⁴⁸). 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 Codice dell'ambiente - 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 a circa 13 miliardi di m³, distribuiti in 367 dighe in esercizio, di cui 37 presentano invaso limitato, 93 sono considerate ad invaso sperimentale ed 11 risultano in costruzione. L'utilizzo prevalente, il posizionamento ed i volumi autorizzati sono indicati in Fig. 11 (ISPRA, 2020⁴⁹).

⁴⁵ ISTAT (2022). REPORTACQUA - Le statistiche ISTAT sull'acqua 2019-2021.

⁴⁶ Castellari S. et al (2014a). Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici in Italia. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

⁴⁷ EC (2011b). Roadmap to a resource efficient Europe - COM(2011) 571 final.

⁴⁸ EC (2011a). A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy. COM(2011) 21.

⁴⁹ ISPRA (2020). Le risorse idriche nel contesto geologico del territorio italiano. Rapporto ISPRA 323/2020.

UTILIZZO PREVALENTE	n.	Volume autorizzato (10 ⁶ m ³)	Superficie dei bacini idrografici sottesi (km ²)
IDROELETTRICO	306	4.371	86.328
IRRIGUO	126	8.264	37.789
POTABILE	34	409	1.120
INDUSTRIALE	13	192	953
LAMINAZIONE	10	135	4.569
MISTO	8	25	298
Totale	497	13.396	131.057

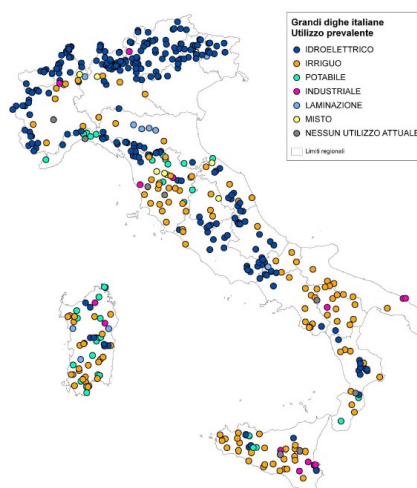


Fig. 11: Invasi (Volumi, Usi e Localizzazione (Fonte: ISPRA, 2020⁵⁰)

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, perdita di habitat dovuta a mutate condizioni di salinità). 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 2003⁵¹; Greig et al. 2011⁵²). 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). Nonostante questa difficoltà, 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

⁵⁰ ISPRA (2020). Le risorse idriche nel contesto geologico del territorio italiano. Rapporto ISPRA 323/2020.

⁵¹ Carvalho, L. and Kirika, A. (2003). Changes in shallow lake functioning: response to climate change and nutrient reduction. *Hydrobiologia* 506, 789-796 (2003).

⁵² Greig, H. S., Kratina, P., Thompson, P. L., Palen, W. J., Richardson, J. S., Shurin, J. B. (2011). Warming, eutrophication, and predator loss amplify subsidies between aquatic and terrestrial ecosystems.

definiti dagli stati membri potrebbero risultare inadeguati considerando la possibile variazione delle condizioni di riferimento dei corpi idrici indotta dalla forzante climatica (Kernan 2015⁵³).

3.3 Ambienti marini: biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici

Il Mar Mediterraneo è uno dei mari più sfruttati al mondo, messo a dura prova da enormi pressioni come inquinamento, sviluppo costiero, sovrasfruttamento ittico, attività antropiche, ecc. cui si aggiungono i cambiamenti climatici: questi ultimi, interagendo con gli effetti di altri disturbi antropici tendono ad esacerbarne gli effetti, con conseguenze poco prevedibili e difficili da gestire (Claudet and Fraschetti, 2010⁵⁴). La regione mediterranea è una delle aree più vulnerabili ai cambiamenti climatici globali a causa della sua posizione geografica tra il clima temperato dell'Europa centrale e il clima arido dell'Africa settentrionale. 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 dell'intensità delle precipitazioni, hanno provocato importanti conseguenze nel biota mediterraneo (Bianchi, 2007⁵⁵; Boero et al., 2008⁵⁶; Lejeusne et al., 2010⁵⁷). Su scala regionale, il Mar Mediterraneo svolge un ruolo di sentinella (hotspot) del riscaldamento globale poiché risponde ai cambiamenti climatici. Questa tendenza dell'aumento della temperatura superficiale e profonda delle acque del Mediterraneo ha avuto inizio già dalla metà degli anni 1980 e secondo gli attuali scenari climatici è probabile che l'incremento continui nel prossimo futuro. L'analisi delle tendenze fornisce un incremento di $0,041 \pm 0,006$ °C / anno su tutto il Mediterraneo. La tendenza ha un andamento spaziale irregolare, con valori che aumentano da $0,036 \pm 0,006$ °C/anno nel bacino occidentale a $0,048 \pm 0,006$ °C/anno nel bacino levantino-eggeo (Pisano et al. 2020 e bibliografia citata).

Negli ultimi 20 anni, le ondate di calore marine (*Marine Heat Waves*) sono globalmente raddoppiate in frequenza e sono diventate più durature, più intense e più estese (Collins et al., 2020⁵⁸) aumentando gli eventi di mortalità di massa in tutto il mondo (Garrabou et al., 2009⁵⁹; Hughes et al., 2017⁶⁰; Thomsen et

⁵³ 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.

⁵⁴ Claudet, J. and 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.

⁵⁵ Bianchi, C. N. (2007). Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 580:7–21. doi: 10.1007/s10750-006-0469-5.

⁵⁶ 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.

⁵⁷ 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.

⁵⁸ Collins, S., Boyd, P. W. and Doblin, M. A. (2020). Evolution, microbes, and changing ocean conditions. [Annual Review of Marine Science](#). 12, p. 181-208 28 p.

⁵⁹ Garrabou, J., Coma, R., Bensoussan, N., Bally, M., Chevaldonné, P., Cigliano, M., Diaz, D., Harmelin, J. G., Gambi, M. C., Kersting, D. K., Ledoux, J. B., Lejeusne, C., Linares, C., Marschal, C., Pérez t., Ribes, M., Romano, J. C., Serrano, E., Teixido, N., Torrents, O., Zabala, M., Zuberer, F., Cerrano, C. (2009). Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology* <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01823.x>.

⁶⁰ Hughes, J. P., Kerry, J. T., Alvarez-Noriega, M., Alvarez Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., Babcock, R. C., Beger, M., Bellwood, D. R., Berkemans, R., Bridge, T. C., Butler, I. R., Byrne, M., Cantin, N. E., Comeau, S., Connolly, S. R., Cumming, G. S., Dalton, S. J., Diaz-Pulido, G., Eakin, C. M., Figueira, W. F., Gilmour, J. P.; Harrison, H. B., Heron, S. F., Hoey, A. S., Hobbs, J.-P. A., et al. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543(2017), pp. 373-377.

al., 2015; Wernberg et al., 2016⁶¹) così come in Mar Mediterraneo (Cramer et al., 2018⁶²; Marbà et al., 2015⁶³; Rivetti et al., 2014⁶⁴). La maggior parte degli studi sugli eventi di mortalità di massa in Mediterraneo si sono concentrati sulle specie che formano habitat come, ad esempio, le gorgonie e le alghe (Chimienti et al., 2021⁶⁵; Garrabou et al., 2019⁶⁶; Verdura et al., 2021⁶⁷) e, nelle popolazioni studiate, alcune specie hanno mostrato tassi di mortalità fino all'80% (Cerrano et al., 2000⁶⁸; Garrabou et al., 2009) con conseguenze importanti per la struttura ed il funzionamento degli ecosistemi bentonici (Gómez-Gras et al., 2021⁶⁹; Verdura et al., 2019⁷⁰). Uno studio recente (Garrabou et al., 2022⁷¹) ha evidenziato che anche il Mar Mediterraneo sta sperimentando un'accelerazione degli impatti ecologici dovuti alle ondate di calore marine: una minaccia senza precedenti per la salute ed il funzionamento dei suoi ecosistemi. Nel complesso, i modelli sviluppati per il Mar Mediterraneo indicano che i cambiamenti climatici potrebbero portare a estinzioni ecologiche di specie a livello locale, regionale o addirittura pan-mediterraneo e a diffusi cambiamenti strutturali e di composizione delle comunità ecologiche fino ad arrivare a potenziali cambiamenti nel funzionamento degli ecosistemi, soprattutto nei casi in cui le specie perse fossero funzionalmente uniche (Bellwood et al., 2004⁷²; Bianchi et al., 2014; Harvey et al., 2022⁷³; Loya et al.,

⁶¹ Wernberg, T., Bennett, S., Babcock, R. C., de Bettignies, T., Cure, K., Depczynski, M., Dufois, F., Fromont, J., Fulton, C. J., Hovey, R. K., Harvey, E. S., Holmes, T. H., Kendrick, G. A., Radford, B., Santana-Garcon, J., Saunders, B. J., Smale, D. A., Thomsen, M. S., Tuckett, C. A., Tuya F., Vanderklift M. A., Wilson S. (2016). Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science* (80), 353, pp. 169-172.

⁶² Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., Lange, M. A., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Penuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M. N., Xoplaki, E. (2018). *Nature Climate Change* 8, 972-980 (2018).

⁶³ Marbà, N., Jordà, G., Agusti, S., Girard, C. and Duarte, C. M. (2015). Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Front. Mar. Sci.*, 13 August 2015. Sec. Global Change and the Future Ocean Volume 2 - 2015 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00056>.

⁶⁴ Rivetti, I., Frascchetti, S., Lionello, P., Zambianchi, E., Boero, F. (2014). Global Warming and Mass Mortalities of Benthic Invertebrates in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 9(12): e115655. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115655>.

⁶⁵ Chimienti, G., De Padova, D., Adamo, M., Mossa, M., Bottalico, A., Lisco, A., Ungaro, N., Mastrototaro, F. (2021). Effects of global warming on Mediterranean coral forests. *Sci Rep.* 2021 Oct19;11(1):20703. doi: 10.1038/s41598-021-00162-4.

⁶⁶ Garrabou, J., Gomez-Gras, D., Ledoux, J. B., Linares, C., Bensoussan, N., Lopez-Sendino, P., Bazairi, H., Espinosa, F., Ramdani, M., Grimes, S., Benabdi, M., Ben Souissi, J., Soufi, E., Khamassi, F., Ghanem, R., Ocana, O., Ramos-Esplà, A., Izquierdo, A., Anton, I., Rubio-Portillo, E., Barbera, C., Cebrian, E., Marbà, N., Hendriks, I. E., Duarte, C. M., Deudero, S., Diaz, D., Vazquez-Luis, M., Alvarez E., Hereu B., Kersting D. K., Gori A., Viladrich N., Sartoretto S., Pairaud I., Ruitton S., Pergent G., Pergent-Martini C., et al. (2019). Collaborative database to track mass mortality events in the Mediterranean Sea. *Front. Mar. Sci.*, 22 November 2019. Sec. Global Change and the Future Ocean. Volume 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00707>.

⁶⁷ Verdura, J., Santamaria, J., Ballesteros, E., Smale, D. A., Cefali, M. E., Golo, R., de Caralt, S., Vergés, A., Cebrian, E. (2021). Local-scale climatic refugia offer sanctuary for a habitat-forming species during a marine heatwave. *Journal of Ecology*, <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13599>.

⁶⁸ Cerrano, C., Bavestrello, G., Bianchi, C. N. 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.

⁶⁹ Gomez-Gras, D., Linares, C., Dornelas, M., Madin, J. S., Brambilla, V., Ledoux, J. B., Lopez-Sendino, P., Bensoussan, N., Garrabou, J. (2021). Climate change transforms the functional identity of Mediterranean coralligenous assemblages. *Ecology Letters*, (2021)24: 1038–1051. doi: 10.1111/ele.13718.

⁷⁰ Verdura, J., Linares, C., Ballesteros, E., Coma, R., Uriz, M. J., Bensoussan, N. and Cebrian, E. (2019). Biodiversity loss in a Mediterranean ecosystem due to an extreme warming event unveils the role of an engineering gorgonian species. *Scientific Reports* volume 9, Article number: 5911 (2019).

⁷¹ Garrabou, J., Gomez-Gras, D., Medrano, A., Cerrano, C., Ponti, M., Schlegel, R., Bensoussan, N., Turicchia, E., Sini, M., Gerovasileiou, V., Teixido, N., Mirasole, A., Tamburello, L., Cebrian, E., Rilov, G., Ledoux, J. B., Ben Souissi, J., Khamassi, F., Ghanem, R., Benabdi, M., Grimes, S., Ocana, O., Bazairi, H., Hereu, B., Linares, C., Kersting, D. K., la Rovira G., Ortega J., Casals D., Pagès-Escollà, M., Margarit, N., Capdevila, P., Verdura, J., Ramos A., Izquierdo, A., Barbera, C., Rubio-Portillo, E., Anton, et al. (2022). *Global Change Biology*, <https://doi.org/10.1111/gcb.16301>.

⁷² Bellwood D. R., Hughes T. P., Folke C., Nystrom M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*. 429(6994):827-33. doi: 10.1038/nature02691.

⁷³ Harvey, J. A., Tougeron, K., Gols, R., Heinen, R., Abarca, M., Abram, K. P., Basset, Y., Berg, M., Boggs, C., Brodeur, J., Cardoso, P., de Boer, J. G., De Snoo, G. R., Deacon, C., Dell, J. E., Desneux, N., Dillon, M. E., Duffy, G. A., Dyer, L. A., Eilers, J., Espindola, A., Fordyce, J., Forister, M. L., Fukushima, C., Gage, M. J. G., Garcia-Robledo, C., Gely, C., Gobbi, M., Hallmann, C., Hance, T., Harte,

2001⁷⁴; Moullec et al., 2019⁷⁵). Possibili implicazioni socioeconomiche potrebbero riguardare la perdita di specie target per la pesca, l'erosione dei servizi ecosistemici essenziali e la mortalità di massa di specie ecologicamente importanti (Smith et al., 2021⁷⁶).

Con l'incremento della temperatura negli ultimi 50 anni si è riscontrato, inoltre, l'aumento 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, 2002⁷⁷).

Oltre al costante riscaldamento delle acque, il Mediterraneo sta subendo un aumento progressivo della salinità, che interessa tutti i tre strati (lo strato superficiale, quello compreso tra la superficie e i 200 m, e quello di profondità con un incremento notevole del fenomeno nelle ultime due decadi). Le cause di questo fenomeno sono da ricercare nell'aumento dell'evaporazione del bacino del Mediterraneo e nella diminuzione delle precipitazioni. Inoltre, l'aumento esponenziale delle concentrazioni di anidride carbonica nell'atmosfera, determinato da attività antropiche, come la combustione di combustibili fossili, la deforestazione, la produzione di cemento e i cambiamenti di uso del suolo su larga scala, ha determinato un sensibile abbassamento del pH nell'acqua negli ambienti marino-costieri (Goyet and Touratier, 2009⁷⁸). Le conseguenze di tale diminuzione di pH sono molto gravi incidendo sulla struttura e sul funzionamento degli ecosistemi marini (Fauville et al., 2008⁷⁹; Gattuso e Hansson, 2011⁸⁰; Riebesell et al., 2013⁸¹; IPCC, 2021⁸²).

Il Mediterraneo rischia, così, di diventare sempre più caldo, e di subire profondi mutamenti sia in termini di composizione (biodiversità, specie aliene, composizione delle comunità) sia in termini funzionali (alterazione cicli biogeochimici, cambiamento delle reti trofiche) con un aumento della vulnerabilità e dei tassi di estinzione dei suoi componenti. La perdita di capitale naturale comporterà, inoltre, la riduzione dei beni e della ricchezza (servizi ecosistemici) che gli ecosistemi garantiscono all'uomo con conseguenti implicazioni sociali ed economiche.

J., Hochkirch, A., Hof, C., Hoffmann, A., A., Kingsolver, J. G., Lamarre, G. P. A., Laurance, W. F., Lavandero, B., Leather, S. R., et al. (2022). Scientists' warning on climate change and insects. *Ecological Monographs*, <https://doi.org/10.1002/ecm.1553>.

⁷⁴ Loya, Y., Sakai, K., Yamazato, K., Nakano, Y., Sambali, H., Van Woesik, R. (2001). Coral bleaching: the winners and the losers. *Ecology letters*, <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00203.x>.

⁷⁵ Moullec, F., Barrier, N., Drira, S., Guilhaumon, F., Marsaleix, P., Somot, S., Ulse, S. C., Velez, L. and Shin, Y. J. (2019). An End-to-End Model Reveals Losers and Winners in a warming Mediterranean Sea. *Front. Mar. Sci.*, 25 June 2019. Sec. Global Change and the Future Ocean, Volume 6 - 2019 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00345>.

⁷⁶ Smith, H., Garcia Lozano, A., Baker, D., Blondin, H., Hamilton, J., Choi, J., Basurto, X., Silliman B. (2021). Ecology and the science of small-scale fisheries: a synthetic review of research effort for the Anthropocene. *Biological Conservation*, Vol. 254, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108895>.

⁷⁷ CIESM (2002). Alien marine organisms introduced by ships in the Mediterranean and Black seas. Monaco.

⁷⁸ Goyet, C. and Touratier, F. (2009). Challenges for present and future estimates of Anthropogenic carbon in the Indian Ocean. *Advancing Earth and Space Science, Geophysical Monograph Series*.

⁷⁹ Fauville, G., Queiroz, A. C.M., Brown, L. H. B. A., Bailenson, J. N. (2021). Participatory research on using virtual reality to teach ocean acidification: a study in the marine education community. *Environ. Educ. Res.* 27:2, 254–278. doi: 10.1080/13504622.2020.1803797.

⁸⁰ Gattuso, J. P., Hansson, L. (2011). *Ocean acidification* (Oxford university press).

⁸¹ Riebesell, U., Czerny, J., von Brockel, K., Boxhammer, T., Budenbender, J., Deckelnick, M., Fischer, M., Hoffmann, D., Krug, S. A., Lentz, U., Ludwig, A., Mücke, R. and Schulz, K. G. (2013). Technical Note: a mobile sea-going mesocosm system – new opportunities for ocean change research. *Biogeosciences*, 10, 1835–1847, 2013. <https://doi.org/10.5194/bg-10-1835-2013>.

⁸² IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

3.4 Ecosistemi e biodiversità di acque interne e di transizione

Le zone umide e le lagune costiere sono ambienti preziosi e importanti riserve di biodiversità e la loro importanza è stata ampiamente riconosciuta a livello internazionale, in particolare nell'ambito della Convenzione sulle zone umide (Ramsar, Iran, 1971) e della Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD) firmata alla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UNCED, Rio de Janeiro, Brasile, 1992⁸³). Secondo l'inventario nazionale delle zone umide in Italia sono presenti 1.511 zone umide. L'estensione totale ammonta a 771.125 ha. Il 48% sono laghi e fiumi, il 32% sono ambienti marini e costieri e il 20% sono zone umide artificiali. Tra questi siti, 57 sono riconosciuti di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar⁸⁴. Dei 57 siti Ramsar, 33 sono ambienti lagunari costieri. Le lagune costiere elencate come siti Ramsar ammontano a 73.982 ha sui 167.575 ha totali di lagune costiere italiane, ovvero il 44 % della superficie totale delle lagune del paese.

Il cambiamento climatico influisce su tali ambienti alterandone lo stato ecologico. Alcune tipologie di ecosistemi, come quelle che fanno riferimento agli ambienti di transizione aperti, hanno un'elevata resilienza tipica di sistemi adattati ad elevate variazioni ambientali. Altre tipologie, come gli ecosistemi lacustri e gli ecosistemi delle acque sotterranee, sono molto più vulnerabili e difficili da gestire.

Nel dettaglio, l'aumento delle temperature, la riduzione della copertura nevosa e l'alta variabilità stagionale delle precipitazioni alterano il ciclo idrologico minacciando anche lo stato ecologico dei fiumi. I fiumi alpini vedranno diminuito l'apporto dai ghiacciai mentre il resto dei corsi d'acqua soffrirà una maggiore frequenza e durata dei periodi di magra e di secca. Ciò comporterà un'alternanza, nei fiumi padani, delle piene invernali e dell'eutrofizzazione estiva, mentre più in generale si assisterà ad un peggioramento della qualità delle acque con conseguente perdita di biodiversità. Analogamente ai fiumi, anche i sistemi lentici sono colpiti dal cambiamento climatico in maniera differenziata rispetto alle aree climatiche. I laghi alpini, ad esempio, subiranno una perdita di specie e una colonizzazione da specie normalmente insediate ad altitudini più basse. I laghi profondi del Nord Italia saranno negativamente influenzati dall'aumento delle temperature che indurranno all'aumento delle fioriture microalgali e cianobatteriche con conseguenti danni alla vegetazione macrofita e alle comunità animali dei litorali. I laghi del centro e del sud vedranno una sostanziale diminuzione del livello di acque (con il rischio di disseccamento per i laghi meno profondi) e una grave perdita di biodiversità.

Il cambiamento climatico avrà impatti anche sugli ecosistemi delle foci fluviali e delle lagune. L'alta variabilità delle precipitazioni produrrà un aumento invernale dei nutrienti e degli inquinanti nelle lagune del Nord Italia. L'aumento della frequenza di piene potrà distruggere gli argini e aggravare il fenomeno dell'erosione, determinando perdite di biodiversità. Allo stesso modo, l'incremento degli eventi siccitosi estivi potrà creare problematiche relative all'intrusione del cuneo salino, con inaridimenti e microdesertificazioni. Queste lagune saranno soggette alla diffusione di specie non-indigene. Negli ecosistemi lagunari del centro e del sud del paese, l'aumento delle temperature avrà un impatto sull'evaporazione dell'acqua e potrà determinare crisi ipo-anossiche con conseguente minaccia alla biodiversità.

Infine, le acque sotterranee saranno soggette sia all'alternanza di fenomeni di siccità e di piena sia al probabile aumento dei prelievi di acqua di falda. Ciò avrà un impatto sulla connessione verticale tra le acque superficiali e quelle sotterranee.

⁸³ UNCED (1992). Convention on Biological Diversity, Rio de Janeiro 1992.

⁸⁴ <https://www.mite.gov.it/pagina/zone-umide-di-importanza-internazionale-ai-sensi-della-convenzione-di-ramsar#1>

3.5 Zone costiere

Gli impatti dei cambiamenti climatici sul sistema fisico costiero sono associati principalmente a due fenomeni: i. l'innalzamento del livello del mare; ii. l'aumento della frequenza degli eventi estremi. Tali fenomeni, agendo su scale temporali sensibilmente differenti, impatteranno sul sistema costiero con velocità e ampiezze differenti.

Le variazioni del livello del mare (Cap. 2), seppur lente e non direttamente apprezzabili dall'occhio umano, sono oggetto di attenzione e monitoraggio a causa delle potenziali conseguenze che potrebbero avere sulle zone costiere italiane nel medio-lungo termine. Esse indurranno principalmente l'aumento del livello di base con cui tutti i processi morfo-sedimentari agiranno sul territorio costiero, ovvero: a) una migrazione verso terra dell'azione del moto ondoso; b) una migrazione verso terra dell'azione delle dinamiche mareali. Considerando l'attuale grado di infrastrutturazione costiera tale sollevamento influenzerà anche: c) la funzionalità delle infrastrutture idrauliche (ad es. delle reti fognarie); d) l'efficienza delle infrastrutture di difesa costiera. Tali elementi descrivono i fattori predisponenti per un aumento delle porzioni costiere soggette a fenomeni erosivi e di sommersione temporanea e/o permanente.

In Italia, dove la forte antropizzazione delle aree costiere ha causato negli anni una forte crescita della numerosità di persone e attività, è andata aumentando l'esposizione al rischio costiero. Il consumo di suolo nella fascia costiera italiana ha, infatti, valori nettamente superiori rispetto al resto del territorio nazionale. È ormai artificializzato il 22,8% della fascia costiera entro i 300 metri, il 18,9% tra i 300 e i 1.000 metri e l'8,7% tra 1 e 10 km, a fronte di un 7,1% del resto del territorio. A livello nazionale più di un quinto della fascia compresa entro i 300 metri dal mare è ormai consumato: tra le regioni con valori più alti entro i 300 m dalla linea di costa si evidenziano Marche e Liguria, con quasi la metà di suolo consumato, Abruzzo, Emilia-Romagna, Campania e Lazio con valori compresi tra il 31% e il 37%. Tra i 300 m e i 1.000 m le stesse regioni (ad eccezione del Lazio) presentano valori uguali o superiori al 30% di suolo consumato⁸⁵.

Particolare attenzione meritano le aree caratterizzate da equilibri delicati tra terra e mare, soggianti al livello marino, o a scarsa elevazione, ad alta densità di popolazione residente o a elevata urbanizzazione come, a titolo di esempio, l'arco costiero Nord Adriatico, comprensivo delle sue lagune e del Delta del Po. In un territorio peculiare e unico come questo, all'innalzamento del livello medio del mare assoluto dovuto a fattori climatici, si va infatti a sommare localmente anche la perdita di quota dovuta al compattamento degli strati argillosi e sabbiosi del sottosuolo (subsidenza). È, infatti, il movimento verticale del terreno ad acuire localmente il fenomeno globale dovuto ai cambiamenti climatici (SNPA, 2021⁸⁶). Tali sistemi, collocati sul livello medio del mare o al di sotto (es. lagune, litorali, fiumi, pianure, centri abitati e relative infrastrutture e beni culturali), risultano esposti al rischio di inondazione, sia da mare che da terra, di perdita di habitat e di riduzione della qualità delle acque.

⁸⁵ Annuario dei Dati Ambientali 2021, ISPRA.

⁸⁶ SNPA (2021). Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA 21/2021 – ISBN: 978-88-448-1058-0.

dicembre 2023

L'aumento della frequenza con cui gli eventi estremi incideranno sulla costa influenzerà l'attuale equilibrio sedimentario, già fortemente compromesso, in termini di meccanismi di redistribuzione del sedimento lungo costa.

Le criticità più probabili si tradurranno in un generalizzato aumento dei settori litoranei sottoalimentati, una diminuzione della resilienza dei sistemi litoranei naturali, un aumento delle porzioni costiere soggette a fenomeni di sommersioni temporanee più frequenti, la diminuzione dell'efficienza delle attuali infrastrutture di difesa (in quanto maggiormente sollecitate e dimensionate secondo forzanti non coerenti con il mutato quadro meteo-climatico), un ulteriore indebolimento delle funzionalità "difensive" dei sistemi dunali e di transizione (attualmente già fortemente compromessi). I fattori antropici che concorreranno ad amplificare tali impatti sono e saranno connessi all'infrastrutturazione del territorio allorché non opportunamente inquadrata in contesti di area vasta, ovvero in grado di pianificare una gestione di minima compromissione della disponibilità e mobilità del sedimento. L'importanza della risorsa "sedimenti" per la difesa della costa dall'erosione e dagli effetti del cambiamento climatico ha quindi assunto negli ultimi anni un valore strategico in particolar modo per quel che riguarda la costa del Mediterraneo⁸⁷.

In questo senso si richiama la funzione protettiva svolta dai sistemi naturali (spiagge e dune), la cui principale funzione è dissipare e assorbire l'energia ondosa incidente, ovvero fornire un servizio di regolazione⁸⁸.

Va inoltre evidenziato come i fenomeni meteorologici possano diventare più violenti a causa dell'aumento della temperatura del mare che ha conseguenze su quanto accade in atmosfera, oltre a provocare gravi impatti sulla biodiversità marina e a contribuire all'innalzamento del livello del mare. Il mare, infatti, trasferisce più calore all'atmosfera e quest'ultima scarica violentemente questo eccesso di energia sul territorio con piogge molto intense e venti forti.

Innalzamento del livello del mare e incremento della frequenza degli eventi estremi sono i due principali fattori impattanti sul sistema fisico costiero: erosione costiera e inondazione temporanea dovuta alle tempeste sono piuttosto comuni lungo le coste italiane, in particolare nelle aree con spiagge basse (CMCC, 2021⁸⁹).

Nel periodo compreso tra il 2007 e il 2019 il 37,6% dei litorali ha subito variazioni superiori a 5 metri. In molte regioni costiere si registra una tendenza generale al peggioramento della stabilità dei litorali, in altri

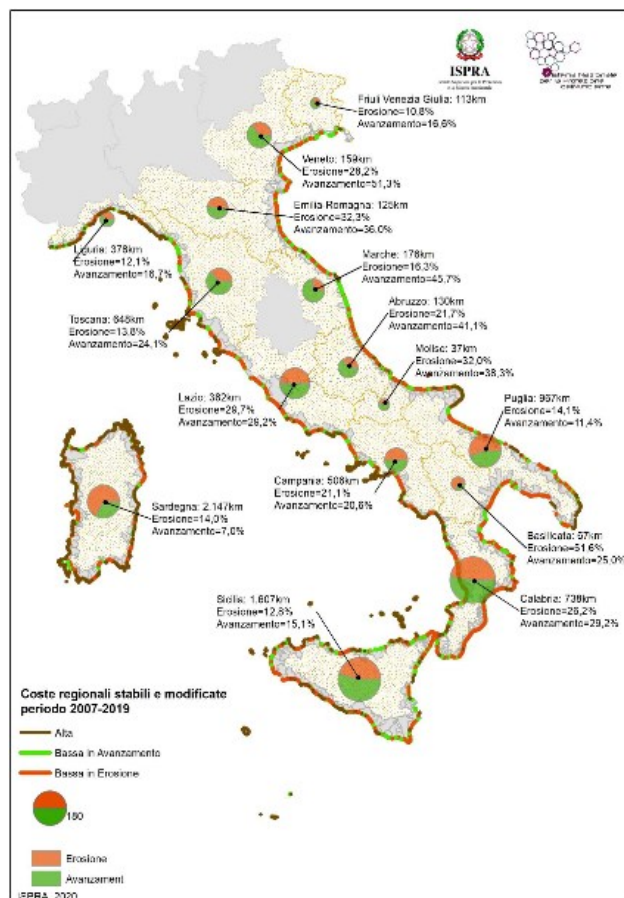


Fig. 12 – Costa regionale e percentuale delle variazioni nel periodo 2007-2019 per erosione e avanzamento (ISPRA, 2021)

⁸⁷ Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici, TNEC, 2018.

⁸⁸ Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, MATTM, 2014.

⁸⁹ CMCC (2021). G20 Climate Atlas, Italy.

termini molte aree costiere del paese sono gravate da importanti processi di erosione sebbene il 16% delle coste italiane, pari a 1.291 km, sia protetto con opere di difesa. Tra il 2007 e il 2019 sono state realizzate nuove opere a protezione di ulteriori 180 km di costa ma l'effetto dei numerosi sforzi compiuti negli anni per mitigare il dissesto costiero è visibile solo in alcune zone del paese (ISPRA, 2021⁹⁰). La Calabria, la Sicilia, la Sardegna e la Puglia sono in ordine le regioni con il maggior numero di chilometri di costa in arretramento (Fig. 12). In uno scenario di emissioni medie una stima effettuata dal CMCC al 2050 indica una retrocessione media delle coste caratterizzate da spiagge di circa 17 metri (CMCC, 2021).

L'effetto dei cambiamenti climatici sull'intrusione salina si può esplicitare in base a due potenziali impatti: 1) il previsto innalzamento del livello del mare potrà provocare naturalmente una maggiore intrusione salina verso terra; 2) l'alterazione del regime delle precipitazioni, che secondo i modelli climatici comporterebbe quasi ovunque in Italia delle estati più siccitose, potrà favorire portate fluviali di magra, che saranno sempre meno in grado di contrastare efficacemente la risalita salina dal mare. Le misure effettuate sul Po dimostrano che negli anni '50 e '60 il fenomeno si avvertiva a non più di 2-3 km dalla foce; negli anni '70 e '80 si spingeva circa 10 km verso l'interno, arrivando fino a 25 km dalla foce negli anni 2000. Una progressione analoga si riscontra anche nell'Adige, dove si è passati dai 5-7 km di risalita degli anni '70 ai 10-12 km degli anni 2000 (Kurdistani et al, 2022⁹¹).

Avvicinandoci al presente, durante l'estate 2022 il Po a Pontelagoscuro ha raggiunto la portata minima storica di circa 100 m³/s con una media mensile di circa 160 m³/s a luglio, quando il cuneo salino è arrivato fino a 40 km dalla foce (Associazione Nazionale Consorzi di gestione e tutela del territorio e acque irrigue). Un dato significativo se confrontato con la risalita del cuneo in condizioni di magra ordinaria (650 m³/s) fornita dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po. Ciò ha comportato l'interruzione totale degli approvvigionamenti idrici a scopi irrigui, varie forme di razionamenti e di turnazioni in molte aree del delta.

Alla luce dei dati disponibili per lo stato attuale, il fenomeno sembra stia ormai assumendo dei caratteri prossimi all'irreversibilità. Relativamente allo specifico sistema del Delta del Po, nell'ipotesi dello scenario emissivo RCP8.5 (elevate emissioni) si potrebbe avere un incremento dell'80% nell'intrusione del cuneo e un aumento della persistenza del fenomeno del 100%, con conseguenze importanti sulla disponibilità delle risorse idriche per tutta l'area. In queste condizioni, inoltre, il fattore legato alla riduzione della portata del fiume è più impattante e determinante rispetto all'incremento del livello del mare (Kurdistani et al., 2022). Un altro studio, limitatamente al Po di Goro, utilizzando lo stesso scenario, mostra che nel periodo 2021-2050 l'intrusione si incrementerà del 15% su base annua (fino al 50% in estate) con un aumento di salinità annuale del 9% (fino al 35% in estate). Inoltre, eventi estremi di risalita che oggi si manifestano con un tempo di ritorno di 10 anni, si presenteranno in futuro con una frequenza doppia (Kurdistani et al., 2022).

Va menzionato, infine, il fenomeno di proliferazione di specie algali nelle acque marino-costiere (*Harmful Algal Blooms*) che negli ultimi decenni sembrano essersi intensificati sia in termini di frequenza temporale sia per la maggiore diffusione geografica in gran parte delle aree del mondo (Anderson et al., 2012⁹²; Zingone, 2010⁹³). L'attività di sorveglianza di microalghe planctoniche d'interesse sanitario è effettuata già da alcuni anni lungo le coste italiane riportando episodi di fioriture di *Alexandrium* spp., *Dinophysis*

⁹⁰ ISPRA (2021). Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021, ISPRA.

⁹¹ Kurdistani, S. M., Verri, G., Pinardi, N., Coppini, G. (2022). Climate Projections of salt-wedge intrusions in a Po River branch (Northern Adriatic Sea). Technical Notes Issue TN0291, OPAOcean.

⁹² Anderson, D.M., Cembell, A.D., Hallegraeff, G.M. (2012). Progress in understanding harmful algal blooms: paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. Ann. Rev. Mar. Sci., 4: 143-76.

⁹³ Zingone, A. (2010). Harmful algal blooms in the Mediterranean Sea: a historical overview. In: Briand F (Ed.) Phytoplankton responses to Mediterranean environmental changes. Monaco: CIESM, 19- 24.

spp., *Pseudo-nitzschia* spp., *Fibrocapsa japonica*, etc. Solo a partire dal 2005 è stata rivolta maggiore attenzione anche alle microalghe bentoniche potenzialmente tossiche, e in particolare a *O. cf. ovata*, *Prorocentrum lima*, *P. emarginatum*, *Amphidinium* spp. Tra queste, solo *Ostreopsis ovata* ha mostrato una relazione tra esposizione in attività di balneazione ed effetti sanitari: essa è una specie bentonica potenzialmente tossica, tipica delle aree tropicali e subtropicali, rinvenuta negli ultimi anni anche in zone temperate e in molti paesi del Mediterraneo. L'origine di *Ostreopsis* in Mar Mediterraneo è, tuttavia, ancora da chiarire.

3.6 Suolo e territorio

3.6.1 Dissesto geologico, idrologico e idraulico

I fenomeni di dissesto geologico, idrologico e idraulico (es. inondazioni, frane, erosioni e sprofondamenti) sono diffusi e frequenti in Italia e hanno già provocato vittime e gravi danni ad ambiente, beni mobili e immobili, infrastrutture, servizi e tessuto economico e produttivo con ingenti conseguenze economiche (più di due miliardi di euro all'anno). Sebbene le peculiarità naturali del territorio italiano (caratteristiche geologiche, geomorfologiche meteorologiche e climatiche) 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 e incerta la stima della variazione di occorrenza e magnitudo dei fenomeni di dissesto a causa dei cambiamenti climatici. Negli ultimi tempi si è notato che i cambiamenti climatici stanno causando un aumento delle portate e dei volumi di piena lungo i principali corsi d'acqua del nostro paese. Queste anomalie di portate e volumi di piena si manifestano attraverso precipitazioni più intense e concentrate, che portano a piene improvvise e rapide soprattutto in bacini di piccole e medie dimensioni (fenomeno noto come *flash flood*). Inoltre, nelle aree urbane si sta registrando un significativo aumento sia della forza che della frequenza delle alluvioni urbane (conosciute come *pluvial floods*). Quest'ultimo fenomeno si manifesta principalmente a causa di un'incapacità del sistema di drenaggio di gestire e smaltire rapidamente grandi quantità di acqua piovana.

L'elevata vulnerabilità del nostro paese è ben rappresentata dai dati dell'ultimo Rapporto ISPRA sul "*Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*": quasi il 94% dei comuni italiani è a rischio per frane, alluvioni e/o erosione costiera e oltre 8 milioni di persone abitano nelle aree ad elevata pericolosità. Nel 2021, oltre 540mila famiglie e 1.300.000 abitanti vivono in zone a rischio frana mentre sono circa 3 milioni di famiglie e quasi 7 milioni gli abitanti residenti in aree a rischio alluvione. Le regioni con i valori più elevati di popolazione che vive nelle aree a rischio frane e alluvioni sono nell'ordine Emilia-Romagna, Toscana, Campania, Veneto, Lombardia e Liguria (ISPRA, 2021⁹⁴). Dal momento che queste valutazioni si riferiscono allo scenario attuale, e non sono già calibrate rispetto agli scenari climatici futuri, va tenuta presente l'eventualità che l'incremento degli eventi meteorologici estremi, previsto per i

⁹⁴ ISPRA (2021). Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021, ISPRA.

prossimi decenni a causa dei cambiamenti climatici, possa determinare una modifica delle aree a pericolosità.

Fermo restando che i fenomeni di dissesto geologico, idrologico e idraulico traggono origine da diversi fattori (es. caratteristiche geologiche e morfologiche dei versanti e/o dei bacini idrografici, urbanizzazione, copertura vegetale, ecc.), come già descritto in precedenza, in molti casi un ruolo determinante è svolto dalle precipitazioni: tra gli innumerevoli accadimenti occorsi sul territorio italiano si menzionano, a questo proposito, quelli che più recentemente hanno colpito il Trentino-Alto Adige (agosto 2022), Senigallia (settembre 2022), Maratea (ottobre 2022) e Ischia (novembre 2022) con perdita di vite umane, danni a beni mobili e immobili, al patrimonio culturale, a infrastrutture e servizi, blackout energetici. Molti dei recenti esempi citati hanno visto il coinvolgimento del suolo, ossia la coltre più superficiale costituita da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi. Essendo praticamente assenti dati sperimentali e una rete di monitoraggio adeguata a valutare la perdita di suolo per l'erosione idrica, si ricorre comunemente a modelli che utilizzano fattori legati alle caratteristiche dei suoli, al clima, alla vegetazione, all'uso del suolo e alla forma del paesaggio. L'entità della perdita di suolo stimata a livello europeo tramite il modello RUSLE (Panagos et al., 2015⁹⁵), evidenzia negli Stati Membri valori medi di 2,46 tonnellate/ettaro * anno pari a 970 milioni di tonnellate di suolo persi annualmente. L'Italia con una media di 8.77 tonnellate/ettaro * anno presenta i valori maggiori, particolarmente concentrati nelle zone agricole collinari e nelle aree a bassa copertura vegetale (Fig. 13).

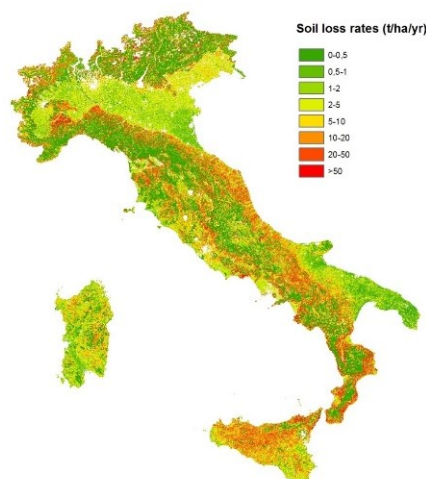


Fig. 13 - Stima della perdita di suolo per erosione idrica espressa in tonnellate/ettaro*anno (Fonte: JRC-IES)

Dal momento che l'impatto del cambiamento climatico sul rischio geologico, idrologico e 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, ciò comporterà una variazione di frequenza dei fenomeni di dissesto idraulico nei bacini di estensione minore, dei fenomeni franosi superficiali e profondi in terreni caratterizzati da coltri di spessore ridotto e/o elevata permeabilità. La degradazione del permafrost potrà manifestarsi in modo differente a seconda dei substrati interessati, delle condizioni morfologiche dei versanti e delle pareti rocciose e delle possibili interferenze con infrastrutture antropiche. È atteso un incremento dei fenomeni di dissesto connessi ai crolli/ribaltamenti in roccia, a colate detritiche e altri fenomeni superficiali, oltre a variazioni nelle caratteristiche idrogeologiche dei versanti di alta quota, con impatti

⁹⁵ 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.

talvolta significativi sulle caratteristiche quantitative e qualitative delle acque superficiali. La frequenza delle piene fluviali sarà maggiormente impattata nei bacini a permeabilità ridotta che rispondono più velocemente alle sollecitazioni meteoriche e hanno ridotto effetto attenuante nei confronti delle precipitazioni di breve durata e forte intensità. L'urbanizzazione e l'uso del suolo possono avere un impatto negativo, contribuendo all'aggravarsi dei fenomeni di dissesto.

3.6.2 Degrado del territorio

Il degrado del suolo è una riduzione della capacità produttiva biologica della risorsa suolo. Spesso, tale processo è indissolubilmente legato alla perdita di biodiversità e agli impatti dei cambiamenti climatici. La Commissione Statistica delle Nazioni Unite ha definito l'indicatore 15.3.1 per il monitoraggio del target 15.3 degli SDGs come "percentuale di aree degradate del territorio nazionale", basandosi sulla metodologia usata dalla Convenzione delle Nazioni Unite contro la Desertificazione (UNCCD), organismo internazionale di riferimento per quanto riguarda il target 15.3. Seppure l'approccio migliore sia ancora oggetto di dibattito scientifico, l'UNCCD (2021) raccomanda a questo scopo l'utilizzo combinato di tre sotto-indicatori: la copertura del suolo e suoi cambiamenti nel tempo, la produttività del suolo, il contenuto in carbonio organico (*Soil Organic Carbon*, SOC), lasciando la possibilità di integrare altri sotto indicatori specifici a livello di singolo paese.

Il degrado è valutato analizzando la variazione dei sotto-indicatori considerando come riferimento temporale una baseline (2000-2015) e un periodo di reporting (2016-2019). Le valutazioni effettuate a livello italiano ricalcano la metodologia proposta in ambito internazionale cercando di utilizzare e valorizzare anche dati nazionali e comunitarie in sostituzione di dataset globali di minor dettaglio. L'indicatore finale riassume le informazioni relative alla baseline e al periodo di reporting secondo la metodologia proposta dall'UNCCD per il calcolo dell'SDG 15.3.1. Per l'Italia il calcolo finale al 2019, considerando l'apporto del degrado di baseline (2000-2015) e di periodo di reporting (2016-2019) combinati, stima il degrado per il livello nazionale al 17,0%. Limitandosi alla sola parte di degrado appare evidente la diversa condizione di isole e centro rispetto alle altre ripartizioni. La Sardegna e il Lazio sono le regioni che registrano la maggior parte del proprio territorio in condizioni di degrado (rispettivamente 29,9% e 29,4%), mentre la Sicilia è la regione con la superficie degradata maggiore in termini assoluti con 1,87 milioni di ettari, di poco superiore al territorio degradato in Piemonte (1,82 milioni di ettari). La Sardegna, secondo l'indicatore SDG, è quella con la percentuale maggiore (28,1%) seguita da Emilia-Romagna (23,5%) e Campania (20,8%) (Fig. 14). Nel periodo di reporting sono stati aggiunti altri fattori di degrado (oltre a quelli standard: copertura del suolo, produttività e contenuto in carbonio organico) in parte legati al consumo di suolo (perdita di qualità degli habitat, frammentazione, aree di impatto potenziale, densità delle coperture artificiali, incremento degli spazi naturali di dimensioni inferiori a 1.000 m² e aree percorse da incendi), fenomeno particolarmente rilevante nel contesto italiano.



Fig. 14 – Aree degradate durante i periodi di baseline (2000-2015) e periodo di reporting (2016-2019) secondo la metodologia di calcolo SDG 15.3.1

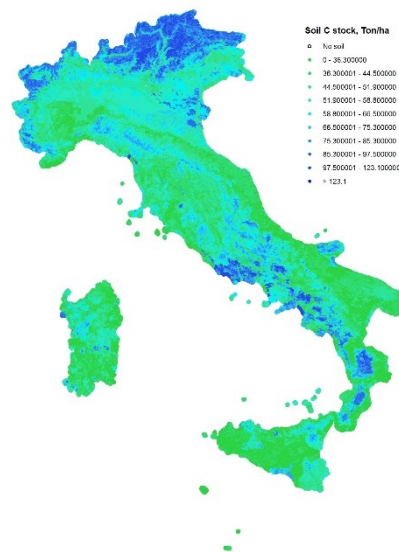


Fig. 15 – Contenuto in carbonio organico nei livelli più superficiali dei suoli italiani (0-30 cm). Fonte: CREA, CNR, Università di Foggia; Università Mediterranea di Reggio Calabria, ARPAV, ARSSA Calabria, Consorzio Lamma, Regione Toscana, ERSA-FVG, ERSAF Lombardia, IPLA, ISPRA, Regione Campania, Regione Emilia-Romagna, Regione Liguria, Regione Marche, Regione Puglia, Regione Siciliana.

La diminuzione del contenuto di Carbonio Organico nel Suolo (Soil Organic Carbon, SOC) è una delle principali minacce per il suolo riconosciuta oramai in tutti i documenti ufficiali a livello europeo (7° Programma di Azione Ambientale, New Green Deal, strategia tematica per il suolo, strategia per la biodiversità, ecc.). L'elaborazione nazionale realizzata nell'ambito delle attività della Global Soil Partnership (FAO, 2018⁹⁶) mostra un accumulo complessivo di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo pari a 1.67 Pg; Sicilia, Sardegna, Valle d'Aosta e Puglia sono le regioni dove sono presenti mediamente i suoli più poveri di carbonio con le aree agricole (vigneti, frutteti e oliveti) le più penalizzate da un punto di vista di carbonio stoccato, contrariamente alle aree boscate caratterizzate dai contenuti più alti (Fig. 15).

Il rischio di salinizzazione e l'accumulo di sodio in eccesso è considerato una delle maggiori minacce per i suoli agricoli italiani (Dazzi, 2008⁹⁷). Il fenomeno è dovuto principalmente alle acque ricche in sali o salmastre utilizzate per l'irrigazione ed è particolarmente evidente lungo le fasce costiere (Dazzi & Lo Papa, 2013⁹⁸). In queste aree l'eccessivo sfruttamento delle falde, dovuto a prelievi di quantitativi d'acqua superiore agli apporti di acqua dolce, provoca l'intrusione del cuneo salino con effetti che si possono riscontrare per chilometri nell'entroterra delle pianure fluviali come nel caso del sud della Sardegna (Castrignanò et al., 2008⁹⁹). Attorno al Delta del Po e più a nord, fino alle zone limitrofe alla laguna di Venezia, vaste aree sono state nel secolo scorso bonificate per scopi agricoli. Il livello dell'acqua è qui

⁹⁶ FAO (2018). Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap). Technical report.

⁹⁷ Dazzi, C. (2008). La salinizzazione. In Di Fabbio A. & Fumanti F., eds. Il suolo, la radice della vita, pp. 52–53. APAT, Roma.

⁹⁸ Dazzi, C. & Lo Papa, G. (2013). Soil Threats. In E.A.C. Costantini & C. Dazzi, eds. The Soils of Italy, pp. 205–245. World Soils Book Series. Dordrecht, Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5642-7_8.

⁹⁹ Castrignanò A., Buttafuoco G., Canu A., Zucca C. (2008). Modelling spatial uncertainty of soil erodibility factor using joint stochastic simulation. Land Degradation and Development 19(2):198-213, DOI:10.1002/ldr.836.

strettamente regolato da canali e stazioni di pompaggio (Vittori Antisari et al., 2020¹⁰⁰; Buscaroli e Zannoni, 2010¹⁰¹; Teatini et al., 2007¹⁰²) e l'intrusione di acqua marina lungo fiumi, canali e nelle falde acquifere è aggravata da fenomeni di subsidenza (Teatini et al., 2005¹⁰³). Problemi di salinizzazione sono ben noti anche in Sicilia (Dazzi and Fierotti, 1996¹⁰⁴), sia nelle aree interne che in quelle costiere. Qui la salinità dei suoli è anche legata alla natura geologica del substrato caratterizzato dalla formazione gessoso-solfifera che contribuisce ad arricchire in sali le acque utilizzate nell'irrigazione di aree agricole (Dazzi and Lo Papa, 2013¹⁰⁵, Selvaggi et al., 2010¹⁰⁶). Altre litologie in grado di aumentare la salinità dei suoli sono i depositi marini del plio-pleistocene largamente diffusi sia in Sicilia che nel resto della penisola. 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 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, con 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. La sostanza organica nei suoli agricoli e forestali potrà subire una riduzione dovuta all'alterazione del regime termico e pluviometrico. Le alterazioni del contenuto di sostanza organica potranno contribuire, insieme ad altri fattori, all'abbandono delle aree collinari e di montagna congiuntamente a fenomeni di sovra-sfruttamento dei suoli e delle acque nelle zone pianeggianti potranno incrementare il rischio di desertificazione e degrado. Il progressivo abbandono di attività agricole in zone collinari e montane, la conseguente espansione della vegetazione arbustiva, la diminuzione della fertilità dei suoli e l'aumento del rischio di incendio soprattutto quando associato all'aumento della frequenza degli eventi siccitosi sono fenomeni concomitanti che fortemente contribuiscono a determinare situazioni di degrado estremo. Parallelamente all'abbandono delle aree collinari e montane si potrà intensificare l'uso e l'urbanizzazione delle aree pianeggianti con conseguente impermeabilizzazione di suoli. Infine, nelle zone di pianura derivanti da bonifica per drenaggio, la fertilità dei suoli organici sarà minacciata dalla mineralizzazione di C organico dovuta all'inedito stato di ossidazione, che comporterà una riduzione della capacità di resilienza oltre che emissioni imponenti di CO₂.

¹⁰⁰ Vittori Antisari, L., Speranza, M., Ferronato, C., De Feudis, M., Vianello, G. & Falsone, G. (2020). Assessment of Water Quality and Soil Salinity in the Agricultural Coastal Plain (Ravenna, North Italy). *Minerals*, 10(4): 369.

<https://doi.org/10.3390/min10040369>.

¹⁰¹ Buscaroli, A. & Zannoni, D. (2010). Influence of ground water on soil salinity in the San Vitale Pinewood (Ravenna - Italy). *Agrochimica*, 54: 303–320.

¹⁰² Teatini, P., Strozzi, T., Tosi, L., Wegmüller, U., Werner, C. & Carbognin, L. (2007). Assessing short and long-time displacements in the Venice coastland by synthetic aperture radar interferometric point target analysis. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 112(F1).

¹⁰³ Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., Bertoni, W. (2005). A century of land subsidence in Ravenna, Italy. *Environmental Earth Sciences* 47(6):831–846. DOI:10.1007/s00254-004-1215-9.

¹⁰⁴ Dazzi C., Fierotti G. (1996). Problems and management of salt-affected soils in Sicily – in *Soil Salinization and Alkalization in Europe*. N. Misopolinos & I Szabolcs (Edts). European Society for Soil Conservation. Thessaloniki – Greece, pp. 129–137.

¹⁰⁵ Dazzi, C. & Lo Papa, G. (2013). *Soil Threats*. In E.A.C. Costantini & C. Dazzi, eds. *The Soils of Italy*, pp. 205–245. World Soils Book Series. Dordrecht, Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5642-7_8.

¹⁰⁶ Selvaggi, R., Colonna, N., Lupia, F., Murgia, M. S., Poletti, A. (2010). Water quality and soil natural salinity in the southern Imera Basin (Sicily, Italy). *Ital. J. Agron./Riv. Agron.*, 2010, 3 Suppl. 81–89.

3.7 Ecosistemi terrestri

Il clima è il fattore ambientale che ha maggior influenza sui sistemi naturali, determinandone dinamica, struttura, composizione e produttività. In virtù di questo ruolo, il cambiamento climatico contribuisce massicciamente all'attuale crisi della biodiversità.

Per quanto riguarda la fauna terrestre, sono stati documentati numerosi impatti dovuti ai cambiamenti climatici le cui conseguenze potrebbero determinare un generale declino di alcune popolazioni, variazioni dei cicli fenologici, modificazione degli areali di distribuzione (con specie termofile in espansione verso nord e verso altitudini più elevate; mentre specie di habitat freddi possono subire una contrazione), alterazioni delle normali interazioni ecologiche tra specie, con una possibile espansione di specie vettrici di agenti patogeni e con invasioni di specie aliene che potrebbero trovare, nelle mutate condizioni climatiche, ambienti ideali. Inoltre, il funzionamento degli ecosistemi è compromesso dallo sfasamento dei cicli biologici di specie interconnesse e da modifiche di composizione delle comunità.

L'Italia ha una grande ricchezza in termini di specie animali, con un'elevata incidenza di specie endemiche: la fauna italiana è stimata in oltre 58.000 specie, di cui circa 55.000 di invertebrati e 1.812 di protozoi, che insieme rappresentano circa il 98% della ricchezza di specie totale, nonché 1.258 specie di vertebrati, che rappresentano il 2%. Se si considerano anche le sottospecie, il numero totale arriva a circa 60.000 taxa. Il phylum più ricco è quello degli artropodi, con oltre 46.000 specie, in buona parte appartenenti alla classe degli insetti.

I principali effetti dei cambiamenti climatici sulla fauna sono legati a:

- 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, ma nel complesso gli scenari prospettati dai vari autori sono negativi. Per alcune specie di alta quota, ad esempio, ci possono essere effetti positivi per quanto riguarda la sopravvivenza nel periodo invernale o il successo riproduttivo grazie allo scongelamento precoce della neve in primavera, e negativi per l'incremento delle precipitazioni nel periodo estivo e il ritardato inizio delle nevicate autunnali che hanno un impatto sulla sopravvivenza, con saldo complessivo negativo che si traduce in declino delle popolazioni (Imperio et al., 2013, Viterbi et al. 2015). L'aumento della temperatura ha effetti sulla fisiologia di alcune specie anfibie soprattutto per quelle specie più vulnerabili rispetto ai cambiamenti del clima e potrebbe rappresentare un elemento selettivo per la variabilità intraspecifica che potrebbe quindi condizionarne gli esiti.
- modifiche sul ciclo di vita: il ciclo vitale di numerose 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. In particolare, diverse attività (riproduzione, schiusa di uova, successo riproduttivo) sono regolate da questi eventi che possono a loro volta determinare impatti negativi. Uno degli effetti più evidenti è l'anticipo nella tempistica di migrazione primaverile degli uccelli, importante per giungere a destinazione nel momento di massima disponibilità delle risorse (Jonzén et al., 2006¹⁰⁷). Tale risposta adattativa non è stata adottata allo stesso modo da tutte le specie di uccelli migratori, ed è stato dimostrato che un mancato anticipo della migrazione si traduce in una bassa

¹⁰⁷ Jonzen, N., Linden, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J. O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C. Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenstrom, J., Lehtikoinen, A., Edvardsen, E., Solvang, R., Stenseth, N. C. (2006). Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science*. 312(5782):1959-61. doi: 10.1126/science.1126119.

resilienza delle popolazioni ai cambiamenti climatici con effetti negativi sul loro stato di conservazione (Møller et al., 2008¹⁰⁸).

- modifiche nella distribuzione delle specie: diversi studi hanno confermato che lo spostamento della distribuzione delle specie (compresi molti taxa presenti in Europa) è consistente con le variazioni previste dai cambiamenti climatici (Parmesan and Yohe, 2003¹⁰⁹; Hickling et al., 2006¹¹⁰). Thomas (2010¹¹¹) conclude che per più della metà (forse due terzi delle specie di fauna terrestre considerate) si è già evidenziata una variazione dei confini degli areali riferibile al riscaldamento globale di origine antropica avvenuto tra 1970 e 2000. Tali spostamenti sono diretti verso le zone con condizioni climatiche più favorevoli, vale a dire, principalmente verso altitudini e latitudini maggiori. Parmesan & Yohe (2003) hanno stimato, uno spostamento medio di 6,1 km verso nord (o 6,1 m verso quote superiori) ogni dieci anni, a livello globale. Le 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, gli autori attribuiscono tale dinamismo dell'areale proprio alle modificazioni a scala locale del clima (Tizzani et al., 2013¹¹²). Modificazioni dell'habitat e attività antropiche possono concorrere in maniera negativa con il cambiamento climatico portando ad una riduzione degli areali di distribuzione delle specie (Chamberlain et al. 2016¹¹³, Brambilla et al. 2016¹¹⁴).

Il territorio italiano è caratterizzato da un elevato grado di biodiversità vegetale, grazie alla sua estensione sia latitudinale (con tre differenti regioni biogeografiche: alpina, continentale, mediterranea), sia altitudinale (dall'orizzonte basale a quello nivale). Tra le regioni biogeografiche italiane, gli impatti dei recenti cambiamenti climatici sono stati finora più evidenti principalmente nella regione alpina e in maniera meno accentuata (ma anche meno documentata) in quella mediterranea: i due estremi del gradiente climatico e altitudinale italiano.

¹⁰⁸ Møller, A. P., Rubolini, D., Lehikoinen, E. (2008). Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Biological sciences*, <https://doi.org/10.1073/pnas.0803825105>.

¹⁰⁹ Parmesan, C., Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.

¹¹⁰ Hickling, R., Roy, D.B., Hill, J.K., Fox, R., Thomas, C. D. (2006). *The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards*. *Global Change Biology*, 12, 450-455.

¹¹¹ Thomas, C. D. (2010). Climate, climate change and range boundaries. *Diversity and Distributions*, A Journal of Conservation Biogeography, <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00642.x>.

¹¹² Tizzani, P., Boano, G., Mosso, M., Pelazza, M., Carolfi, S., Ferra, M., Marletta, N., Pio, G., Pellegrino, I., Meneguz, P. G., Silvano, F., Negri, E., Spanò, S. (2013). *Recent distribution of red-legged partridge Alectoris rufa in Piedmont (North Western Italy): signs of recent spreading*. *Avocetta* 37: 83-86.

¹¹³ Chamberlain, D. E., Pedrini, P., Brambilla, M., Rolando, A., Girardello, M. (2016). Identifying key conservation threats to Alpine birds through expert knowledge. *The Open Access journal for Life and Environment research*, doi: [10.7717/peerj.1723](https://doi.org/10.7717/peerj.1723).

¹¹⁴ Brambilla, M., Pedrini, P., Rolando, A., Chamberlain, D. E. (2016). Climate change will increase the potential conflict between skiing and high-elevation bird species in the Alps. *Journal of Biogeography*, <https://doi.org/10.1111/jbi.12796>.

La flora italiana è tra le più ricche in Europa con 3.913 entità di piante non vascolari, di cui 302 Epatiche e Antocerote, 907 Muschi (Aleffi et al., 2020¹¹⁵) e 2.704 Licheni (Nimis and Martellos, 2018¹¹⁶), e con 8.237 entità di piante vascolari (Bartolucci et al., 2021¹¹⁷)

I principali effetti dei cambiamenti climatici sono legati a:

- modifiche di fisiologia, produttività e abbondanza: 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 la risposta fisiologica e fenologica delle piante a livello di specie (Reyer et al. 2013¹¹⁸). Nella regione biogeografica alpina si possono osservare maggiormente gli impatti dei cambiamenti climatici su fisiologia e produttività degli ecosistemi. Essi sono evidenti in ambienti particolarmente sensibili come ad esempio le vallette nivali, che sono molto vulnerabili a causa della prevista diminuzione dell'entità e della permanenza delle precipitazioni nevose. In questi habitat estremi, infatti, la ricchezza di specie, la densità e la produzione primaria variano in funzione delle condizioni d'innevamento (Carbognani et al., 2012¹¹⁹). In ambito mediterraneo, il riscaldamento dell'ambiente influenza la crescita delle piante inducendo variazioni dei tassi di fotosintesi, perdite respiratorie di CO₂ e incremento della fotorespirazione.
- modifiche sul ciclo di vita: uno dei più diffusi ed evidenti impatti dei cambiamenti climatici sul ciclo vitale delle piante riguarda l'anticipo di alcune fenofasi, come ad esempio 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. 2015¹²⁰). Alcune variabili climatiche rappresentative del regime termico, idrotermico ed idrogeologico 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.

modifiche nella distribuzione delle specie: tra i principali impatti osservati dei cambiamenti climatici sulla distribuzione delle specie nella regione biogeografica alpina vi sono: la migrazione delle specie alpine e di specie arbustive verso quote superiori (Pauli et al., 2012¹²¹; Cannone et al., 2007¹²²), la risalita di specie arboree con conseguente innalzamento dei limiti della vegetazione arborea (Leonelli et al., 2011¹²³), la variazione della composizione floristica, l'estensione degli schemi di distribuzione spaziale (pattern) delle

¹¹⁵ Aleffi, M., Tacchi, R., Poponessi, S. (2020). *New Checklist of the Bryophytes of Italy*. Cryptogamie, Bryologie 41 (13): 147-195. <https://doi.org/10.5252/cryptogamie-bryologie2020v41a13>.

¹¹⁶ Nimis P. L., Martellos S., Spitale D., Nascimbene J. (2018). Exploring patterns of commonness and rarity in lichens: a case study from Italy (Southern Europe). *The Lichenologist*, Volume 50, Issue 3, May 2018, pp. 385 – 396, doiDOI: <https://doi.org/10.1017/S0024282917000731>.

¹¹⁷ Bartolucci, F., Galasso, G., Peruzzi, L., Conti, F. (2021). Report 2020 on plant biodiversity in Italy: native and alien vascular flora. *Natural History Sciences. Atti Soc. it. Sci. nat. Museo civ. Stor. nat. Milano*, 8 (1): 41-54, 2021. DOI: 10.4081/nhs.2021.520.

¹¹⁸ Reyher, C.P.O., 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.

¹¹⁹ Carbognani, M., Petraglia, A., Tomaselli, M. (2012). Influence of snowmelt time on species richness, density and production in a late snowbed community. *Acta Oecologica*, 43, 113-120.

¹²⁰ 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.

¹²¹ Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336(6079):353-5, doiDOI: [10.1126/science.1219033](https://doi.org/10.1126/science.1219033).

¹²² Cannone, N., Sgorbati, S., Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology*, 5, 360-364.

¹²³ Leonelli, G., Pelfini, M., Morra di Cella, U., Garavaglia, V. (2011). *Climate warming and the recent treeline shift in the European Alps: the role of geomorphological factors in high-altitude sites*. *Ambio*, 40, 264-273.

comunità vegetali (Erschbamer et al., 2011¹²⁴) e infine l'accelerazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul dinamismo e sui processi di colonizzazione delle specie (Cannone et al., 2008¹²⁵). Tali cambiamenti, in combinazione con i trend previsti per i cambiamenti climatici, potranno avere come conseguenza una crescente perdita di biodiversità e un maggiore rischio di estinzione per molte specie nel prossimo futuro.

3.8 Specie alloctone

Le specie alloctone invasive rappresentano oggi una delle principali minacce alla biodiversità e il numero di specie introdotte in tutti i continenti è ancora in crescita senza che ci siano ancora segnali di saturazione (Seebens et al., 2017¹²⁶); un recente studio stima che in Europa entro il 2050 vi sarà un incremento del 64% nel numero di specie alloctone (Seebens et al., 2020¹²⁷). L'Italia conta oggi il più alto numero di specie alloctone in Europa con quasi 3500 specie presenti sul territorio nazionale, un tasso di introduzione di circa 13 specie/annue nel decennio appena trascorso ed un aumento di oltre il 500% di nuove specie alloctone introdotte negli ultimi 120 anni (ISPRA, 2022¹²⁸).

La comunità scientifica concorda nella valutazione che i cambiamenti climatici aggraveranno l'impatto negativo delle specie alloctone invasive, con effetti su molteplici ambiti (es. biodiversità, salute umana e animale), e settori produttivi (es. agricoltura e silvicoltura, delle foreste, pesca commerciale, acquacoltura, trasporti) di cruciale importanza anche per il nostro paese (Hulme, 2017¹²⁹).

Una prima valutazione globale dei potenziali impatti futuri delle invasioni biologiche sulla biodiversità (Essl et al., 2020¹³⁰) evidenzia come cambiamento climatico, commercio e sviluppo socioeconomico, rappresentino i 3 maggiori *drivers* delle future invasioni biologiche in tutti i contesti. In particolare, nelle nazioni sviluppate con climi temperati il *climate change* rappresenta il secondo *driver* più rilevante. Le implicazioni del cambiamento climatico per le invasioni biologiche sono molteplici e agiscono attraverso tre meccanismi principali (Robinson et al., 2020¹³¹): modificando la natura dei vettori di introduzione (aprendo per esempio nuove vie di accesso), alterando la natura abiotica dell'ambiente ricevente (rendendolo più vulnerabile) e modificando le interazioni biotiche nelle comunità riceventi. Mentre il primo di questi meccanismi agisce sulle fasi di trasporto e introduzione, i secondi due agiscono simultaneamente sulle fasi di insediamento e diffusione.

Per quanto concerne le nuove vie di introduzione, oltre il 90% del commercio mondiale è oggi movimentato dal trasporto marittimo (IMO 2019). Si prevede che questo vettore sarà influenzato dallo

¹²⁴ Erschbamer, B., Unteluggauer, P., Winkler, E., Mallaun, M. (2011). Changes in plant species diversity revealed by longterm monitoring on mountain summits in the Dolomites (northern Italy). *Preslia*, 83, 387-401.

¹²⁵ Cannone, N., Diolaiuti, G., Guglielmin, M., Smiraglia, C. (2008). Accelerating climate change impacts on alpine glacier forefield ecosystems in the European Alps. *Ecological Applications*, 18, 637-648.

¹²⁶ Seebens, H., Blackburn, T. M., Dyer, E. E., Genovesi, P., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Pagad, S., Pyšek, P., Winter, M., Arianoutsou, M., Bacher, S., Blasius, B., Brundu, G., Capinha, C., Celesti-Grapow, L., Dawson, W., Dullinger, S., Fuentes, N., Jäger, H., ... & Essl, F. (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8, 14435. <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>.

¹²⁷ Seebens, H., Bacher, S., Blackburn, T. M., Capinha, C., Dawson, W., Dullinger, S., ... & Essl, F. (2020). Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. *Global Change Biology*, 27(5), 970-982.

¹²⁸ ISPRA (2022). *Annuario dei Dati Ambientali 2021*.

¹²⁹ Hulme, P.E. (2017). Climate change and biological invasions: evidence, expectations, and response options. *Biological Reviews* 92.3: 1297-1313.

¹³⁰ Essl, F., Lenzner, B., Bacher, S., Bailey, S., Capinha, C., Daehler, C., ... & Roura-Pascual, N. (2020). Drivers of future alien species impacts: An expert-based assessment. *Global Change Biology*, 26(9), 4880-4893.

¹³¹ Robinson, T. B., Martin, N., Loureiro, T. G., Matikina, P., & Robertson, M. P. (2020). Double trouble: the implications of climate change for biological invasions.

scioglimento della calotta artica, un processo che aprirà nuove rotte di navigazione. Gli ambienti marini mediterranei risultano particolarmente esposti agli impatti dovuti alla diffusione delle specie alloctone a seguito dei cambiamenti climatici, in quanto il progressivo riscaldamento delle acque, oltre a favorire l'arrivo e l'espansione delle specie lessepsiane aumenta le potenzialità di stabilizzazione delle specie alloctone che arrivano da mari più caldi attraverso il traffico navale, sia commerciale che da diporto, e vengono introdotte in ambiente naturale con le acque di zavorra (ballast water) e le incrostazioni degli scafi (biofouling). Tali effetti sono stati recentemente messi in luce anche per il contesto marino nazionale (Azzurro et al., 2022¹³²; Ferrario et al., 2017¹³³).

Per quanto concerne la stabilizzazione e diffusione di specie aliene invasive, la maggior parte della letteratura indica che le specie alloctone invasive, grazie alla loro plasticità ecologica e la tolleranza ad un ampio range di temperature, saranno favorite o almeno non influenzate negativamente dai cambiamenti climatici, mentre le specie autoctone saranno svantaggiate (Vilà et al., 2007¹³⁴; Hellmann et al., 2008¹³⁵; Thuiller et al., 2008¹³⁶) anche a causa dello stress indotto dalle condizioni climatiche su queste ultime che spesso non sembrano essere in grado di rispondere con la dovuta velocità ai cambiamenti climatici (Corlett and Westcott, 2013¹³⁷). A tal riguardo un recente lavoro in ambito nazionale ha evidenziato come il cambiamento climatico sia in grado di favorire la dinamica espansiva di Robinia pseudoacacia a danno di specie arboree autoctone, con effetti indiretti anche sulla distribuzione delle specie epifite autoctone che si contrae per la perdita del substrato adatto (Nascimbene et al., 2020¹³⁸).

Un ulteriore effetto importante del cambiamento climatico è l'aumento della frequenza e dell'intensità di eventi estremi come siccità, inondazioni, tempeste e ondate di calore, in grado di trasportare specie alloctone invasive in nuove aree. L'arrivo e l'eventuale insediamento di nuove specie alloctone invasive riducono la resilienza degli habitat naturali, rendendoli più vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici: ad esempio, la presenza di alcune specie vegetali (arboree e arbustive) aliene invasive possono alterare in modo significativo i regimi di incendio, soprattutto nelle aree che stanno diventando più calde e secche, aumentando la frequenza e la gravità degli incendi (IUCN, 2021¹³⁹).

Anche gli effetti dei cambiamenti climatici sulla diffusione di specie alloctone in grado di veicolare malattie infettive (Gould and Higgs, 2009¹⁴⁰) trovano in Italia un esempio allarmante relativo alle zanzare del genere *Aedes*, attualmente presenti con tre specie (*A. albopictus*, *A. koreicus*, *A. japonicus*) che mostrano

¹³² Azzurro, E., Smeraldo, S. & D'Amen, M. (2022). Spatio-temporal dynamics of exotic fish species in the Mediterranean Sea: Over a century of invasion reconstructed. *Global Change Biology* 28.21: 6268-6279.

¹³³ Ferrario, J., Caronni, S., Occhipinti-Ambrogi, A. & Marchini, A. (2017). Role of commercial harbours and recreational marinas in the spread of non-indigenous fouling species, *Biofouling*, 33:8, 651-660, doi: [10.1080/08927014.2017.1351958](https://doi.org/10.1080/08927014.2017.1351958).

¹³⁴ Vilà, M., Corbin, J.D., Dukes, J.S., Pino, J. & Smith, S.D. (2007). Linking plant invasions to global environmental change. In Canadell, J., Pataki, D. & Pitelka L. (eds) *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer-Verlag, New York. Pages 93–102.

¹³⁵ Hellmann, J.J., Byers, J.E., Bierwagen, B.G. & Dukes, J.S. (2008), Five Potential Consequences of Climate Change for Invasive Species. *Conservation Biology*, 22: 534-543.

¹³⁶ Thuiller, W., Richardson, D.M. & Midgley, G.F. (2008). Will climate change promote alien plant invasions? In: Nentwig, W. (eds) *Biological Invasions*. Ecological Studies, vol 193. Springer, Berlin, Heidelberg, pag.197-211. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2_12.

¹³⁷ Corlett, R.T. & Westcott D.A. (2013). Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution* 28.8: 482-488.

¹³⁸ Nascimbene, J., Benesperi, R., Casazza, G., Chiarucci, A. & Giordani, P. (2020). Range shifts of native and invasive trees exacerbate the impact of climate change on epiphyte distribution: The case of lung lichen and black locust in Italy. *Science of The Total Environment*, Volume 735, 139537, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139537>.

¹³⁹ IUCN (2021). Invasive alien species and climate change. Issue Brief IUCN (International Union for Conservation of Nature) <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/invasive-alien-species-and-climate-change>.

¹⁴⁰ Gould, E.A. & Higgs, S. (2009). Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 130(2), 109-121.

preoccupanti dinamiche espansive e capacità di insediamento anche in aree che un tempo sarebbero state climaticamente inospitali (Negri et al., 2021¹⁴¹).

3.9 Foreste

L'Italia è particolarmente ricca di foreste: oltre un terzo della superficie nazionale è coperta da boschi. A partire già dal secondo dopoguerra la superficie forestale italiana ha avuto una graduale e continua espansione: da 8.675.100 ha del 1985 si è passati a 10.982.013 ha del 2015, con un incremento pari al 27% in totale, che corrisponde però a una superficie triplicata negli ultimi sessanta anni, principalmente a seguito del progressivo spopolamento delle aree montane e dell'abbandono delle pratiche agrosilvopastorali.

La risposta degli ecosistemi forestali ai cambiamenti climatici si sta traducendo, e sempre più in futuro, in un'alterazione dei tassi di crescita e della produttività (Sabaté et al., 2002¹⁴²; Rodolfi et al., 2007¹⁴³; Giuggiola et al., 2010¹⁴⁴; Lindner et al., 2010¹⁴⁵; Bertini et al., 2011¹⁴⁶) e in cambiamenti nella distribuzione delle specie e shift altitudinali e latitudinali (Parolo and Rossi, 2008¹⁴⁷) 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.

Una delle principali minacce per il comparto forestale europeo e, in particolare, per l'Europa meridionale è quella degli incendi boschivi, indirettamente correlati ai cambiamenti climatici: in Italia le aree che storicamente hanno subito i danni più rilevanti in termini di superficie bruciata sono localizzate principalmente nella parte meridionale della penisola, nelle isole maggiori e nella fascia costiera ligure e toscana (Bacciu et al., 2014¹⁴⁸; Corpo forestale dello Stato 2015¹⁴⁹; Schmuck et al., 2015¹⁵⁰). Il fenomeno degli incendi boschivi in Italia, che tra l'altro contribuiscono all'emissione in atmosfera di quantità non trascurabili di anidride carbonica, presenta nel tempo un andamento altalenante: si osserva un periodo critico a metà degli anni Ottanta, cui sono seguiti anni in cui il livello del fenomeno si è mantenuto complessivamente elevato. Negli ultimi quattro decenni si è registrato un valore medio di superficie territoriale percorsa dal fuoco pari a 107.289 ha. L'anno 2017 è stato il più critico dell'ultimo decennio e tra quelli con i danni più gravi a partire dal 1980, per un totale di superficie percorsa dal fuoco pari a oltre 160.000 ha, con circa 8.000 eventi (Fig. 16).

¹⁴¹ Negri, A., Arnoldi, I., Brilli, M., Bandi, C., Gabrieli, P., & Epis, S. (2021). Evidence for the spread of the alien species *Aedes koreicus* in the Lombardy region, Italy. *Parasites & vectors*, 14(1), 1-6.

¹⁴² Sabaté S., Gracia C. A., Sánchez A. (2002). Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *For Ecol Manage* 162:23–37. doi: 10.1016/s0378-1127(02)00048-8.

¹⁴³ 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.

¹⁴⁴ Giuggiola, A., Kuster, T. M., Saha, S. (2010). Drought-induced mortality of Scots pines at the southern limits of its distribution in Europe: causes and consequences. *iForest - Biogeosciences For* 3:95–97. doi: 10.3832/for0542-003.

¹⁴⁵ 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.

¹⁴⁶ 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.

¹⁴⁷ 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.

¹⁴⁸ 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.

¹⁴⁹ Corpo forestale dello Stato (2015). Incendi boschivi 2015, dati di sintesi.

¹⁵⁰ 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.

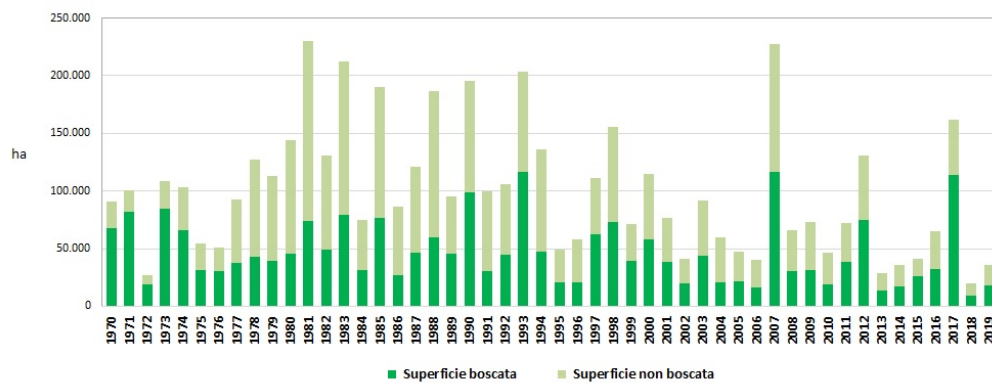


Fig. 16: Superficie boscata e non boscata percorsa dal fuoco (Fonte: CFS - Corpo Forestale dello Stato; CUFA - Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari dell'Arma dei Carabinieri)

I miglioramenti osservati in alcune annualità potrebbero essere imputabili anche a una maggiore prevenzione e un miglior controllo del territorio, oltre che a una maggiore tempestività nelle operazioni di intervento in caso di emergenza. I dati relativi alle cause confermano l'origine volontaria della maggior parte degli incendi, essendo oltre la metà di quelli totali registrati, arrivando anche a superare il 60% in alcuni anni.

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. In tema di minacce per il settore forestale derivanti dal cambiamento climatico, va necessariamente ricordato l'evento meteorologico estremo denominato "Tempesta Vaia" che ha interessato il nord-est italiano (area montana delle Dolomiti e delle Prealpi venete) tra il 26 e il 30 ottobre del 2018. Pur essendo denominato "tempesta", l'evento ha comportato venti che hanno raggiunto la velocità di uragano (100-200 km/h) provocando la caduta di decine di milioni di alberi (dato mai registrato in Italia in epoca recente) e la distruzione di decine di migliaia di ettari di foreste alpine di conifere: un vero e proprio disastro naturale con devastanti conseguenze ambientali, sociali ed economiche (danni stimati per la Regione più colpita, il Veneto, pari a quasi 2 miliardi di euro).

3.10 Agricoltura e produzione alimentare

L'agricoltura italiana, come quella di tutti i paesi dell'area mediterranea, è una delle più vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici a livello europeo. Nonostante l'adattamento al clima sia una caratteristica intrinseca del settore primario, la portata, l'incertezza e la velocità dei cambiamenti climatici in atto e attesi, rendono necessario un aumento della sua capacità adattiva, per ridurre gli impatti, ma anche per cogliere le opportunità offerte dalle mutate condizioni climatiche.

Per quanto riguarda gli impatti in corso, attualmente per il settore agricolo non sono disponibili indicatori utili, a scala nazionale, a valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura. A livello regionale, ad esempio, l'Emilia-Romagna ha sviluppato un indicatore finalizzato a quantificare l'impatto dei cambiamenti climatici relativo all'aumento della siccità sui sistemi agricoli: l'indicatore di deficit traspirativo¹⁵¹, calcolato come differenza tra traspirazione massima e traspirazione effettiva (SNPA, 2021). Esso è stato applicato per alcune colture agricole rappresentative dell'Emilia-Romagna come erba medica,

¹⁵¹ <http://climadat.isprambiente.it/>

mais, vite. Negli ultimi 60 anni (1961-2020) si evidenzia un aumento statisticamente significativo del valore massimo annuale di tale indice, cumulato negli ultimi 60 anni: ciò indica un incremento della siccità agricola, a breve (30 giorni) e medio termine (90 giorni). L'incremento più elevato nel deficit cumulato massimo è osservato per il mais che per i 30 giorni presenta un trend di 8 mm/decennio, rispetto all'erba medica e alla vite (5 mm/decennio), e per i 90 giorni un trend di 20 mm/decennio, rispetto ai 18 mm/decennio per l'erba medica e la vite.

Impatti economici negativi rilevanti possono derivare dagli effetti dei cambiamenti climatici sulle rese e sulla produzione agricola (Ronchi, 2019¹⁵²). La letteratura (EEA, 2016¹⁵³; Dominguez and Fellman, 2018¹⁵⁴; MATTM, 2017¹⁵⁵; Boere et al., 2019¹⁵⁶; Hristov et al., 2020¹⁵⁷) evidenzia un'alta variabilità nelle proiezioni delle rese dovuta sia alla diversa caratterizzazione delle precipitazioni nei modelli climatici che alle risposte dei modelli agrologici alle forzanti climatiche. Tuttavia, esistono chiare indicazioni di un deterioramento delle condizioni agro-climatiche in termini sia di aumento dello stress idrico che di riduzione della stagione di crescita in Europa centrale e del sud (Trnka Olesen et al., 2011¹⁵⁸; Hristov et al., 2020).

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., 2013a¹⁵⁹, Moriondo et al., 2013b¹⁶⁰). 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, 2007¹⁶¹; Lobell et al., 2011¹⁶²). 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.

¹⁵² Ronchi, E. (a cura di) (2019). Relazione sullo stato della green economy 2019, focus sugli impatti dei cambiamenti climatici in Italia, Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile REPORT.

¹⁵³ European Environment Agency (EEA) (2016). Climate change impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. Luxembourg. doi: 10.2800/534806.

¹⁵⁴ Domínguez, I. and Fellmann, T. (2018). PESETA III: Agro-economic analysis of climate change impacts in Europe Final Report. 10.2760/179780.

¹⁵⁵ MATTM (2017). Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, versione per la verifica di assoggettabilità a VAS. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

¹⁵⁶ Boere, E., Valin, H., Bodirsky, B. Baier, F., Balkovic, J., Batka, M., Folberth, C., Karstens, K., Kindermann, G., Krasovskii, A., Leclere, D., Wang, X., Weindl, I., Havlik, P., Lotze-Campen, H. (2019). D2.2 Impacts on agriculture including forestry & fishery. Deliverable of the H2020 COACCH project.

¹⁵⁷ Hristov, J., Toret, A., Pérez Domínguez, I., Dentener, F., Fellmann, T., Elleby, C., Ceglar, A., Fumagalli, D., Niemeyer, S., Cerrani, I., Panarello, L., Bratu, M. (2020). Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050, EUR 30078EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-7610617-3, doi:10.2760/121115, JRC119632.

¹⁵⁸ Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B. et al. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Glob. Change Biol.* 17, pp. 2298-2318.

¹⁵⁹ 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.

¹⁶⁰ 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.

¹⁶¹ Lobell, D.B., Field, C.B. (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.

¹⁶² Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333:616–620. doi: 10.1126/science.1204531.

rispetto alle specie C4 (es. mais, sorgo, miglio, ecc.) (Qian et al., 2010¹⁶³). 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.

Le riduzioni attese nelle rese sono stimate portare ad una riduzione del valore della produzione aggregata pari a 12.5 miliardi di euro nel 2050 in uno scenario compatibile con l'RCP 2.6 che potrebbero aumentare fino a 30 miliardi nell'RCP 8.5 (McCallum et al., 2013¹⁶⁴). Il danno, soprattutto alle produzioni pregiate, potrebbe inoltre portare ad una progressiva perdita di valore fondiario dei terreni agricoli. Le stime variano tra un deprezzamento dell'1–11% nell'RCP 4.5, al 4-16% nell'RCP 8.5 a fine secolo (Bozzola et al., 2018¹⁶⁵). Van Passel et al. (2017¹⁶⁶) riportano stime ancora più pessimistiche di una perdita di valore del 10% dei valori fondiari per grado di aumento della temperatura (MIMS, 2022¹⁶⁷).

Il cambiamento climatico rappresenta un fattore di rischio anche per il bestiame allevato, con conseguenze che possono riguardare il benessere e la produttività (Notenbaert et al., 2017¹⁶⁸). 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. 2016¹⁶⁹). Ulteriori impatti indiretti possono distinguersi tra impatti su allevamenti estensivi (prevalentemente associati alla disponibilità foraggera e alla qualità degli alimenti a causa di probabili riduzioni 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) o intensivi (associati 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.

¹⁶³ 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.

¹⁶⁴ McCallum, S., Dworak, T., Prutsch, A., Kent, N., Mysiak, J., Bosello, F., Klostermann, J., Dlugolecki, A., Williams, E., Konig, M., Leitner, M., Miller, K., Harley, M., Smithers, R., Berglund, M., Glas, N., Romanovska, L., van de Sandt, K., Bachschmidt, R., Voller, S., Horrocks, L. (2013). Support to the development of the EU Strategy for Adaptation to Climate Change: Background to the Impact Assessment, Part I - Problem definition, policy context and assessment of policy options. Environment Agency Austria, Vienna.

¹⁶⁵ Bozzola, M., Massetti, E., Mendelsohn R., and Capitanio F. (2018). A Ricardian analysis of the impact of climate change on Italian agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 45(1): 57-79. <https://doi.org/10.1093/erae/jbx023>.

¹⁶⁶ Van Passel, S., Massetti, E., Mendelsohn R. (2017). A Ricardian analysis of the impact of climate change on the European agriculture. *Environmental and Resource Economics*, 67: 725-760.

¹⁶⁷ MIMS (2022). Cambiamenti climatici infrastrutture e mobilità.

¹⁶⁸ Notenbaert, A.M.O., Cardoso, J.A., 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.

¹⁶⁹ Kipling, R.P., Bannink, A., Bellocchi, G. et al (2016). *Modeling European ruminant production systems: Facing the challenges of climate change*. *Agric. Syst.* 147:24–37.

3.11 Pesca marittima

Complessivamente il settore ittico nazionale esprime circa 73.400 operatori (incluso l'indotto) e contribuisce a 2.3 Mld di Valore aggiunto Lordo, rappresentando uno dei settori di maggior rilievo della *blue economy* a livello italiano (EC, 2022). La pesca in particolare impiega circa 23000 operatori diretti e possiede, oltre a un'elevata importanza socioeconomica, una notevole importanza in termini storici, culturali e di gestione dell'ambiente marino.

La pesca, dipendendo dalla produttività degli ecosistemi e dalla consistenza e distribuzione delle risorse sfruttate, è soggetta agli effetti che i cambiamenti climatici hanno in forma diretta ed indiretta sulla componente biologica. Gli effetti sulle risorse sfruttate dalla pesca e la relativa vulnerabilità del settore ittico sono esacerbati dallo stato di sovrasfruttamento degli stock. Infatti, circa il 70% degli stock ittici nazionali è sovrasfruttato (ISPRA, 2022a in stampa¹⁷⁰), con un tasso medio di prelievo superiore al doppio del massimo rendimento sostenibile (ISPRA, 2022b, in stampa). Questi dati allarmanti sono in linea con le recenti valutazioni dello stato delle risorse condotte per l'intero Mediterraneo dalla Commissione Generale della Pesca del Mediterraneo (FAO, 2022). I dati relativi al settore della pesca italiana hanno anche dimostrato gli effetti severi della pandemia COVID-19 sulla produzione ittica di interesse commerciale, scesa da circa 180.000 tonnellate del 2018 a circa 120.000 del 2020 (FAO, 2022).

Recentemente, in accordo con gli obiettivi definiti dalla UE per la propria Politica Comune di Pesca (PCP, Reg. UE n. 1380/2013) un ulteriore impulso alla riduzione dello sforzo di pesca sulla base di norme comunitarie e piani di gestione pluriennali sta determinando una riduzione consistente del prelievo.

Come descritto nel paragrafo su "Ambienti marini: biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici" il riscaldamento degli oceani è attualmente considerato una delle principali forzanti che causano cambiamenti nella struttura delle comunità marine (Portner e Peck 2010¹⁷¹). I cambiamenti climatici influenzano le specie marine in termini di distribuzione geografica e batimetrica, tassi di crescita, periodo riproduttivo, taglia di maturità, reclutamento e mortalità (Pecl et al., 2014¹⁷²). Pertanto, tali cambiamenti influenzano i servizi ecosistemici forniti dal mare, come la pesca (Gamito et al., 2015¹⁷³).

Sempre a causa del riscaldamento degli oceani si sta determinando uno spostamento geografico delle specie marine più sensibili alla temperatura (Cheung et al., 2010¹⁷⁴). Le specie marine a sangue freddo sono infatti caratterizzate da una temperatura preferenziale dell'ambiente in cui vivono legata alle proprie caratteristiche fisiologiche. Ogni specie presenta quindi una distribuzione geografica compatibile con le proprie esigenze termiche. Nelle zone temperate, come il Mediterraneo, il riscaldamento delle acque si traduce principalmente in un'espansione verso Nord delle specie ad affinità calda. Le comunità ittiche risentono della cosiddetta "meridionalizzazione" (Azzurro et al., 2011¹⁷⁵) e "tropicalizzazione" (Bianchi, 2007), vale a dire un aumento delle specie di acque più calde rispetto a quelle di acque più fredde, e l'aumento di specie non indigene termofile, rispettivamente. Cambia quindi la composizione delle catture

¹⁷⁰ ISPRA (2022). Annuario dei Dati Ambientali 2021.

¹⁷¹ Portner, H. O. and Peck, A. (2010). Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *Fish Biology*, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x>.

¹⁷² Pecl, G., Ward, T. M., Doubleday, Z. A., Clarke, S. M. (2014). Rapid assessment of fisheries species sensitivity to climate change. *Climatic Change* 127(3), DOI:10.1007/s10584-014-1284-z.

¹⁷³ Gamito, R., Costa, M. J., Cabral, H. (2015). Fisheries in a warming ocean: trends in fish catches in the large marine ecosystems of the world. *Regional Environmental Change* 15(1):57-65.

¹⁷⁴ Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D., & Pauly, D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16(1), 24–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x>.

¹⁷⁵ Azzurro, E., Moschella, P., Maynou, F. (2011). Tracking Signals of Change in Mediterranean Fish Diversity Based on Local Ecological Knowledge. *PLoS ONE* 6(9): e24885. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024885>.

della pesca (Tsikliras et al., 2014¹⁷⁶), e questo può portare a cambiamenti nell'intensità e nella distribuzione spaziale dello sforzo di pesca (Haynie and Pfeiffer, 2012¹⁷⁷).

Questo fenomeno è descritto da un indicatore noto nella letteratura scientifica come “*Mean Temperature of the Catch (MTC)*” (Cheung et al., 2013¹⁷⁸), che rappresenta l’affinità termica media delle catture della pesca commerciale. Questo indicatore permette di descrivere nel tempo l’aumento relativo delle specie ad affinità calda rispetto a quelle ad affinità fredda nella composizione del pescato, come conseguenza del riscaldamento dei mari. L’indicatore evidenzia come le catture della pesca commerciale stiano cambiando a livello globale in termini di composizione specifica (Cheung et al., 2013). Si tratta di un fenomeno osservato anche per le catture della pesca delle flotte italiane tra il 1972 e il 2012 (Fortibuoni et al., 2015¹⁷⁹).

Nel 2021, l’indicatore MTC è stato incluso nell’Annuario dei Dati Ambientali (ISPRA, 2022), e presenta una tendenza significativamente positiva in tutte e tre le divisioni FAO in cui sono suddivisi i mari italiani. Nel Mar di Sardegna e Ionio si è registrato un aumento della temperatura media delle catture di quasi 2 °C da inizio (1987-1996) a fine (2009-2018) serie storica, ad un tasso di circa 0,07 °C l’anno. Nel Mar Adriatico, l’aumento dal primo periodo della serie storica ad oggi è stato di 1 °C, con un incremento annuo di 0,046 °C. Nei mari italiani è quindi in corso un processo di meridionalizzazione delle catture della pesca commerciale (Fig. 17).

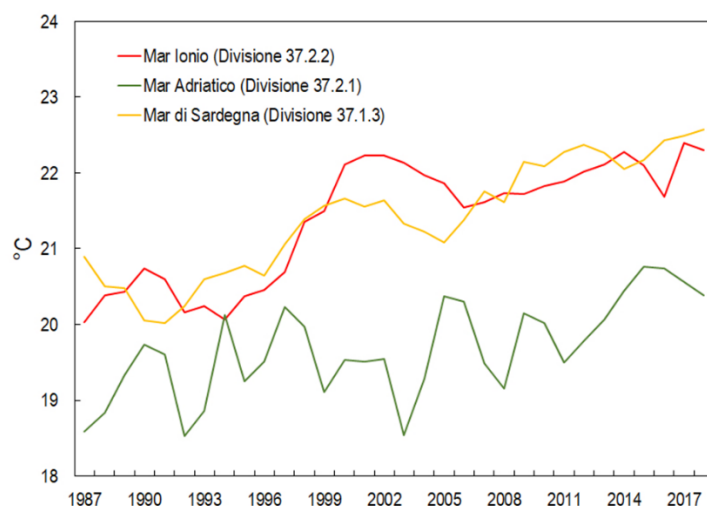


Fig. 17 - Andamento annuale dell'indicatore noto in letteratura come Mean Temperature of the Catch (MTC) che rappresenta l’affinità termica media delle catture della pesca commerciale delle flotte italiane nelle tre divisioni FAO in cui sono suddivisi i mari italiani. (Fonte: FAO-GFCM. 2021. Fishery and Aquaculture Statistics. GFCM capture production 1970-2018 (FishStatJ))¹⁸⁰.

¹⁷⁶ Tsikliras, A. C., & Stergiou, K. I. (2014). Mean temperature of the catch increases quickly in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 515, 281–284. <https://doi.org/10.3354/meps11005>.

¹⁷⁷ Haynie, A. C., Pfeiffer, L. (2012). Why economics matters for understanding the effects of climate change on fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 69, Issue 7, September 2012, Pages 1160–1167, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss021>.

¹⁷⁸ Cheung, W., Watson, R., Oaully, D. (2013). Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature* 497(7449):365-8, DOI: [10.1038/nature12156](https://doi.org/10.1038/nature12156).

¹⁷⁹ Fortibuoni, T., Aldighieri, F., Giovanardi, O., Pranovi, F. (2015). Climate impact on Italian fisheries (Mediterranean Sea). *Regional Environmental Change* 15(5) DOI:10.1007/s10113-015-0781-6.

¹⁸⁰ FAO Fisheries and Aquaculture Division [online]. Rome. Updated 2021. www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en. Cheung WWL, Watson R, Pauly D (2013) Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature* 497: 365–369. doi: 10.1038/nature12156.

Si evidenzia come l'aumento annuo dell'MTC in Adriatico sia quasi la metà rispetto alle altre due aree. Questo minore incremento potrebbe essere determinato dal fatto che l'Adriatico è il bacino più settentrionale e più freddo del Mediterraneo, ed entro certi limiti di aumento della temperatura del mare si ipotizza possa fungere da rifugio per le specie ad affinità fredda (Ben Rais Lasram et al., 2010¹⁸¹). Tale ipotesi, secondo la quale entro il 2050 l'Adriatico potrebbe fungere da "cul-de-sac" per le specie ad affinità fredda (Ben Rais Lasram et al., 2010), potrà essere validata solo con un'estensione temporale della serie di dati e ulteriori analisi.

Oltre al riscaldamento del mare, altri fattori legati ai cambiamenti climatici possono avere un impatto rilevante sulla pesca, in particolare l'aumento della frequenza ed intensità degli eventi meteorologici estremi e i cambiamenti nella stratificazione verticale della colonna d'acqua (Hidalgo et al., 2022¹⁸²). I maggiori impatti dell'aumento di temperatura sul biota marino non riguardano tanto le temperature superficiali quanto la stratificazione termica della colonna d'acqua. Lo strato riscaldato diventa sempre più ampio, il termoclino si approfondisce e questo può causare morie di massa di organismi che non sopportano le alte temperature estive e che hanno sviluppato popolazioni adattate a vivere sotto la profondità media del termoclino estivo (Rivetti et al., 2014¹⁸³). La maggiore stratificazione delle acque marine, inoltre, determina un rallentamento del flusso dagli strati inferiori dei nutrienti, in particolare fosfati e nitrati, che sono necessari alla produzione primaria (Patti et al., 2022¹⁸⁴). Il minore afflusso dei nutrienti nella zona fotica comporta un aumento delle attività microbiche e una catena trofica caratterizzata da organismi planctonici di taglie inferiori (Lazzari et al., 2014¹⁸⁵), con possibili effetti a cascata sulla rete trofica (Garzke et al., 2014¹⁸⁶). 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 (e.g., Darnaude et al., 2004¹⁸⁷), si registra una contrazione della produttività primaria a causa del calo delle precipitazioni e quindi della portata dei fiumi (Gualdi et al., 2009¹⁸⁸). Inoltre, uno sfasamento del picco stagionale delle precipitazioni comporta l'arrivo dei nutrienti in stagioni nelle quali le alte o basse temperature possono essere un fattore limitante per gli organismi fitoplanctonici, causando un'ulteriore diminuzione della produttività primaria (Cossarini et al., 2008).

¹⁸¹ Ben Rais Lasram, F., Guilhaumon, F., Albouy, C., Somot, S., Thuiller, W., & Mouillot, D. (2010). The Mediterranean Sea as a 'cul-de-sac' for endemic fishes facing climate change. *Global Change Biology*, 16(12), 3233–3245.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02224.x>.

¹⁸² Hidalgo, M., El-Hawet, A. E., Tsikliras, A. C., Tirasin, E. M., Fortibuoni, T., Ronchi, F., Lauria, V., Ben Abdallah, O., Arneri, E., Ceriola, L., Milone, N., Lelli, S., Hernández, P., Bernal, M., & Vasconcellos, M. (2022). Risks and adaptation options for the Mediterranean fisheries in the face of multiple climate change drivers and impacts. *ICES Journal of Marine Science*, October.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac185>.

¹⁸³ 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.

¹⁸⁴ Patti, B., Fiorentino, F., Fortibuoni, T., Somarakis, S., & García-Lafuente, J. (2022). Editorial: Impacts of environmental variability related to climate change on biological resources in the Mediterranean. *Frontiers in Marine Science*, 9(October), 1–4.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1059424>.

¹⁸⁵ Lazzari P., Mattia G., Solidoro C., Salon S., Crise A., Zavatarelli M., Oddo P., Vichi M. (2014). The impacts of climate change and environmental management policies on the trophic regimes in the Mediterranean Sea: scenario analyses. *Journal of marine systems*, Vol. 135, July 2014, Pages 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.06.005>.

¹⁸⁶ Garzke J., Ismar S. M. H., Sommer U. (2014). Global warming decreases copepod size and abundance: climate change affects low trophic level marine consumers. Conference Paper, doi:10.13140/2.1.3472.6087.

¹⁸⁷ Darnaude, A.M., Salen-Picard, C., Polunin, N.V.C. et al. (2004). Trophodynamic linkage between river runoff and coastal fishery yield elucidated by stable isotope data in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oecologia* 138, 325–332 (2004).
<https://doi.org/10.1007/s00442-003-1457-3>.

¹⁸⁸ Gualdi S., Giorgi F., Navarra A. (2009). Le proiezioni del clima future nell'area dell'Euro-Mediterraneo negli scenari globali e regionali. I cambiamenti climatici in Italia: vulnerabilità e impatti, eds Castellari S., Artale V., Bologna, Ed. Bionomia University Press, pp 47-80.

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 (nonché, in modesta misura, da aree extra-nazionali nell'ambito del Mediterraneo).

3.12 Acquacoltura

L'acquacoltura ha strette relazioni con gli ambienti e gli ecosistemi di acque interne, di transizione e marini ed è considerata tra i settori socioeconomici più vulnerabili ai cambiamenti climatici (Collins, 2020¹⁸⁹; Falconer et al., 2022¹⁹⁰; IPCC, 2014¹⁹¹). La valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici è resa complessa dalla diversificazione dei sistemi produttivi, delle tecnologie adottate, delle specie, della localizzazione geografica, delle caratteristiche ambientali del territorio, e dalla possibile combinazione di più fattori d'impatto. Altri fattori socioeconomici, demografici, tecnologici e di governance possono interagire con i fattori climatici e concorrere nel determinare impatti sull'ambiente e la sostenibilità dell'acquacoltura (Castellari et al., 2014¹⁹²).

Le attuali strategie e normative ambientali a livello comunitario e nazionale nell'ambito dell'adattamento ai cambiamenti climatici, della pianificazione spaziale marittima, della transizione verde e della blue economy, promuovono lo sviluppo dell'acquacoltura nell'area Mediterranea e un'attenta valutazione degli effetti che i cambiamenti climatici possono avere sullo sviluppo del settore. Nel 2020 l'acquacoltura italiana ha rappresentato il 50% del settore ittico nazionale, con un volume di produzione di 122.760 tonnellate, di cui 74.990 t di molluschi (61%) e 47.770 t di pesci (39%), per un valore complessivo di 392 milioni di euro (Donadelli & Chiesa, 2022). Le attività d'allevamento di pesci e molluschi in Italia sono 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 (Marino et al., 2020¹⁹³). Cinque regioni (Veneto, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Puglia, Sardegna) ospitano il 71% degli impianti di acquacoltura; Emilia-Romagna, Veneto e Friuli sono i principali poli di produzione e insieme a Marche e Toscana coprono il 69% della produzione Nazionale (Donadelli & Chiesa, 2022).

Dall'analisi settoriale, la molluschicoltura appare il comparto più vulnerabile poiché sottoposto ad un maggior numero di pressioni e impatti. Tale criticità è legata al fatto che la maggior parte delle attività di molluschicoltura (numero di impianti e volumi di produzione), si concentrano per naturale vocazione del territorio lungo le zone costiere e lagunari del Mar Adriatico (es. Emilia Romagna e Veneto), aree particolarmente esposte ai cambiamenti climatici.

¹⁸⁹ Collins, C., Bresnan, E., Brown, L., Falconer, L., Guilder, J., Jones, L., Kennerley, A., Malham, S., Murray A. and Stanley, M. (2020). Impacts of climate change on aquaculture. MCCIP Science Review 2020, 482–520.

¹⁹⁰ Falconer (2022). Impact of climate change on farm-level aquaculture production and carrying capacity.

¹⁹¹ IPCC (2014). Quinto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici, Working Group II, Assessment Report V.

¹⁹² 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.

¹⁹³ Marino G., Petochi T., Cardia F. (2020). "Assegnazione di Zone Marine per l'Acquacoltura (AZA). Guida Tecnica", 214 p., Documenti Tecnici ISPRA 2020.

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulla molluschicoltura italiana potranno riguardare diversi aspetti, quali: i) la riduzione delle performance delle specie allevate; ii) i cambiamenti nel ciclo riproduttivo delle specie, con conseguente riduzione del reclutamento naturale e della disponibilità di seme; iii) le condizioni di stress, insorgenza di malattie, eventi di mortalità per le condizioni ambientali mutate e/o sfavorevoli; iv) gli episodi di contaminazione legata alla qualità delle acque; v) i danni alle infrastrutture e perdita di materiale biologico legate agli eventi meteo-marini estremi.

Oltre alla molluschicoltura, anche la piscicoltura estensiva è un comparto vulnerabile ai cambiamenti climatici. Questa forma di allevamento tradizionale è infatti condotta in ambienti vallivi e lagunari, particolarmente esposti all'innalzamento del livello del mare, ad ondate di calore o freddo e condizioni di stress idrico. Per la piscicoltura marina, in particolare se localizzata in aree offshore, il maggiore impatto sarà determinato dall'aumento della frequenza degli eventi meteo marini estremi.

La piscicoltura d'acqua dolce, in particolare la troticoltura, sviluppata soprattutto nel Nord-Est (Veneto e Friuli-Venezia Giulia) è un importante comparto produttivo (33.774 ton), soggetta a impatti significativi dei cambiamenti climatici, per l'innalzamento della temperatura, la riduzione della quantità e qualità delle acque disponibili per gli impianti di allevamento, con conseguenze sulle performance produttive e sulla salute delle specie allevate.

L'acquacoltura, inoltre, rispetto agli altri sistemi di produzione alimentare, è quello caratterizzato dalla migliore impronta ecologica e con minor rilevanza nelle emissioni di gas serra, legate alla produzione dei mangimi e al consumo di energia elettrica. La molluschicoltura in particolare fornisce numerosi servizi ecosistemici di controllo e regolazione, tra i quali il sequestro di carbonio dall'ambiente con conseguente mitigazione degli impatti delle emissioni.

Sebbene le conoscenze disponibili riguardo agli impatti dei cambiamenti climatici sulle attività di acquacoltura consentano di effettuare alcune previsioni e valutazioni sui possibili effetti sulla fisiologia delle specie allevate, sulla disponibilità di siti idonei di allevamento, sui rischi per la salute animale e pubblica e la sostenibilità economica del comparto, implementare le conoscenze relative alla vulnerabilità dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici rappresenta una priorità.

È necessario acquisire conoscenze più puntuali e dettagliate degli effetti dei cambiamenti climatici sulle diverse specie oggetto d'allevamento (biologia, ecologia, genetica e salute), attraverso test sperimentali, sviluppo di modelli previsionali e indicatori specifici; sulla possibilità di selezionare specie/strain tolleranti alle condizioni indotte dai cambiamenti climatici; e sviluppare metodi (analisi di rischio) per l'analisi della vulnerabilità dei diversi sistemi produttivi presenti sul territorio nazionale. Inoltre, è necessario implementare i sistemi di monitoraggio anche attraverso l'utilizzo di dati satellitari e di sistemi di raccolta dati relativi alle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche dei corpi idrici.

La Fig. 18 mostra l'analisi su base geografica della vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi produttivi in acquacoltura (Castellari et al., 2014).

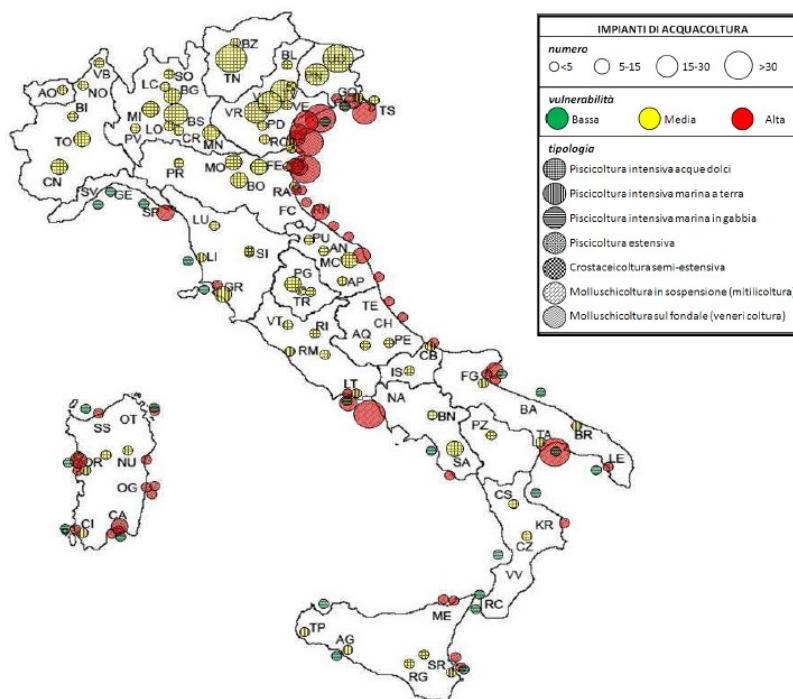


Fig. 18 - Vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi produttivi italiani in acquacoltura

3.13 Turismo

L'Italia rappresenta una delle destinazioni preferite dal turismo internazionale. Il turismo balneare genera la maggior parte delle presenze: secondo la recente classificazione dei comuni in base alla densità turistica, i comuni a vocazione marittima e con vocazione culturale, storica, artistica e paesaggistica accolgono circa il 20% delle presenze turistiche, seguono sia le grandi città tipiche di un turismo multidimensionale che accolgono il 19,7% delle presenze turistiche e sia i comuni con vocazione prettamente marittima (19,6%).

Nel 2021 si è avviata la ripresa del settore turistico nel nostro paese, dopo l'eccezionale contrazione del "pandemico" 2020, quando l'incidenza del comparto sul valore aggiunto totale a prezzi correnti era scesa al 4,5 per cento, dal 6,2 nel 2019. Le entrate turistiche in Italia sono state pari all'1,2% del PIL nel 2021, appena al di sotto della media della UE (Banca d'Italia, ISTAT).

Questa situazione è però destinata a cambiare in conseguenza dei cambiamenti climatici dal momento che il settore turistico è particolarmente sensibile alle caratteristiche meteorologiche e di comfort climatico, soprattutto nel caso di turismo balneare e montano.

Gli impatti principali del cambiamento climatico sul turismo in Italia sono collegabili ad una possibile perdita di attrattiva del clima mediterraneo che diverrebbe "troppo caldo" o instabile (ondate di caldo, eventi estremi), alla riduzione dei giorni di copertura nevosa nelle tipiche destinazioni del turismo invernale, all'erosione delle coste ed eventi meteorologici estremi che mettono a rischio le infrastrutture turistiche balneari e non (Ronchi, 2019¹⁹⁴).

Sono attesi, quindi, effetti diretti e indiretti. Per quanto riguarda i primi si prevede uno spostamento delle mete di viaggio 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

¹⁹⁴ Ronchi, E. (a cura di) (2019). Relazione sullo stato della green economy 2019, focus sugli impatti dei cambiamenti climatici in Italia, Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile REPORT.

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. A livello provinciale italiano, tuttavia, il fenomeno non sarà uniforme, ma varierà a seconda della diversa popolarità internazionale delle varie località e si presenterà in particolare nelle province costiere.

McCallum et al (2013¹⁹⁵) riportano alcune stime delle possibili variazioni dei flussi turistici basati sulla semplice variazione delle condizioni di comfort termico associato alle temperature future. In uno scenario di aumento della temperatura di 2°C, si stima una riduzione del 15% degli arrivi internazionali, del 21,6% in uno scenario di incremento di 4°C. Tenendo conto anche del comportamento dei turisti nazionali, l'impatto netto sulla domanda totale italiana risulta comunque in una contrazione del 6,6% e dell'8,9% con perdite dirette per il settore stimate in 17 e 52 miliardi di euro nei due scenari climatici, rispettivamente. Discorso a parte merita il segmento turistico invernale. Secondo l'OCSE (Abegg et al., 2007¹⁹⁶), già in caso di una variazione moderata di temperature (+1°C), nessuna delle stazioni sciistiche del Friuli Venezia-Giulia avrebbe una copertura nevosa naturale sufficiente a garantire la stagione. Lo stesso accadrebbe al 33%, 32% e 26% delle stazioni in Lombardia, Trentino e Piemonte, rispettivamente. Con un aumento di 4°C solo il 18% di tutte le stazioni operanti nel complesso dell'arco alpino italiano avrebbe una copertura nevosa naturale idonea a garantire la stagione invernale (Spano et al., 2020¹⁹⁷).

Per quanto riguarda gli impatti indiretti, la pressione antropica aumenterà 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 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).

¹⁹⁵ McCallum, S., Dworak, T., Prutsch, A., Kent, N., Mysiak, J., Bosello, F., Klostermann, J., Dlugolecki, A., Williams, E., König, M., Leitner, M., Miller, K., Harley, M., Smithers, R., Berglund, M., Glas, N., Romanovska, L., van de Sandt, K., Bachschmidt, R., Voller, S., Horrocks, L. (2013). Support to the development of the EU Strategy for Adaptation to Climate Change: Background to the Impact Assessment, Part I - Problem definition, policy context and assessment of policy options. Environment Agency Austria, Vienna.

¹⁹⁶ 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.

¹⁹⁷ Spano, D., Mereu, V., Bacciu, V., Marras, S., Trabucco, A., Adinolfi, M., Barbato, G., Bosello, F., Brei, I. M., Chiriaco, M. V., Coppini, G., Essenfelder, A., Galluccio, G., Lovato, T., Marzi, S., Masina, S., Mercogliano, P., Mysiak, J., Noce, S., Pal, J., Reder, A., Rianna, G., Rizzo, A., Santini, M., Sini, E., Staccione, A., Villani, V., Zavatarelli, M., (2020). Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia. DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO.

3.14 Insediamenti urbani

Gli insediamenti urbani sono determinanti in tema di cambiamenti climatici: se, da una parte, essi sono tra i principali responsabili delle emissioni di gas serra, contribuendo in modo sostanziale alle cause del problema, dall'altra le città sono particolarmente vulnerabili ed esposte agli effetti di un clima che cambia. Tra questi effetti si evidenziano gli eventi di precipitazione intense, eventi estremi di temperature, incremento dei periodi di siccità, innalzamento del livello del mare. Nello specifico, l'incremento delle temperature globali e le alterazioni dei modelli di precipitazione hanno portato a un aumento degli eventi di precipitazione intensa nelle aree urbane, noti come inondazioni pluviali o *pluvial flood*. Questi fenomeni sono caratterizzati da eventi di precipitazione che superano la capacità di assorbimento e drenaggio del terreno e dei sistemi di raccolta urbani. La variabilità e magnitudo del fenomeno dipendono dal fatto che le città sono caratterizzate da un'elevata inter- e intra-specifica eterogeneità, che contribuisce all'accentuazione degli effetti delle inondazioni pluviali, e di conseguenza non solo differenze topografiche e morfologiche, ma anche demografiche e socioeconomiche possono influenzare la gravità degli impatti. È importante sottolineare come il cambiamento climatico aggravi ulteriormente queste criticità pregresse (Spano et al, 2020¹⁹⁸). Affrontare le inondazioni pluviali richiede un'azione integrata e coordinata. È necessario adottare approcci di progettazione urbana che tengano conto della gestione delle acque piovane (ed esempio invarianza idraulica, laminazione), promuovendo la creazione di spazi verdi, la permeabilità del suolo e il corretto dimensionamento dei sistemi di drenaggio.

I processi di urbanizzazione avvenuti spesso in modo poco controllato nel corso dell'ultimo secolo, la sistematica impermeabilizzazione del suolo e l'artificializzazione dei corsi d'acqua, associati in molti casi a sistemi scolanti inadeguati, hanno contribuito ad aumentare il rischio da dissesto idrogeologico in ambito urbano: nel periodo 2015-2020 è di gran lunga Roma a far registrare il più elevato valore complessivo di impermeabilizzazione di aree naturali e seminaturali (circa 96 ha), seguita da Venezia e Bari unici capoluoghi di regione, oltre alla capitale, a superare i 20 ha nel quinquennio. Anche la scarsità di vegetazione, oltre all'abbondanza di superfici che trattengono calore, la densità e l'altezza degli edifici, intensificano la vulnerabilità all'aumento di temperatura e conseguentemente le ricadute negative sulla salute: nel periodo 2016-2020 sono ancora molto contenute le percentuali di superficie vegetata sulla superficie urbanizzata a Torino (29%), Napoli (34%), Milano e Cagliari (36%) (SNPA, 2022).

In termini di occorrenza dei fenomeni alluvionali e di allagamento (Fig. 19) la città di Milano, con più di 5 eventi, presenta un evidente problema di assetto idraulico delle acque sotterranee tombinate e/o incanalate, poiché è spesso interessata da fenomeni di esondazione "dal basso" conseguenti ad un inadeguato dimensionamento delle sezioni di deflusso di alcuni corsi d'acqua che la attraversano, quali il Lambro e il



Figura 1 – Numero di eventi alluvionali e di allagamento in area urbana, catalogati nel periodo 2000-2018.

Fig. 19 – Numero di eventi alluvionali e di allagamento in area urbana (2000-2018). (Fonte: SNPA, 2022)

¹⁹⁸ Spano, D., Mereu, V., Bacciu, V., Marras, S., Trabucco, A., Adinolfi, M., Barbato, G., Bosello, F., Breil, M., Chiriaco, M. V., Coppini, G., Essenfelder, A., Galluccio, G., Lovato, T., Marzi, S., Masina, S., Mercogliano, P., Mysiak, J., Noce, S., Pal, J., Reder, A., Rianna, G., Rizzo, A., Santini, M., Sini E., Staccione, A., Villani, V., Zavatarelli, M., (2020). Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia. DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO.

Seveso. La città di Genova (10 eventi) evidenzia problemi di assetto idrogeologico, esaltati dalle particolari caratteristiche di assetto geomorfologico dei suoi bacini principali, ma condizionati anche pesantemente dai lavori di modifica della naturalità degli alvei (es. tombamenti e tombinamenti) e di restringimento e/o impermeabilizzazione delle sezioni di deflusso dei torrenti, oltreché di insufficienza di alcune luci dei ponti posizionati in prossimità degli abitati a maggiore vulnerabilità. Messina (3 eventi), Catania (5 eventi) e la zona Apuana con Carrara (3 eventi) mostrano un'elevata pericolosità idrogeologica, connessa sia alle locali peculiari caratteristiche dell'assetto geomorfologico e idraulico, sia alle caratteristiche dell'urbanizzato, edificato spesso in punti critici della dinamica naturale. La città di Roma (5 eventi) palesa un'elevata pericolosità idrogeologica derivata da molti problemi indotti dall'assetto dell'urbanizzato (es. elevata presenza di superfici impermeabilizzate) negli ultimi decenni (Berti e Lucarini, 2021¹⁹⁹).

Altro importante tema, per le città italiane, è quello della gestione dell'acqua potabile all'interno della rete acquedottistica; la cronica inefficienza dell'infrastruttura idrica è caratterizzata da perdite totali nella rete di distribuzione in taluni comuni anche molto gravose con valori che nel 2018 superano il 50% a Catanzaro (57,8%), Campobasso (56,8%) e Cagliari (54,7%), tra i capoluoghi di regione. In generale, la carenza di investimenti nella rete idrica aumenta le inefficienze con prelievi di acqua potabile in aumento, anche a fronte di una richiesta in calo, accentuando la pressione della domanda sull'offerta e il conflitto tra usi alternativi (SNPA, 2022²⁰⁰).

A causa dell'“effetto di isola urbana di calore”, le persone che vivono in città sono esposte ad un rischio più elevato di morte quando le temperature e l'umidità sono elevate rispetto a chi vive in zone suburbane o rurali. L'esposizione a condizioni di disagio termico è infatti generalmente maggiore negli agglomerati urbani, in conseguenza delle caratteristiche dei materiali utilizzati (Sanchez Martinez et al., 2016). Gli studi sulla mortalità collegata alle ondate di calore hanno ampiamente dimostrato che le categorie di persone più vulnerabili sono gli anziani (Conti et al., 2005²⁰¹). A questi si aggiungono i bambini e i pazienti con patologie già in atto, ma anche persone con reddito pro capite basso, che vivono in condizioni economiche svantaggiate, e lavoratori che svolgono le loro attività all'aperto e sono quindi esposti per tempi prolungati ad alte temperature. Le elevate temperature e le ondate di calore che hanno interessato il nostro paese nel mese di giugno 2022 e nelle prime 2 settimane di luglio 2022 sono state associate ad un incremento di mortalità, soprattutto nelle regioni del centro sud maggiormente interessate per intensità e durata del fenomeno. Nel mese di giugno complessivamente nelle 33 città osservate l'incremento della mortalità stimato è del 9%, mentre nelle prime 2 settimane di luglio l'incremento è stato del 21% (+733 decessi in totale) (Ministero della Salute e DEP Lazio, 2022²⁰²).

Infine, sul fronte dell'innalzamento del livello del mare si menziona qui il caso di Venezia, cui si è già accennato sia nel Cap. 2 che nel paragrafo “Zone costiere” del Cap. 3. Come noto, il livello medio del mare a Venezia è in tendenziale aumento sin dall'inizio delle rilevazioni (1872). Nel corso dell'intero periodo la curva non ha però mostrato sempre una pendenza costante, con fasi caratterizzate da relativa stabilità o addirittura controtendenza (approssimativamente tra il 1915 e il 1925 e tra il 1965 e il 1995) e altre caratterizzate invece da una forte pendenza (tra gli anni '30/'60 e il periodo che va da metà anni '90 ad oggi). Se nel lungo periodo (1872-2021) il tasso di innalzamento del medio mare si attesta mediamente

¹⁹⁹ Berti, D., Lucarini, M. (2021). Eventi alluvionali e di allagamento in ambiente urbano: un possibile indicatore per analizzare gli effetti al suolo dei cambiamenti climatici. *Geologia dell'Ambiente*, n. 3/2021.

²⁰⁰ SNPA (2022). Città in transizione: i capoluoghi italiani verso la sostenibilità ambientale. Report SNPA n. 30/2022 – ISBN 978-88-448-1121-1.

²⁰¹ Conti, S. et al. (2005). Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy, *Environmental Research*, 98(3), pp. 390–399, doi: 10.1016/j.envres.2004.10.009.

²⁰² Ministero della Salute e DEP Lazio (2022). Risultati dei Sistemi di allarme (HHWWS), del Sistema Sorveglianza della Mortalità Giornaliera (SISMG) e degli accessi in Pronto Soccorso (PS) - Rapporto 16 maggio-15 luglio 2022.

sui 2,5 mm/anno, si ritiene opportuno porre in evidenza il tasso quasi raddoppiato nell'ultimo periodo. Dal 1993 al 2021 l'innalzamento del livello medio mare si è infatti attestato sui 4,7 mm/anno. Il ritmo di crescita ha subito un'ulteriore forte accelerazione nell'ultimo decennio tale per cui dal 2009 si sono registrati i valori massimi di livello medio del mare annuale dall'inizio delle registrazioni sistematiche della marea a Venezia (SNPA, 2021²⁰³ e successivi aggiornamenti e analisi ISPRA su dati mareografici validati ISPRA). Il 2019 verrà a lungo ricordato per il numero straordinario di eventi meteo-marini eccezionali che si sono susseguiti tra novembre e dicembre: a Venezia il picco raggiunto il 12 novembre (189 cm) rappresenta il secondo livello più alto dal 1872 e in una sola settimana (12-17 novembre) la marea ha superato per ben 4 volte il livello di 140 cm, registrando così livelli che entrano tra i primi 20 degli ultimi 150 anni. In tutto il 2019 il livello del mare ha superato per ben 28 volte i 110 cm, livello in cui si allaga il 12% della città di Venezia, con una permanenza complessiva pari a circa 50 ore nel solo mese di novembre. Numeri che superano ampiamente i valori massimi raggiunti nei 150 anni precedenti, pari a 18 eventi in un anno (2010) e 24 ore complessive di permanenza (2012) sopra i 110 cm. Nei tempi più recenti è stato messo in funzione il M.O.S.E., che consiste in 4 barriere costituite da 78 paratoie mobili tra loro indipendenti in grado di separare temporaneamente la laguna dal mare e di difendere Venezia sia dagli eventi di marea eccezionali e distruttivi, sia da quelli più frequenti. Quest'opera potrà proteggere Venezia e la laguna da maree alte fino a 3 metri e da un innalzamento del livello del mare fino a 60 cm nel prossimo secolo²⁰⁴).

3.15 Trasporti e infrastrutture

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. La stretta correlazione del settore dei trasporti e delle infrastrutture con la maggior parte degli altri settori è inevitabile: tra tutti il dissesto idrogeologico, l'aria, il sistema idrico, gli insediamenti urbani, l'industria, il turismo, l'energia. Costruire un'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.

Per il settore dei trasporti si stima che l'attuale impatto economico diretto associato agli eventi climatici estremi (0,15 miliardi di euro all'anno) potrebbe aumentare del 1900% circa entro il 2040-2070 (MIMS, 2022).

3.15.1 Trasporto terrestre

Le infrastrutture di trasporto terrestre comprendono le opere stradali e ferroviarie.

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: 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

²⁰³ SNPA (2021). Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA 21/2021 – ISBN: 978-88-448-1058-0.

²⁰⁴ <https://www.mosevenezia.eu/consorzio-venezia-nuova/>

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 oltre che nell'estremo sud. 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). Altri impatti ascrivibili all'aumento delle temperature sono l'eccessivo surriscaldamento delle componenti di segnalamento e di telecomunicazione che potrebbe ridurre l'affidabilità e generare malfunzionamenti (Ferranti et al., 2016²⁰⁵). 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. Esondazioni/inondazioni e allagamenti generano importanti impatti sulle infrastrutture di trasporto terrestre. In particolare, possiamo distinguere due fenomenologie principali di impatto: a) erosioni fluviali che possono portare a danni strutturali dovuti, per esempio, all'incremento delle spinte sulle opere geotecniche e sulle spalle dei ponti, b) scalzamento delle fondazioni di opere geotecniche e delle pile dei ponti. Esondazioni e intense precipitazioni possono inoltre causare l'allagamento temporaneo delle sedi stradali e ferroviarie e/o il loro danneggiamento dovuto allo scorrimento delle acque e il malfunzionamento/collasso dei sistemi di drenaggio (Nemry and Demirel, 2012²⁰⁶; UNECE, 2020²⁰⁷). Inoltre, precipitazioni intense localizzate su piccoli bacini possono generare impatti importanti sulle infrastrutture di trasporto a causa dell'elevato trasporto solido che può ostruire la sede stradale e ferroviaria.

La propagazione di incendi in prossimità delle infrastrutture terrestri generalmente causa una temporanea chiusura delle strade e ferrovie. In presenza di eventi particolarmente severi, il calore sprigionato da un incendio può compromettere parti dell'infrastruttura interessata (es., danni materiali a ponti stradali e ferroviari) e causare guasti ai sistemi di controllo e di monitoraggio o danneggiare la segnaletica stradale aumentando i costi di manutenzione necessari per gli interventi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite (Fraser et al., 2020²⁰⁸).

3.15.2 Trasporto aereo

Le ondate di calore tendono ad alterare le proprietà dei materiali costituenti le pavimentazioni delle piste di volo. In particolare, una temperatura elevata rende meno rigido e più viscoso il conglomerato bituminoso, aumentando la resistenza al rotolamento durante la corsa al decollo e all'atterraggio degli

²⁰⁵ Ferranti, E. et al. (2016). Heat-Related Failures on Southeast England's Railway Network: Insights and Implications for Heat Risk Management. *Weather Clim. Soc.* 8, 177-191.

²⁰⁶ Nemry, F. e Demirel, H. (2012). Impacts of climate change on transport: a focus on road and rail transport infrastructures. Publications Office of the European Union, 2012.

²⁰⁷ UNECE (2020). Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks.

²⁰⁸ Fraser, A. M., Chester, M. V. e Underwood, B. S. (2020). Wildfire risk, post-fire debris flows, and transportation infrastructure vulnerability. *Sustain. Resilient Infrastruct.* 0, 1-13.

aeromobili (Puempel and Williams, 2016²⁰⁹; Burbidge, 2016²¹⁰). Tale variazione si traduce in un maggior consumo di carburante. L'aumento della temperatura, inoltre, riduce la densità dell'aria, e di conseguenza anche la portanza, ovvero la forza che sostiene l'aeromobile in aria (Puempel and Williams, 2016; Burbidge, 2016). Per questo motivo le piste esistenti potrebbero diventare insufficienti per il decollo e l'atterraggio degli aeromobili a pieno carico. La presenza di ghiaccio sulle pavimentazioni in conseguenza di ondate di freddo riduce l'aderenza nelle fasi di decollo abortito e di atterraggio (ENAC, 2014²¹¹). Ciò è particolarmente pericoloso perché l'aereo potrebbe non avere a disposizione lo spazio sufficiente per frenare in sicurezza. Inoltre, la formazione di ghiaccio sulle ali degli aeromobili modifica la superficie delle ali stesse, diminuendo la portanza.

3.15.3 Trasporto navale e porti

Lungo le coste della penisola italiana (oltre 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. I fenomeni di inondazione costiera possono causare danni importanti alle infrastrutture di trasporto marittimo, fra cui: danni alle opere esterne (dighe foranee) ed interne portuali (banchine e terrapieni), interrimento dei porti, danni ai mezzi marittimi localizzati nei porti, fuori servizio delle infrastrutture portuali che, in caso in cui si verificano danni o fenomeni rilevanti di interrimento, possono prolungarsi nel tempo, fino al ripristino delle opere danneggiate, danni in generale alle infrastrutture interconnesse, quali centri urbani e vie di comunicazione, a causa soprattutto dell'erosione costiera. Il fenomeno dell'acidificazione degli oceani potrebbe portare ad una diminuzione dell'integrità delle infrastrutture portuali con un aumento del fenomeno di corrosione delle armature metalliche. Come già detto le ondate di calore tendono a modificare le caratteristiche dei materiali costituenti le pavimentazioni in conglomerato bituminoso che, nel caso dei porti, interessano i terminali marittimi e in particolare le aree in cui avviene la movimentazione e lo stoccaggio delle merci e lo scambio intermodale del trasporto (Ligteringen, 1999²¹²). Un aumento persistente di temperatura media dell'aria può influenzare il consumo del carburante delle navi, a causa della riduzione di efficienza dei sistemi di raffreddamento degli apparati di propulsione e il consumo energetico degli impianti di refrigerazione delle merci a bordo delle navi e nelle aree di stoccaggio come, ad esempio, per i contenitori refrigerati. Inoltre, nei porti i fenomeni di allagamento fluviale possono causare una serie di impatti quali il temporaneo fuori servizio dei terrapieni e dei terminali marittimi, danni agli impianti, alle pavimentazioni, ai mezzi di movimentazione delle merci, agli edifici e ai magazzini, e l'interrimento dei bacini portuali.

3.16 Industrie e infrastrutture pericolose

L'attività del settore industriale può essere impattata negativamente dai cambiamenti climatici attraverso lo stress infrastrutturale diretto o indiretto indotto da eventi estremi, dall'aumento di temperatura attraverso gli effetti negativi sulla produttività del lavoro, dalla scarsità e variabilità nella disponibilità di risorse idriche, fondamentali in molti processi produttivi, e soggette a costante competizione di domanda da parte di altri settori. Riguardo gli effetti relativi agli impatti sulle infrastrutture industriali, necessitano

²⁰⁹ Puempel, H. e Williams, P. D. (2016). The impacts of climate change on aviation: scientific challenges and adaptation pathways.

²¹⁰ Burbidge, R. (2016). Adapting European Airports to a Changing Climate. Transp. Res. Procedia 14, 14-23.

²¹¹ ENAC (2014). Criteri per la valutazione delle condizioni superficiali di una pista. ENAC <http://www.enac.gov.it/la-normativa/normativa-enac/circolari/serie-apt/apt-10b>.

²¹² Ligteringen, H. (1999). Ports and Terminals. Lect. Note CTwa4330.

una particolare attenzione le attività che utilizzano processi e sostanze classificate come “pericolose” (come in alcuni comparti della chimica), che, in caso di danni a seguito di eventi estremi, potrebbero causare significativi impatti negativi sulla salute e sull’ambiente.

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.

Vengono definiti NaTech gli eventi nei 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.

Gli eventi naturali che hanno colpito negli ultimi anni il nostro paese hanno causato decine di vittime e tra queste molti lavoratori, mettendo in evidenza l’elevata vulnerabilità delle attività produttive e del territorio in genere nei confronti dei rischi naturali. Diventa quindi ineludibile valutare la sicurezza dei luoghi di lavoro nei confronti dei rischi naturali e individuare precisi interventi di prevenzione e protezione che potrebbero ridurre l’impatto sulla salute e sull’ambiente di un evento NaTech²¹³.

3.17 Patrimonio culturale e paesaggio

La conoscenza dell’impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale in Italia si basa, innanzitutto, sull’identificazione dei parametri climatici prioritari che ne determinano il degrado sia in ambiente esterno (principalmente patrimonio architettonico, archeologico, 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 base alle conoscenze disponibili emerge il ruolo predominante dell’acqua come fattore di degrado diretto e indiretto dei materiali costituenti i beni culturali. Eventi estremi, sempre più frequenti come precipitazioni intense fino ad alluvioni e tempeste, sono responsabili di danni anche strutturali negli edifici storici, in particolare per quanto riguarda gli elementi ornamentali (guglie, pinnacoli, sculture, finiture, ecc.).

I modelli di previsione indicano che durante il XXI secolo la dissoluzione chimica dei materiali lapidei carbonatici sarà dovuta principalmente alle precipitazioni e all’aumento della concentrazione di 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 e soprattutto le isole maggiori, 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.

²¹³ <https://www.inail.it/cs/internet/home.html>

Con riferimento all'esposizione dei beni culturali al pericolo di frana è stata effettuata una stima intersecando le aree a pericolosità con i beni Culturali architettonici, monumentali e archeologici italiani del Sistema VIR – Vincoli in Rete del MiC (ISPRA, 2021²¹⁴). Secondo tale stima, i beni Culturali complessivi a rischio frane in Italia sono pari al 17,9% del totale (banca dati VIR al 7 giugno 2021) e rispetto alle classi di pericolosità elevata P3 e molto elevata P4 i beni Culturali esposti sono pari al 5,9%. Il numero più elevato di beni culturali a rischio frane in aree a pericolosità P3 e P4 si registra in Campania, Toscana, Marche, Emilia-Romagna e Lazio. In relazione alla pericolosità da alluvione, se si considerano i beni culturali ricadenti nella perimetrazione delle aree di rischio, le elaborazioni fornite da ISPRA identificano che la percentuale di beni che ricadono in aree a pericolosità elevata (HPH) raggiunge il 7,8% del totale nazionale (6,8% al 2017); quelli esposti a pericolosità media (MPH) sono il 16,5% (15,3% al 2017) e infine i beni culturali che rientrano in aree a pericolosità bassa (LPH) sono il 24,3% (19,4% al 2017) del totale nazionale (ISPRA, 2021²¹⁵).

Si evidenzia la necessità di porre particolare attenzione ai beni sottoposti a tutela ai sensi dell'art. 136 del Codice dei beni culturali e del paesaggio (D. Lgs. 42/2004), così come alle aree tutelate per legge ai sensi dell'art. 142 dello stesso Codice, rappresentando, i secondi, beni paesaggistici a tutti gli effetti. Inoltre, occorrerà prestare attenzione anche agli impatti dei cambiamenti climatici sui beni paesaggistici non sottoposti a tutela, in ottemperanza a quanto dettato dalla Convenzione europea del Paesaggio.

Il patrimonio culturale collocato invece sulle coste italiane è e sarà soggetto all'aumento dell'incidenza degli eventi estremi, all'innalzamento del livello del mare e ai fenomeni di erosione costiera con probabile perdita dei siti archeologici e dei complessi monumentali costieri. L'aumento degli eventi estremi potrebbe causare allagamenti soprattutto dei siti ipogei e dei centri storici. Le principali criticità correlate agli eventi climatici con effetti diretti sul patrimonio culturale, si possono riassumere come segue:

- aumento degli eventi estremi di piovosità e delle temperature che con l'alternarsi di bagnatura ed essiccazione dei suoli aumentano il rischio di cedimento del terreno ed accelerano il degrado delle strutture murarie;
- precipitazioni intense e frequenti che provocano una maggiore erosione dei siti archeologici e dannose inondazioni con effetti diretti sugli insediamenti storici;
- cambiamenti del regime idrologico e idrogeologico che mettono a rischio il patrimonio archeologico sepolto e gli insediamenti storici;
- cambiamenti nei modelli vegetazionali e correlato proliferare di specie invasive che minacciano l'integrità dei resti archeologici e dei paesaggi storici;
- aumento delle temperature che rende alcune piantagioni di specie arboree, storicamente autoctone, difficile da conservare;
- cambiamenti climatici con effetti sulla proliferazione di parassiti che minacciano l'integrità del patrimonio storico e dei paesaggi, in particolare in ambito agricolo;
- riduzione della copertura nevosa, ritiro dei ghiacciai che determinano dissesto e degrado del paesaggio;
- innalzamento del livello del mare e aumento delle tempeste che mettono in serio pericolo paesaggi storici, strutture, edifici e aree archeologiche nelle aree costiere;

²¹⁴ ISPRA (2021). Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021. Rapporto 356/2021. ISBN: 978-88-448-1085-6.

²¹⁵ ISPRA (2021). Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati. Rapporto 353/2021. ISBN: 978-88-448-1080-1.

- effetti legati al maladattamento, ovvero l'attuazione di particolari soluzioni che portano benefici in un settore, producendo allo stesso tempo effetti negativi su altri ambiti. Un caso emblematico è rappresentato dalla costruzione di nuove dighe per resistere all'innalzamento del livello del mare che determina alterazioni irreversibili del profilo storico-paesaggistico della zona costiera.

I cambiamenti climatici possono determinare profonde alterazioni del paesaggio e della sua morfologia che si possono manifestare come conseguenze dirette degli eventi estremi in termini di danni e perdite irreversibili di paesaggi ed edifici storici ma anche indirette attraverso gli impatti che avvengono sugli ecosistemi, sulle risorse naturali, sui sistemi economici, ecc. Ne sono alcuni esempi le trasformazioni in atto sugli ambienti alpini (es. riduzione o scomparsa dei ghiacciai, degradazione del permafrost, spostamento in quota dei limiti altitudinali delle fasce di vegetazione, variazione degli habitat, ecc.) o sulle zone costiere (tratti in erosione, perdita di zone umide o ambienti di transizione, ecc.) o quelle che riguardano gli ecosistemi terrestri (es. degrado suolo e desertificazione, perdita della biodiversità, portate fluviali in secca, estese aree percorse dagli incendi, versanti in dissesto idrogeologico, ecc.) o ancora le modificazioni che interessano alcuni settori economici come l'agricoltura (es. perdita di tipiche produzioni agricole) o gli insediamenti urbani (es. aree colpite da esondazioni, ecc.).

Per un'analisi degli impatti dei cambiamenti climatici sui fattori ambientali con ricadute indirette sul patrimonio culturale e sul paesaggio si rimanda ai paragrafi relativi a Risorse idriche, Degrado del territorio, Dissesto geologico e idraulico, Ecosistemi terrestri, Foreste, Agricoltura, Zone costiere.

3.18 Energia

La principale relazione tra cambiamenti climatici ed energia è inerente all'incremento della domanda di raffrescamento che determina un aumento dei consumi di energia elettrica nel periodo estivo, direttamente collegato all'innalzamento delle temperature medie. Lo stesso fenomeno determinerà una minore richiesta di energia per soddisfare la domanda di riscaldamento nel periodo invernale.

In relazione alla produzione di energia elettrica il tendenziale incremento dell'intensità e della frequenza degli eventi estremi di precipitazione, se accompagnato da una riduzione della precipitazione cumulata, può incidere direttamente sulla produzione idroelettrica. In tal senso un fattore di enorme rilevanza è la variabilità delle precipitazioni e l'aumento della frequenza dei periodi siccitosi con conseguenti problemi dal punto di vista gestionale, soprattutto se alcuni invasi dovessero essere chiusi per la mancanza di condizioni economiche per il loro sfruttamento. Tale impatto è direttamente correlato alla fusione dei ghiacciai in atto ed alla conseguente variazione del regime dei corsi d'acqua da questi alimentati. Nella fig. 20 si riporta l'andamento storico della produzione di energia idroelettrica e della relativa potenza installata, elaborato da ISPRA (SNPA, 2021²¹⁶). Nel periodo 1935-1963 la capacità installata presenta un incremento costante e la produzione idroelettrica segue un andamento parallelo, per gli anni successivi è evidente la volatilità della produzione in relazione agli eventi meteorologici e in particolare alle precipitazioni. Inoltre, il rapporto tra produzione e potenza installata appare in diminuzione.

²¹⁶ SNPA (2021). Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA 21/2021 – ISBN: 978-88-448-1058-0.

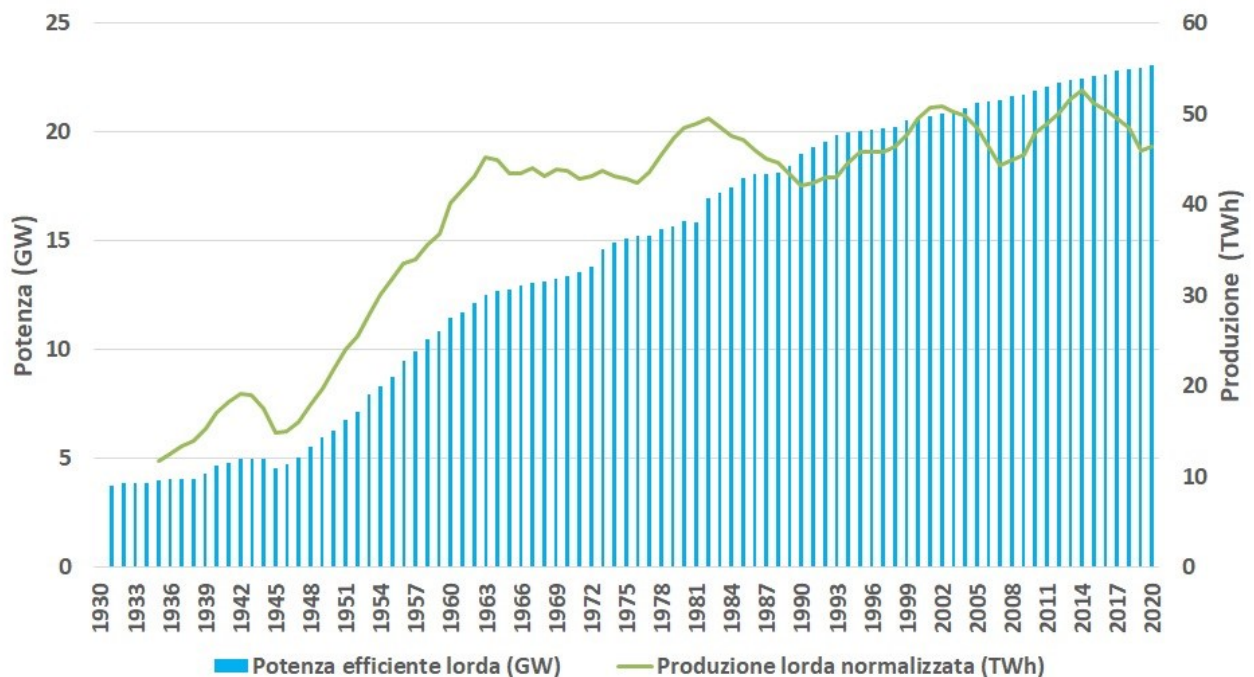


Fig. 20 – Produzione di energia idroelettrica e capacità installata in Italia (Fonte: SNPA, 2021²¹⁷)

Il 2022 si sta rilevando un anno particolarmente siccitoso e il dato Terna aggiornato a ottobre 2022 vede una riduzione progressiva annua di produzione da idroelettrico pari al -37,6% rispetto al 2021.

L'aumento della temperatura inciderà sul settore della produzione termoelettrica anche in relazione al fabbisogno idrico del settore per il raffreddamento degli impianti. Inoltre, *“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”* (Allegato III). La siccità in corso nel 2022 ha messo in evidenza come la carenza idrica stia avendo un impatto anche sul settore termoelettrico. Alcuni impianti di produzione sul fiume Po sono stati costretti allo spegnimento per mancanza di acqua necessaria al loro raffreddamento. Il prelievo di acqua per la produzione termoelettrica congiunto all'incremento della frequenza di periodi siccitosi pone un problema di rilevante importanza.

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. 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

²¹⁷ SNPA (2021). Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA 21/2021 – ISBN: 978-88-448-1058-0.

dalla velocità e dalla direzione del vento. Per i cavi sotterranei, la capacità di trasporto diminuisce con l'aumento delle temperature e con la riduzione dell'umidità del suolo (Hewer, 2006²¹⁸) 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 (Allegato III). Inoltre, condizioni climatiche secche e calde tendono a favorire l'innescare e la propagazione di incendi che possono generare importanti danni alle infrastrutture esposte alle fiamme. Forti raffiche di vento possono generare danni strutturali con possibili interferenze sulla rete di trasmissione e distribuzione con cavi aerei innescate dalla caduta di rami e alberi (MIMS, 2022²¹⁹).

3.19 Salute

Il cambiamento climatico è una delle principali minacce globali alla salute umana del XXI secolo (Watts et al, 2021²²⁰): a causa dell'incremento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi esso può determinare effetti diretti (es. morte, lesioni, malattie, a causa del caldo, di frane, di inondazioni, di incendi, ecc.) e indiretti (es. malattie legate a vettori come *Chikungunya*, *West Nile*, *Dengue*, *Zika*, malaria; effetti su ecosistemi, filiere alimentari, infrastrutture critiche, ecc.).

In Italia, a causa dell'elevata percentuale di popolazione con età superiore ai 65 anni (23% circa nel 2020, ISTAT) sono le temperature estreme e le ondate di calore a rappresentare una forte criticità. Nel giugno di quest'anno (2022²²¹) il Ministero della Salute ha registrato complessivamente una mortalità del 9% superiore all'atteso nelle città italiane monitorate dal Sistema di Sorveglianza della Mortalità Giornaliera; nella prima metà di luglio 2022 si è osservato complessivamente un incremento significativo della mortalità pari a +21% con incrementi in diverse città dove si è verificata l'ondata di calore (Ministero della Salute e DEP Lazio, 2022). Oltre agli anziani, risultano particolarmente vulnerabili anche i bambini e i pazienti con patologie croniche, le persone in condizioni di disagio socioeconomico, i lavoratori che svolgono attività all'aperto.

Dal 2004 è attivo il Sistema Nazionale di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute (HHWWS), gestito centralmente dal DEP Lazio in collaborazione con il Ministero della Salute e il Dipartimento della Protezione Civile. Il Sistema, operativo in 34 città italiane distribuite su tutte le regioni e con una copertura del 93% della popolazione urbana nazionale sopra i 65 anni (WHO, 2018), consente di individuare le condizioni meteo-climatiche che possono avere un impatto significativo sulla salute dei soggetti vulnerabili, e diramare conseguentemente dei bollettini di allerta. In base alla letteratura ad oggi disponibile, gli episodi di mortalità legata a calore estremo sembra siano andati diminuendo, soprattutto nelle città che hanno attivato il protocollo di allerta e prevenzione previsto dal piano (WHO, 2018²²²).

²¹⁸ Hewer, F. (2006). Climate Change and Energy Management: A Scoping Study On The Impacts Of Climate Change On The UK Energy Industry.

²¹⁹ Autori vari (2022), Cambiamenti climatici infrastrutture e mobilità, Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile.

²²⁰ Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., ... & Costello, A. (2021). The 2020 report of the Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. *The Lancet*, 397(10269), 129-170.

²²¹ Ministero della Salute e DEP Lazio (2022). Risultati dei Sistemi di allarme (HHWWS), del Sistema Sorveglianza della Mortalità Giornaliera (SISMG) e degli accessi in Pronto Soccorso (PS) - Rapporto 16 maggio-15 luglio 2022.

²²² WHO (2018). Climate and health country profile: Italy. Available at <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260380/WHO-FWC-PHE-EPE-15.52-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Tuttavia, l'Italia rimane uno dei paesi in Europa con i più alti tassi di mortalità sia per temperature elevate che, più specificamente, per le temperature estive (WHO, 2018; Martínez-Solanas et al., 2021²²³). Il costo della mortalità da stress termico come proporzione del Prodotto Nazionale Lordo è aumentato dallo 0.64% del 2000 all'1.03% nel 2017 (Watts et al., 2020). Seppur solo indirettamente connesso al cambiamento climatico, l'Italia presenta anche il più alto costo in Europa da impatti sulla salute per inquinamento dell'aria.

In seguito all'aumento delle temperature medie ed estreme lo stress da caldo sulla popolazione è previsto in decisa crescita. Secondo Naumann et al. (2020²²⁴) il numero di persone esposte ad episodi di caldo particolarmente intenso (ondate di calore con periodo di ritorno di 50 anni) nella penisola aumenterebbe, rispetto alla situazione attuale, da 10 a 15 volte in uno scenario RCP 2.6 e da 15 a 20 volte in uno scenario RCP 4.5. Questo a sua volta comporterebbe un aumento della morbidità e mortalità associate. Nello scenario RCP 4.5 si stima un aumento della mortalità tra l'86% e il 137% con un impatto sul PIL che salirebbe da circa l'1% attuale al 2%.

Forzieri et al. (2017²²⁵) stimano che in Italia il numero di morti associate a fenomeni climatici estremi (soprattutto ondate di calore) potrebbe crescere fino a 60 volte rispetto al presente entro la fine del secolo in uno scenario assimilabile a RCP 6.0/ RCP 4.5. Tale aumento porterebbe il tasso di mortalità prematuro causato da eventi climatici estremi a superare quello dovuto all'inquinamento atmosferico (Lelieveld et al., 2015²²⁶) e a diventare il più grande rischio ambientale per l'Italia (Lim et al., 2012²²⁷).

Per quanto concerne ulteriori impatti diretti, vanno considerati i danni e i rischi connessi a frane e inondazioni. I dati riferiti al periodo 1972-2021 del Rapporto Periodico sul Rischio posto alla popolazione italiana da frane e inondazioni (CNR-IRPI, 2022²²⁸) rendono conto dell'ampiezza del problema (Tab. 6).

	Morti	Dispersi	Feriti	Evacuati e senzatetto
per Frana	1.071	10	1.423	145.548
per Inondazione	539	32	452	160.313
Totali	1.610	42	1.875	305.861

Tab. 6 – Statistiche degli eventi di frana e di inondazione con vittime nel periodo 1972-2021 (Fonte: CNR-IRPI)

Considerata l'esposizione mediamente elevata a questi tipi di fenomeni in Italia, esiste il rischio che il cambiamento climatico possa influenzare negativamente il numero di decessi e danni alla salute prodotti dagli eventi meteorologici estremi e relative conseguenze.

²²³ Martínez-Solanas, È., Quijal-Zamorano, M., Achebak, H., Petrova, D., Robine, J. M., Herrmann, F. R., ... & Ballester, J. (2021). Projections of temperature-attributable mortality in Europe: a time series analysis of 147 contiguous regions in 16 countries. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e446-e454.

²²⁴ Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Ibarreta, D., Forzieri, G., Girardello, M., and Feyen, L., (2020). Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU, EUR 29959 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92- 76-12954-7, doi:10.2760/47878, JRC118540.

²²⁵ Forzieri, G., Cescatti, A., Silva, F. B. e Feyen, L. (2017). Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *Lancet Planet. Health* 1, e200-e208.

²²⁶ Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D. & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 525, 367–371.

²²⁷ Lim, S. S. et al. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet Lond. Engl.* 380, 2224-2260.

²²⁸ Bianchi, C., Salvati, P. (2022). Rapporto periodico sul rischio posto alla popolazione italiana da frane e inondazioni. CNR-IRPI, doi: 10.30437/report2022.

Oltre al caldo estremo, l'Italia si trova ad affrontare crescenti problemi di crisi idrica, con impatti negativi sulla qualità dell'acqua, e quindi sulla salute. La scarsità d'acqua colpisce prevalentemente le regioni del Sud e dell'interno, con picchi particolari nella stagione estiva. Tuttavia, interessa anche le regioni del Centro e del Nord, complice la progressiva scomparsa dei ghiacciai alpini. I modelli climatici suggeriscono che siccità e scarsità d'acqua andranno aumentando in diverse regioni, generando seri problemi di accesso all'acqua potabile, in modo simile a quanto accaduto nell'estate del 2017, quando 6 regioni italiane si sono trovate a dover dichiarare lo Stato di Emergenza (WHO, 2018).

3.20 Impatti socioeconomici

Gli effetti negativi derivanti dagli impatti climatici possono creare o aumentare disuguaglianze sociali ed economiche, creando disparità in termini di accesso alle risorse, al lavoro e, più in generale, alla prospettiva di una vita dignitosa. Un recente studio prevede, ad esempio, la perdita di 410.000 posti di lavoro entro il 2050 se non verranno adottate misure di adattamento ai cambiamenti climatici.²²⁹

Il concetto di equità sociale e prevenzione dell'inasprimento delle disuguaglianze sociali si declina su più livelli: *geografico*, attraverso l'individuazione delle comunità più a rischio in base alla localizzazione o alla dipendenza da un specifico settore produttivo (es. comunità costiere, comunità montane, etc, *individuale* attraverso l'individuazione e il sostegno delle fasce più deboli della popolazione e *generazionale*, garantendo alle generazioni più giovani e a quelle future una vita dignitosa, anche attraverso la scelta di politiche di adattamento i cui oneri ricadano in modo equo tra la popolazione presente e futura.

Gli impatti dei cambiamenti climatici si dividono tra quelli causati dagli eventi climatici estremi, come ad esempio le alluvioni, le frane e i cicloni tropicali, e quelli cosiddetti *a lenta insorgenza*, come ad esempio l'innalzamento della temperatura, l'innalzamento del livello dei mari e della temperatura delle acque, la riduzione delle risorse idriche disponibili, entrambi capaci di causare perdite e danni.

Mentre per gli impatti a lenta insorgenza è possibile valutare in anticipo l'intensità degli effetti e le ricadute socioeconomiche sulle comunità locali e sulle fasce di popolazione più vulnerabili, gli impatti derivanti da eventi climatici estremi possono causare ripercussioni sociali ed economiche anche imprevedibili.

Gli incendi boschivi, le alluvioni, le frane, in uno dei territori in Europa più vulnerabile dal punto di vista del rischio idrogeologico²³⁰ comportano ingenti danni sulle strutture abitative e sui beni privati, così come sui settori produttivi e sulle economie locali, con notevoli conseguenze sulla situazione sociale ed economica delle comunità direttamente e indirettamente colpite. L'Italia, tra i paesi dell'Unione Europea, detiene il triste primato del valore economico delle perdite subite, tra i 74 e i 90 mld di euro negli ultimi 40 anni, e tra i 1500 e i 2000 euro pro capite.²³¹

Ai fenomeni estremi, come detto, si affiancano gli impatti a lunga insorgenza. L'Italia, anche in questo caso, grazie alle caratteristiche fisiche e morfologiche peculiari e molto differenziate, con un territorio ricco di biodiversità, con circa 8000 km di costa, rischia di pagare un prezzo altissimo in termini di capacità produttiva, perdita di Pil e di posti di lavoro.

La perdita di ricchezza e posti di lavoro assumono una dimensione ancora più drammatica quando colpiscono i cittadini di comunità già fragili, con alti tassi di disoccupazione e basso pil/pro capite, dove non è possibile immaginare, spesso anche a causa della media anagrafica elevata, un'autonoma riqualificazione professionale o possibilità migratorie.

Oltre alle fasce di popolazione a più basso reddito e a quelle meno scolarizzate, e quindi con meno strumenti per poter far fronte all'aumento del costo della vita e alle necessità di riqualificazione

²²⁹ (Triple E consulting (2014), Assessing the implications of climate change adaptation on employment in the EU)

²³⁰ Voudoukas, M.I., Mentaschi, L., Hinkel, J., Ward, P.J., Mongelli, I., Ciscar J.C. & Feyen, L., JRC (2020).

²³¹ EEA (2022). Economic losses from climate-related extremes in Europe.

professionale, ci sono inoltre delle categorie sociali che rischiano di essere maggiormente colpite e di pagare un prezzo più alto di altre. Come ad esempio le donne, a causa delle disparità occupazionali e salariali, gli individui con disabilità, gli anziani, e infine i più giovani e le nuove generazioni, sui quali grava da una parte la consapevolezza di un avvenire difficile ed incerto e dell'altra il peso degli oneri economici e finanziari delle azioni necessarie alla mitigazione degli effetti di un cambiamento climatico del quale non sono stati responsabili.

Servono azioni sistemiche, che attraverso lo stanziamento di risorse in modo strutturato vadano a mitigare gli impatti negativi sulle comunità che subiscono gli eventi climatici estremi e a lunga insorgenza, causando ricadute in termini di capacità produttiva e perdita di posti di lavoro con conseguente necessità di riqualificazione professionale. Maggiori incentivi, anche fiscali, per i sistemi di produzione innovativi, sostenibili ed a impatto climalterante ridotto.

In tal senso è opportuno individuare sinergie e possibilità di coordinamento con le azioni previste da altre strategie e piani nazionali (es. la Strategia Nazionale per l'economia circolare, il Piano d'azione italiano per la bioeconomia²³², ecc.).

La riqualificazione professionale, inoltre, assume un ruolo centrale e strategico nelle politiche da adottare per la mitigazione degli effetti socioeconomici derivanti dal cambiamento climatico.

In un mercato del lavoro sempre più dinamico, infatti, garantire la possibilità di aggiornarsi e di essere competitivi e di aggiornare la professionalità in accordo con i nuovi standard dei cosiddetti "green jobs" è fondamentale per permettere alle aziende di essere in compliance con i requisiti normativi nazionali, europei e internazionali. Non soltanto quindi la promozione di corsi di laurea e master dedicato all'economia ambientale e sostenibile, ma anche programmi di aggiornamento in sinergia con gli enti locali, aziende, sindacati e gli attori maggiormente coinvolti.

4 MISURE E AZIONI DEL PNACC

Il PNACC fa seguito al primo intervento nazionale di pianificazione strategica in materia di adattamento ai cambiamenti climatici, rappresentato dalla SNAC del 2015. Esso intende contribuire all'attuazione dell'obiettivo indicato dalla Strategia Europea di adattamento del 2021²³³ che mira a realizzare la trasformazione dell'Europa in un'Unione resiliente ai cambiamenti climatici entro il 2050.

L'obiettivo principale del PNACC è **fornire un quadro di indirizzo nazionale** per l'implementazione di azioni finalizzate a ridurre al minimo possibile i rischi derivanti dai cambiamenti climatici, a migliorare la capacità di adattamento dei sistemi socioeconomici e naturali, nonché a trarre vantaggio dalle eventuali opportunità che si potranno presentare con le nuove condizioni climatiche.

Esso risponde, da un lato, all'urgenza di dare risposta alle criticità climatiche e ai relativi impatti già riscontrati in Italia; dall'altro, alla necessità di realizzare compiutamente **la prima e necessaria "azione di sistema"** dell'adattamento che è rappresentata dalla **creazione di un sistema di governance in grado di dare attuazione alle azioni di adattamento** nei diversi settori attraverso la definizione di ruoli, responsabilità e priorità, definendo fonti e strumenti di finanziamento per l'accesso a soluzioni praticabili, individuando gli ostacoli all'adattamento di carattere normativo, regolamentare e procedurale da mitigare e, laddove possibile, rimuovere.

Il Piano intende, inoltre, rispondere alle esigenze di coordinamento tra i diversi livelli di governo del territorio e i diversi settori di intervento. Esso pone le basi per una azione di breve e di lungo termine, articolata su **due livelli di intervento: uno "sistemico", l'altro di "indirizzo"**.

²³² Piano d'azione (2020-2025) per l'attuazione della strategia italiana per la bioeconomia (BIT II).

²³³ COM (2021) 82 final del 25 febbraio 2021, Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici.

4.1 Misure e azioni sistemiche

Sul piano “*sistemico*” il PNACC mira alla costruzione di un contesto organizzativo incentrato sulla definizione di una struttura e dei criteri di governance e sullo sviluppo delle conoscenze. Sono delineate, in primo luogo, tre azioni di “rafforzamento amministrativo” costituite da:

- La definizione di una struttura di *governance* nazionale per l’adattamento, esplicitando le esigenze di coordinamento tra i diversi livelli di governo del territorio e i diversi settori di intervento (istituzione dell’*“Osservatorio nazionale per l’adattamento ai cambiamenti climatici”* – **azione 1**). L’Osservatorio si configura come tavolo di coordinamento e confronto per l’aggiornamento nel tempo delle priorità di intervento e per la pianificazione e attuazione delle azioni di adattamento. Si rimanda al paragrafo 6.1 per i dettagli riguardanti composizione e funzioni;
- La definizione, per i settori d’azione individuati nel PNACC, delle modalità di inclusione dei principi, delle misure e delle azioni di adattamento ai cambiamenti climatici nei Piani e Programmi nazionali, regionali e locali, compresi i Piani Paesaggistici, valorizzando le sinergie con gli altri Piani nazionali (*mainstreaming* dell’adattamento nella pianificazione a tutti i livelli di governo del territorio – **azione 2**);
- La definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle misure del PNACC ai diversi livelli di governo (direttive attuative – **azione 3**). Tale azione comprende la definizione delle possibili fonti di finanziamento, oltre che l’individuazione dei potenziali ostacoli all’adattamento di carattere normativo, regolamentare e procedurale.

È inoltre definita una azione di “rafforzamento delle competenze” costituita da:

- Il miglioramento e la messa a sistema del quadro delle conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici, sulle vulnerabilità e sui rischi in Italia (Sviluppo di un programma di ricerca – **azione 4**). Tale azione prevede lo sviluppo di uno specifico programma di ricerca mirato a individuare i diversi impatti settoriali (avvenuti e potenziali), definendo modalità di analisi e valutazione dei rischi climatici prevedendo altresì approfondimenti su temi specifici come, ad esempio, la gestione sostenibile dell’acqua in ambito urbano, l’impatto dei cambiamenti climatici sui beni culturali, sulle infrastrutture, sul consumo di suolo.

Tramite le suddette azioni assegnate all’Osservatorio è garantito che il Piano sia integrato con:

- la definizione di obiettivi e target da raggiungere in diversi orizzonti temporali (breve, medio e lungo periodo) per la risoluzione delle criticità e delle vulnerabilità settoriali riscontrate;
- l’individuazione di criteri di priorizzazione, con l’indicazione, per le misure più urgenti, delle risorse finanziarie attivabili tra le fonti di finanziamento immediatamente disponibili, ciò anche considerando le misure d’intervento finalizzate al superamento degli eventi emergenziali, per i quali viene deliberato lo stato di emergenza nazionale ai sensi del Codice della protezione civile (D.lgs. 2 gennaio 2018, n.1) e, in particolare, il contributo dei Piani degli interventi dei Commissari delegati del Capo del Dipartimento della protezione civile.

L’insieme delle azioni sistemiche sopra descritte (riportate sinteticamente in tabella 7) costituisce il presupposto fondamentale per dare attuazione, anche tramite l’Osservatorio, alle azioni di adattamento nei diversi settori attraverso la definizione di ruoli, responsabilità e priorità, definendo fonti di finanziamento per l’accesso a soluzioni praticabili, individuando gli ostacoli all’adattamento di carattere normativo, regolamentare e procedurale da mitigare e, laddove possibile, rimuovere.

dicembre 2023

Tabella 7 - Sintesi delle misure e azioni *sistemiche* del PNACC

N	Misura	Azione	Obiettivo	Indicatore di avanzamento (metodo di misura)	Target	Tempi di attuazione	Soggetti coinvolti
1	Rafforzamento amministrativo per l'adattamento a livello nazionale (<i>Governance</i>)	Istituzione dell'“ <i>Osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici</i> ”	Istituzione dell'Osservatorio nazionale e costituzione della Segreteria tecnica entro tre mesi dal decreto ministeriale di approvazione del PNACC	Emanazione del decreto ministeriale (Protocollo)	Tre mesi dal decreto ministeriale di approvazione del PNACC	Tre mesi dal decreto ministeriale di approvazione del PNACC	MASE
2	Rafforzamento amministrativo per l'adattamento a livello nazionale (<i>Governance</i>)	Individuazione delle modalità, degli strumenti e dei soggetti competenti per l'introduzione di principi, misure e azioni di adattamento ai cambiamenti climatici nei Piani e Programmi nazionali, regionali e locali	<i>Mainstreaming</i> dell'adattamento nella pianificazione a tutti i livelli di governo del territorio	Numero di piani e programmi per i quali sono state individuate modalità, strumenti e soggetti competenti per il <i>mainstreaming</i> / Numero di programmi e/o piani valutati	100%	Sei mesi dal decreto di approvazione del PNACC	Osservatorio
3	Rafforzamento amministrativo per l'adattamento a livello nazionale (<i>Governance</i>)	Definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle misure del PNACC ai diversi livelli di governo	Approvazione dell'atto di definizione delle modalità e degli strumenti di attuazione delle misure del PNACC entro dodici mesi dall'insediamento dell'Osservatorio	Approvazione dell'atto di definizione delle modalità e degli strumenti di attuazione delle misure del PNACC (Protocollo)	Dodici mesi dall'insediamento dell'Osservatorio	Dodici mesi dall'insediamento dell'Osservatorio	Osservatorio
4	Rafforzamento delle competenze tecniche per l'adattamento a livello nazionale (<i>Informazione</i>)	Sviluppo di un programma di ricerca per il miglioramento del quadro conoscitivo sugli impatti dei cambiamenti climatici, sulla vulnerabilità e sui rischi in Italia	Attivazione dell'Accordo/Convenzione entro dodici mesi dal decreto di approvazione del PNACC	Accordo/Convenzione (Protocollo)	Dodici mesi dal decreto di approvazione del PNACC	Dodici mesi dal decreto di approvazione del PNACC	MASE

4.2 Misure di indirizzo

Il secondo livello di intervento del PNACC è mirato ad esercitare una *“funzione di indirizzo”* individuando una cornice di riferimento entro la quale possano svilupparsi la pianificazione e la realizzazione delle azioni di adattamento regionali e locali. Tale cornice è basata su due strumenti del Piano costituiti da un *“quadro delle misure di adattamento”* e da *“indirizzi per la pianificazione a scala regionale e locale”*.

Tale approccio segue quello della Strategia europea di adattamento 2021 che, pur costituendo un atto privo di efficacia giuridica vincolante, riveste un importante ruolo di impulso e di indirizzo. Infatti, la Strategia europea si pone, tra l'altro, l'obiettivo di migliorare le strategie e i piani di adattamento a tutti i livelli, ritenendoli *“strumenti importanti che dovrebbero essere ulteriormente sviluppati dalle autorità nazionali, regionali e locali”*.

Si ravvisa quindi l'esigenza di una pianificazione strategica dell'adattamento ad una scala di maggior dettaglio rispetto al PNACC ed in grado, in tal modo, di tenere conto delle diversità ambientali e socioeconomiche che caratterizzano il territorio italiano.

Si raccomanda pertanto che tutte le Regioni si dotino di strategie e piani di adattamento ai cambiamenti climatici.

A tal fine, il Piano fornisce *“indirizzi per la pianificazione a scala regionale e locale”* rappresentati da due specifici documenti: le *“Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici”* e le *“Metodologie per la definizione di strategie e piani locali di adattamento ai cambiamenti climatici”* (**Allegati I e II**). Sulla base delle esperienze internazionali ed europee e degli strumenti metodologici disponibili a livello regionale e locale, tali documenti tratteggiano un quadro organico di riferimento per l'adattamento, delineando: possibili quadri di governance e modelli di intervento a scala regionale e locale; orientamenti per definire impatti e vulnerabilità ai cambiamenti climatici; modalità di individuazione delle priorità territoriali, di definizione e implementazione delle azioni di adattamento anche a partire dagli strumenti della pianificazione ordinaria e settoriale oltre che attraverso gli strumenti di finanziamento della programmazione comunitaria e regionale; elementi per supportare a livello locale l'iniziativa del Patto dei Sindaci per il clima e l'energia.

I suddetti documenti di indirizzo derivano dalle attività svolte, con il coordinamento del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, nell'ambito del Progetto CREIAMO PA (PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020) e prodotti dalla Linea 5 del progetto dedicata al *“Rafforzamento della capacità amministrativa per l'adattamento ai cambiamenti climatici”*, pubblicati nel 2020 e aggiornati nel 2023. Essi sono inoltre il risultato di una ampia attività di confronto e condivisione di esperienze sviluppata con le diverse Regioni ed Enti Locali che hanno diffusamente partecipato alle attività di linea.

Il PNACC rafforza la funzione di indirizzo fornendo un quadro organico di *“possibili opzioni di adattamento”* (**Allegato IV - Database delle azioni**) che troveranno applicazione nei diversi strumenti di pianificazione, a scala nazionale, regionale e locale, con le modalità che saranno individuate dall'Osservatorio tramite l'**azione 2** (*mainstreaming* dell'adattamento nella pianificazione a tutti i livelli di governo del territorio) e l'**azione 3** (definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle misure del PNACC ai diversi livelli di governo - direttive attuative). Si rimanda per i relativi dettagli al paragrafo 4.1 e al capitolo 6.

Il database delle azioni è stato oggetto di revisione ed integrazione a seguito del recepimento delle osservazioni e delle proposte trasmesse dai soggetti che hanno partecipato alla consultazione pubblica della VAS del PNACC.

L'Osservatorio, nell'ambito dei compiti ad esso attribuiti, nell'integrare e implementare le azioni del Piano, terrà conto delle azioni proposte e delle criticità segnalate per determinate azioni nell'ambito della consultazione pubblica di VAS.

Per la fase applicativa saranno in ogni caso fatte salve, per le diverse fattispecie di intervento, le procedure autorizzative e le norme relative ai vincoli sovraordinati di natura ambientale, paesaggistica

e storico-culturale come, ad esempio, quelle contenute nel Codice dei beni culturali e del paesaggio o nei Piani paesaggistici regionali.

Un'analisi dei suddetti vincoli e delle relative procedure sarà parte della ricognizione dei potenziali ostacoli all'adattamento di carattere normativo, regolamentare e procedurale prevista per l'azione sistemica n.3 (cfr. paragrafo 4.1).

I seguenti sottoparagrafi descrivono contenuti e criteri utilizzati per la costruzione del database delle azioni.

4.2.1 Misure e azioni settoriali

Il database delle azioni di adattamento (Allegato IV) riporta l'insieme delle azioni settoriali individuate dal gruppo multidisciplinare di esperti che ha collaborato alla elaborazione del documento di Piano del 2018, partendo dalle informazioni contenute nella Strategia nazionale di adattamento, dalle analisi sugli impatti attesi e sulla vulnerabilità delle risorse, dei processi ambientali e dei settori socio-economici selezionati, tenendo in considerazione la condizione climatica attuale e futura, così come la normativa di settore esistente e le buone pratiche.

È stato così individuato un insieme di oltre trecento azioni settoriali di adattamento alle quali è stata applicata una metodologia di valutazione che ha portato all'attribuzione, ad ogni singola azione, di un giudizio di valore (basso, medio, medio-alto e alto) rispetto ad alcuni criteri selezionati nell'ambito della letteratura disponibile (efficienza, efficacia, effetti di secondo ordine, performance in presenza di incertezza, implementazione politica).

L'insieme delle azioni è consultabile tramite un database strutturato in modo tale da consentire molteplici chiavi di lettura delle informazioni disponibili, attraverso opportuni filtri che permettono di selezionare e raggruppare in vari modi i dati presenti.

Le informazioni contenute nel database offrono, inoltre, un quadro di riferimento anche per la costruzione di pacchetti di azioni integrate tramite l'accorpamento di azioni che incidono su una stessa componente ambientale.

4.2.2 Caratterizzazione delle azioni

L'insieme delle azioni di adattamento settoriali identificate sono state sottoposte a un processo di valutazione al fine di ricavare un giudizio complessivo di valore rispetto ad alcuni criteri selezionati nell'ambito della letteratura disponibile.

Per la natura prettamente "locale" e "specificata" dell'adattamento, la scala di valore delle azioni non è stabilita in modo assoluto ma varia, a volte anche in modo considerevole, in base al contesto geografico e socioeconomico di riferimento, nonché in funzione dei diversi scenari climatici e dei rischi presi in considerazione. Inoltre, per la natura di molte azioni, per l'effettiva disponibilità di dati e per la tipologia degli obiettivi da raggiungere, la valutazione è spesso basata sull'applicazione di criteri qualitativi, seguendo il parere informato di esperti, piuttosto che su una analisi quantitativa rigorosa. Questo è vero soprattutto in sede di definizione dei rapporti costi-benefici o costi-efficacia delle diverse azioni. Nel caso sia possibile avere un fondamento quantitativo, quest'ultimo è spesso riferito a contesti specifici e quindi difficilmente generalizzabili o, al contrario, a valori "di massima" che presentano altissima variabilità.

La metodologia propone una valutazione per "macro-categorie omogenee di intervento" più facilmente classificabili e spesso ricorrenti in diversi settori ed individua un ordine di valore per le azioni, precisamente alto, medio-alto, medio, medio basso e basso. La valutazione proposta tiene conto anche dei risultati della consultazione pubblica per mezzo di un questionario, effettuata in fase di redazione della proposta di piano del 2018, indirizzata ai diversi portatori di interessi, volta a misurare la percezione nei confronti dell'adattamento. In particolare, in tale consultazione sono stati approfonditi due segmenti di analisi principali. Il primo volto a identificare la rilevanza relativa dei diversi criteri di valutazione

proposti, al fine di determinare se ad alcuni di essi dovesse essere attribuito un peso maggiore rispetto ad altri e quindi se essi dovessero essere preponderanti in sede di valutazione delle diverse azioni. Il secondo volto ad acquisire un ordine di valore delle diverse di azioni; ciò si è rivelato particolarmente utile in presenza di situazioni ambigue.

Di seguito è descritto nel dettaglio il processo di caratterizzazione delle azioni nelle sue fasi di categorizzazione e valutazione.

4.2.3 Categorizzazione delle azioni

Al fine di agevolare il processo di valutazione è stata effettuata una tassonomia delle azioni identificate nel Piano in famiglie omogenee.

In particolare, le diverse azioni sono state assegnate alle seguenti 5 macrocategorie che ne individuano la tipologia progettuale: informazione, processi organizzativi e partecipativi, governance, **adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture**, soluzioni basate sui servizi ecosistemici, ecosistemi fluviali, costieri e marini, riqualificazione del costruito. Ogni macrocategoria è stata dettagliata attraverso categorie specifiche.

Inoltre, le azioni sono state suddivise in due tipologie principali: azioni di tipo A (soft) e azioni di tipo B (*non soft - green o grey*).

In termini generici, le azioni *soft* sono quelle che non richiedono interventi strutturali e materiali diretti ma che sono comunque propedeutiche alla realizzazione di questi ultimi, contribuendo alla creazione di capacità di adattamento attraverso una maggiore conoscenza o lo sviluppo di un contesto organizzativo, istituzionale e legislativo favorevole.

Appartengono alla tipologia *soft* le macrocategorie di azioni di informazione, sviluppo di processi organizzativi e partecipativi, e governance.

Le azioni *grey* e *green*, invece, hanno entrambe una componente di materialità e di intervento strutturale. Le seconde, tuttavia, si differenziano nettamente dalle prime proponendo soluzioni “nature based”, consistenti cioè nell’utilizzo o nella gestione sostenibile di “servizi” naturali, inclusi quelli ecosistemici, al fine di ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici. Le azioni *grey* sono quelle relative al miglioramento e adeguamento al cambiamento climatico di impianti e infrastrutture, che possono a loro volta essere suddivise in azioni su impianti, materiali e tecnologie, o su infrastrutture o reti.

La tabella seguente descrive la strutturazione e la codifica delle azioni nelle tipologie, macrocategorie e categorie individuate.

Tabella 8: Categorizzazione delle azioni di adattamento.

Tipologia	Macro-categorie	MacrID	Categorie	CatID	Principali tipi di azione
A	Informazione	I	Ricerca e valutazione	R	Non classificato
				R	Rischio, resilienza, vulnerabilità compresi i componenti
				R	Impatti e soluzioni
				R	Scenari e downscaling
			Monitoraggio, dati, modelli	M	Indicatori climatici, fisici, chimici, biologici
				M	Indicatori performance del sistema e delle misure
				M	Banche dati e portali informativi
				M	Sistemi di previsione e di allerta precoce
				M	DSS e sistemi IT integrali
				M	Armonizzazione e standardizzazione
			Divulgazione, percezione, consapevolezza e formazione	F	Innovazione gestionale
				F	Rischio, resilienza e vulnerabilità
				F	Cambiamento climatico, impatti e soluzioni
		SSS	Istituzioni	IS	
				OR	Selezioni dei genotipi e delle varietà genetiche

dicembre 2023

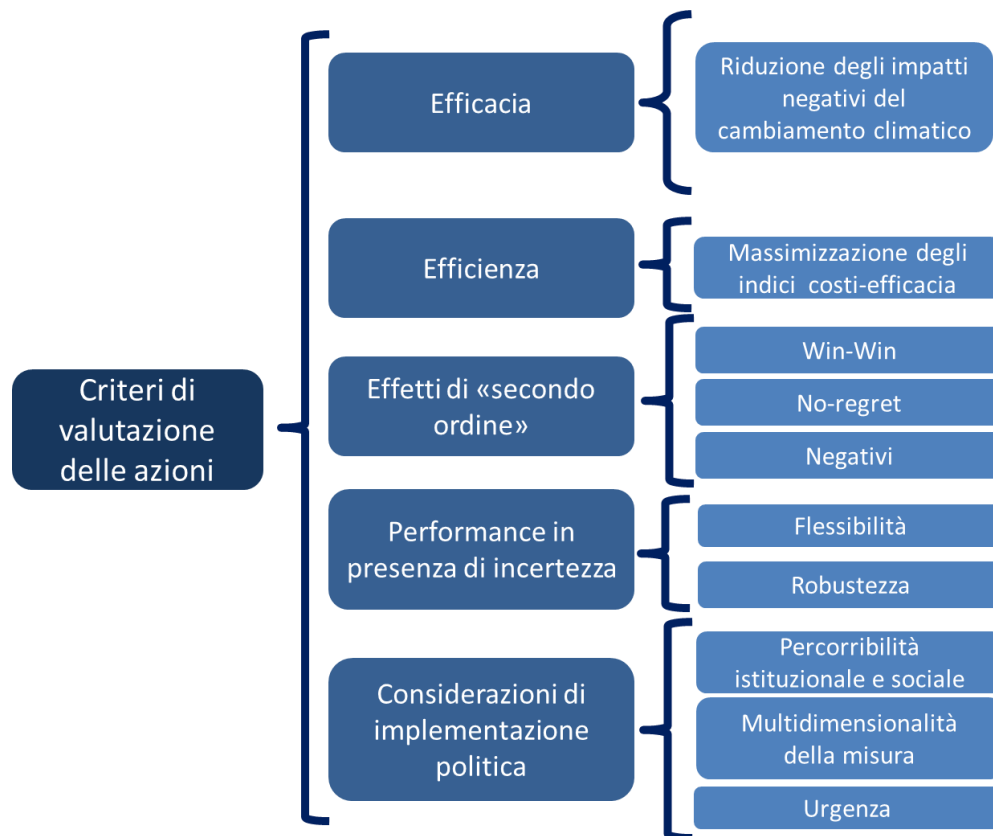
B	Processi organizzativi e partecipativi		Organizzazione e gestione		Organizzazione della protezione civile a livello locale	
					Diversificazione delle strategie aziendali	
					Controlli e ispezioni	
		Partenariato e partecipazione	PP	Coordinamento intersettoriale, tavoli, comitati e reti		
				Creazione tavoli, comitati, reti		
		Governance	GOV	Adeguamenti legislativo e regolatore	L	Altri regolamenti settoriali
						Revisione regime concessioni di derivazione idrica
						Adeguare VAS/VIA ai cambiamenti climatici
						Deflusso minimo vitale
						Prevenzione rischio sanitario
	Aree protette					
	Regolamenti temporanei					
	Regolamenti edilizi					
	Qualità dell'acqua					
	Parametri di sicurezza					
	Piani e strategie			P	Non classificato	
					Pianificazione urbanistica e territoriale	
					Piani di emergenza ed evacuazione	
					Strategie e piani di adattamento ai cambiamenti climatici	
					Piani di mobilità e di traffico urbano	
					Infrastrutture di trasporto	
					Gestione della siccità	
					Rischio incendi	
					Gestione aree protette	
					Pianificazione Forestale	
					Pianificazione di Distretto Idrografico	
					Piano di assetto idrogeologico	
	Strumenti economici e finanziari			S	Assicurazioni e altri strumenti del trasferimento di rischio	
					Incentivi economici e finanziari	
					Piano di investimenti	
	Indirizzo	G	Compensazioni			
			Certificazioni ambientali			
			Sperimentazione e progetti pilota			
	Adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture	GR	Impianti, materiali e tecnologie	A	Buone pratiche	
					Linee guida	
Sistemi di difesa, reti, stoccaggio, distribuzione e trasmissione					B	Strutture
						Mezzi e macchinari
						Materiali e tecnologie//Processi
			Sistemi di raffreddamento			
			Generazione di energia elettrica			
			Stoccaggio della risorsa idrica			
			Conversione dei sistemi d'irrigazione			
			Costruzione di opere di difesa strutturale			
			Sistemi di accumulo e laminazione			
			Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti			
Interramento delle reti						
Manutenzione e miglioramento delle reti di scolo e irrigue						
Sistemi di trasmissione flessibili						
Stoccaggio dell'energia						
Soluzioni basate sui servizi ecosistemici			NBS	Soluzioni integrate	C	Aumento della connettività territoriale (infrastrutture verdi)
				Ecosistemi forestali e agro-forestali	D	Ecosistemi forestali
						Gestione selvicolturale per la tutela e conservazione della biodiversità
						Gestione selvicolturale per la prevenzione e riduzione dei rischi
						Impianto e mantenimento di sistemi agroforestali

					Lotta biologica per la prevenzione e contrasto delle fitopatie
					Restauro e ripristino delle foreste danneggiate dalle calamità
					Riforestazione, imboschimenti e rimboschimenti
			Ecosistemi fluviali, costieri e marini	E	Riqualificazione fluviale
					Ripristino e gestione delle zone umide
					Fasce tampone e barriere vegetate
					Conservazione, ricostruzione e rinaturalizzazione delle aree costiere
					Salvaguardia della biodiversità costiera
					Ripristino della vegetazione di piante acquatiche e di barriere vegetazionali a Canneto alla foce dei corsi d'acqua
					Promozione della naturale ricostruzione delle strutture coralline
					Network di aree marine protette
					Protezione e gestione degli habitat marini
			Riqualificazione del costruito	F	Edilizia residenziale
					Sistemi di drenaggio stradali
					Verde urbano

4.2.4 Valutazione delle azioni

Le azioni di adattamento settoriali categorizzate sono state valutate rispetto ai seguenti 5 criteri (Flörke et al., 2011): efficacia, efficienza economica, effetti di secondo ordine, *performance* in presenza di incertezza, e considerazioni per l'implementazione politica, rappresentati nella figura seguente.

Il risultato è consistito nell'attribuzione, ad ogni singola azione, di un giudizio di valore (alto, medio-alto, medio, medio-basso, basso).



I criteri sono così definiti:

- **Efficacia.** Il criterio è volto a valutare quanto l'azione sia in grado di raggiungere lo scopo per il quale è stata implementata, cioè, in termini generici, di ridurre gli impatti negativi del cambiamento climatico.
- **Efficienza economica.** Il criterio categorizza le azioni in base alla loro capacità di raggiungere l'obiettivo stabilito, cioè la riduzione degli impatti negativi dei cambiamenti climatici ai costi minori; in altri termini la categorizzazione avviene in base al rapporto costi/efficacia delle diverse azioni. I costi sono considerati, quando possibile, in modo esteso includendo anche i costi di transazione e non solo i costi diretti di "costruzione/implementazione".
- **Effetti di secondo ordine.** Questo criterio è volto a valutare tutti gli effetti che derivano dall'attuazione delle azioni di adattamento ma che non ne costituiscono il fine principale ed esplicito. Gli effetti di secondo ordine possono essere sia positivi che negativi. Nel primo caso si parla anche di benefici ancillari delle azioni di adattamento. Esempi tipici in letteratura sono: creazione di posti di lavoro, avanzamento nel processo di innovazione tecnologica, creazione di capitale sociale. A loro volta, gli effetti di secondo ordine positivi possono originare azioni:
 - **No-regret.** Le azioni producono benefici in diversi scenari di cambiamento climatico, non comportano elementi di conflittualità con altri obiettivi di politica pubblica e soprattutto sono caratterizzate da benefici elevati e costi relativamente bassi. In pratica, la difficoltà nell'individuare le opzioni no-regret risiede nella concreta identificazione dei benefici e nella relativa valutazione economica;
 - **Win-win.** Le azioni producono benefici anche al di fuori del contesto della riduzione degli impatti climatici.

È importante sottolineare come sia le azioni *no-regret* che quelle *win-win* non sono a costo zero o addirittura negativo. Esse comportano comunque investimenti, anche cospicui e ciò può costituire un ostacolo per l'adozione dell'azione in presenza di vincoli di liquidità dei bilanci pubblici o di altre priorità da parte del decisore politico.

Nel caso, infine, di effetti di secondo ordine negativi si parla di "mal-adattamento" (*maladaptation*) e questo si verifica quando un'azione aggrava la vulnerabilità al cambiamento climatico accentuandone gli impatti in settori diversi o in altri territori oppure quando accresce lo sforzo necessario per la mitigazione (ad esempio aumentando le emissioni di gas ad effetto serra).

- **Performance in presenza di incertezza.** Questo criterio valuta quanto una specifica azione possa essere applicabile in una pluralità di condizioni climatiche e socioeconomiche possibili. Il criterio si compone di due caratteristiche specifiche:
 - **Robustezza.** Implica la capacità dell'azione di mantenere un'efficacia accettabile in contesti diversi;
 - **Flessibilità.** Descrive le azioni in grado di adeguarsi, a "costi contenuti", a diversi contesti. L'adeguamento può consistere in trasformazioni dell'azione o integrazioni con azioni complementari o, in casi estremi, l'abbandono della azione stessa qualora essa si dimostri inadatta.
- **Considerazioni per l'implementazione politica.** La scelta di un'azione di adattamento dipende non solo dalla tipologia dell'azione ma anche dal quadro di riferimento normativo, economico e sociale nell'ambito del quale l'azione si inserisce. Sono presi in considerazione i seguenti criteri (EEA 2007; van Ierland et al. 2007):
 - **Percorribilità istituzionale sociale.** Valuta l'esistenza di barriere che possono potenzialmente rendere difficile l'implementazione dell'azione. Una prima categoria di impedimenti è relativa agli aspetti istituzionali: quanto più una azione richiede il concorso di diverse istituzioni tanto

più complesso sarà il processo di implementazione. Inoltre, la complessità aumenta ulteriormente nei casi in cui il quadro normativo/istituzionale non sia ben determinato oppure in presenza di barriere di natura legale o relative all'accettabilità sociale dell'azione;

- **Multidimensionalità.** Identifica sia le azioni che, in combinazione tra loro, possono aumentare l'efficacia reciproca, sia quelle che contribuiscono ad alleviare le conseguenze negative relative a più impatti o in diversi settori;
- **Urgenza.** Identifica le azioni volte a ridurre gli impatti giudicati più dannosi e quindi quelli che dovrebbero essere trattati per primi in base ai rischi posti al sistema socioeconomico.

I criteri sui quali è basato il giudizio complessivo delle azioni, risultano di più facile applicazione alle azioni *grey* e *green* rispetto a quelle *soft*. Applicare criteri come efficacia, efficienza economica ed effetti di secondo ordine ad azioni non strutturali, è quanto mai complesso proprio a causa della loro intrinseca immaterialità. D'altra parte, le azioni *soft* tendono tutte ad essere robuste, flessibili e soprattutto urgenti, dovendo precedere le azioni *green* e *grey* ed introdurre elementi facilitatori per creare le condizioni ottimali di governo del territorio alla base di una efficace pianificazione e successiva attuazione delle azioni.

A seguito della valutazione effettuata dagli esperti il 59% delle azioni ha ricevuto un giudizio complessivo alto, il 29% medio-alto e il 12% medio, medio-basso e basso. Incrociando le tre dimensioni - tipologia, orientamento temporale e giudizio di valutazione - emerge un gruppo di azioni (124) non strutturali (*soft*) distribuite su quasi tutti i settori, con giudizio alto e realizzabili nel breve periodo.

Nella seguente tabella 9 è riportata la distribuzione delle azioni per giudizio di valutazione e settore di appartenenza.

Tabella 9: Azioni di adattamento per giudizio di valutazione e settore di appartenenza.

	TT	AC	AG	DS	DI	EA	EM	ET	EN	FO	IP	IU	PC	PM	RI	SA	TR	TU	ZC	Totale	%
Alta	13	7	17	10	24	2	21	13	2	8	8	15	11	11	20	16	9	4	2	213	59,0
Medio-alta		1	9		5	3	3	6	12	24	5	1	1		7	4	5	3	15	104	28,8
Media		1	1						13	3	1			8	1			1	9	38	10,5
Medio-bassa																		2		2	0,6
Bassa			1						1					1						3	0,8
n.d.													1							1	0,3

4.2.5 Il Database delle azioni

Il database delle azioni di adattamento (Allegato IV) offre un quadro di sintesi dell'insieme di azioni settoriali proposte e dei relativi attributi. Esso è strutturato in modo da permettere una consultazione semplice e flessibile ed allo stesso tempo una rapida estrazione dei contenuti.

Il database delle azioni è stato oggetto di revisione, rispetto a quello presentato nel 2018, a seguito del recepimento delle osservazioni pervenute in ambito VAS.

A titolo di esempio, per ogni azione il database fornisce la macrocategoria e la categoria all'interno della quale essa ricade, i principali impatti associati, la tipologia di appartenenza (*Soft*, *Green* e *Grey*) e il giudizio di valore. Sono riportati i possibili costi, gli enti potenzialmente coinvolti nell'attuazione, nonché gli indicatori per il monitoraggio sia dello stato di avanzamento che dell'efficacia delle azioni. Le fonti normative cui le singole azioni fanno riferimento e le possibili fonti di finanziamento saranno oggetto di

aggiornamento nell'ambito delle attività svolte dall'Osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Per quanto riguarda la tipologia, la maggior parte delle azioni sono di tipo non strutturale (*soft*): 274 pari al 76% del totale. Seguono le azioni basate su un approccio ecosistemico (*green*) che ammontano a 46 pari al 13%. Infine, le azioni infrastrutturali e tecnologiche (*grey*), che sono 41 ovvero l'11% del totale. Le azioni *soft* sono distribuite omogeneamente su quasi tutti i settori, mentre la tipologia *green* prevale nel settore foreste. Le azioni di tipo infrastrutturale/*grey* sono più concentrate (in proporzione) nel settore energia, mentre nel settore zone costiere vi è un sostanziale equilibrio tra le tre tipologie di azioni (Tabella 10).

Tabella 10: Analisi delle azioni per tipologia e settore.

	TT	AC	AG	DS	DI	EA	EM	ET	EN	FO	IP	IU	PC	PM	RI	SA	TR	TU	ZC	Totale	%
Green			1			1	5	2		17	1	5			1		1	2	10	46	13
Grey		1	4						16	3	2		1		3			2	9	41	11
Soft	13	8	23	8	29	4	19	17	12	15	11	11	12	20	24	20	13	6	7	274	76

Per quanto riguarda i criteri di valutazione delle azioni, il 59% delle azioni hanno ricevuto un giudizio complessivo alto, il 29% medio-alto e il 12% un giudizio complessivo medio, medio-basso e basso.

Tabella 11: Analisi delle azioni per giudizio di valutazione e settore.

	TT	AC	AG	DS	DI	EA	EM	ET	EN	FO	IP	IU	PC	PM	RI	SA	TR	TU	ZC	Totale	%
Alta	13	7	17	10	24	2	21	13	2	8	8	15	11	11	20	16	9	4	2	213	59,0
Medio-alta		1	9		5	3	3	6	12	24	5	1	1		7	4	5	3	15	104	28,8
Media		1	1						13	3	1			8	1			1	9	38	10,5
Medio-bassa																		2		2	0,6
Bassa			1						1					1						3	0,8
n.d.													1							1	0,3

Incrociando le tre dimensioni - tipologia, orientamento temporale e valore - emerge un gruppo di azioni (124) non strutturali (*soft*) distribuite su quasi tutti i ambiti d'azione, ad alto valore e realizzabili nel breve periodo.

Si sottolinea che la maggior parte delle azioni individuate (il 76,7%) ha un carattere intersettoriale in grado di produrre effetti su più settori contemporaneamente. Solo il 23,3% delle azioni relative ad un determinato settore, infatti, non ha rapporti o impatti con gli altri settori presi in considerazione nel Piano (Tabella 12).

Tabella 12: Analisi della distribuzione delle azioni su più settori.

INTER-SETTORIALITÀ DELLE AZIONI		
Mono-settore	84	23,3
Su 2 settori	58	16,1
Su 3 settori	58	16,1
Su 4 settori	45	12,5
Su 5 settori	25	6,9
> 5 settori	78	21,6
Tutti i settori	13	3,6
Totale	361	100%

Dalla distribuzione delle relazioni reciproche tra le azioni emerge che l'agricoltura, gli insediamenti urbani, le foreste e le risorse idriche sono i nodi più significativi della rete poiché su di essi convergono e da essi si diramano un elevato numero di azioni che interessano anche altri settori. In particolare, il settore agricoltura forma un cluster con i settori desertificazione, foreste, ecosistemi terrestri e risorse idriche; il settore insediamenti urbani con dissesto geologico, idrologico e idraulico, risorse idriche, trasporti e zone costiere; infine, il settore risorse idriche forma un raggruppamento con acquacoltura, agricoltura, energia, infrastrutture e industrie pericolose, e insediamenti urbani. Queste ricorrenze mostrano una certa importanza delle risorse idriche, nel ruolo di congiunzione tra i settori agricoltura, insediamenti urbani ed energia.

Ulteriori misure

A seguito della procedura di VAS il database delle azioni è stato integrato con ulteriori azioni che hanno interessato le seguenti tematiche:

- | | |
|--|------------------------|
| - acqua | - salute |
| - risorsa idrica | - trasporti |
| - biodiversità, ecosistemi e uso del suolo | - settore industriale |
| - montagna | - patrimonio culturale |
| - agricoltura | - governance |
| - foreste | |

L'insieme delle suddette azioni è stato aggiunto al database originario in un apposito foglio di lavoro denominato "Misure integrative" e contribuisce a costituire il quadro di riferimento per le azioni di adattamento.

5 FINANZIARE L'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Come ampiamente condiviso dalla dottrina economica, un riordino della fiscalità che promuova maggiormente l'utilizzo degli strumenti fiscali ambientali produrrebbe un doppio beneficio: quello di ridurre gli impatti negativi sul clima e quello di ridurre l'impatto fiscale su altri temi, tra cui il lavoro. Al netto di questa considerazione sono già attive diverse fonti di finanziamento riconducibili al tema dell'adattamento.

Ciò premesso, come accade ormai da anni, anche in Italia, la programmazione economica nazionale si associa a quella europea, contribuendo al co-finanziamento dei programmi con risorse proprie, ma limitandosi a selezionare le priorità di spesa già definite in sede europea. Per questo motivo, la maggior parte delle fonti di finanziamento sono riconducibili a fondi europei o, quanto meno, adottano il loro medesimo schema di finanziamento.

In questo quadro, il Consiglio dell'Unione Europea, con l'approvazione nel 2021 della nuova Strategia europea per l'adattamento ai cambiamenti climatici ha sottolineato l'importante ruolo svolto dal rafforzamento della resilienza ai cambiamenti climatici nella ripresa economica dalla pandemia di COVID-19. L'UE ha fissato un obiettivo di spesa pari ad almeno il 30% a favore dell'azione per il clima, compreso l'adattamento, nell'ambito del quadro finanziario pluriennale per il periodo 2021-2027 e ad almeno il 37% nell'ambito del dispositivo per la ripresa e la resilienza.

Andando ad analizzare sotto questa luce i fondi europei e nazionali, emergono potenzialmente molte risorse per le misure suggerite nel PNACC. In particolare, tre ambiti disporrebbero di ingenti fondi a livello europeo, nazionale e regionale:

- la ricerca scientifica e l'innovazione tecnologica per l'adattamento (es. il programma Horizon Europe 2027, il PON Ricerca e Sviluppo e tutti i POR);
- la realizzazione e l'adeguamento a prova di cambiamento climatico (*climate-proof*) delle infrastrutture di trasporto, energetiche e idriche (es. Meccanismo per Collegare l'Europa, i capitoli di spesa sulle infrastrutture del Fondo Coesione e Sviluppo, i Patti per il Sud, ecc.);
- l'agricoltura, la silvicoltura e la pesca sostenibili e resilienti (la PAC, i vari Programmi di Sviluppo Rurale regionali, il PO FEAMP, ecc.).

Le risorse individuate con la logica dell'integrazione (*mainstreaming*) coprirebbero le azioni di quasi tutti i 19 settori oggetto del PNACC. Oltre ai già citati Trasporti, Energia, Risorse Idriche, Agricoltura, Foreste e Pesca Marittima, i fondi esistenti potrebbero finanziare anche le misure dei settori Acquacoltura, Dissesto geologico, idrologico e idraulico, Ecosistemi acque interne e di transizione, Ecosistemi marini ed Ecosistemi terrestri, Insediamenti Urbani, Patrimonio Culturale, Salute, Turismo e Impatti socioeconomici.

Bisogna tuttavia precisare che solo una parte delle risorse cui si fa riferimento sono nelle dirette disponibilità del sistema Italia. Lo schema europeo di finanziamento citato prevede infatti una allocazione dei fondi su base competitiva e dunque l'attribuzione è incerta e sottoposta alla condizione di uno sforzo particolare per la presentazione di candidature qualitativamente eccellenti.

Entrando maggiormente nel dettaglio si possono distinguere fonti di finanziamento sui tre livelli di governo: europeo, nazionale e regionale.

Programmi Europei

Il budget del Programma LIFE per il periodo 2021-2027 è fissato a 5,45 miliardi di euro, di cui 0,95 miliardi di euro destinati a cofinanziare azioni nell'ambito del Sottoprogramma LIFE "Mitigazione e Adattamento ai cambiamenti climatici" (LIFE CLIMA) e delle aree di intervento incluse nei tre settori prioritari di tale Sottoprogramma: 1. "Mitigazione dei cambiamenti climatici"; 2. "Adattamento ai cambiamenti climatici"; 3. "Governance e informazione in materia di cambiamenti climatici".

Il budget indicativo assegnato al Sottoprogramma LIFE CLIMA per il periodo 2021-2024 è di 505,5 milioni di euro. La maggior parte di tale dotazione finanziaria sarà spesa per i Progetti di Azioni Standard (SAP, i cosiddetti progetti LIFE "tradizionali", che sostengono lo sviluppo di soluzioni innovative e l'applicazione di buone pratiche in materia di ambiente e azione per il clima) e per i Progetti Strategici Integrati (SIP). I SIP attuano, su scala regionale, multiregionale, nazionale o transnazionale, strategie o piani d'azione ambientali o climatici sviluppati dalle autorità degli Stati membri e richiesti da una specifica legislazione o politica dell'Unione in materia di ambiente, clima o energia. I SIP garantiscono inoltre il coinvolgimento delle parti interessate e promuovono il coordinamento e la mobilitazione di almeno un'altra fonte di finanziamento dell'Unione, nazionale o privata.

Anche il Meccanismo Unionale di Protezione Civile ha confermato, con la comunicazione 2022, conclusioni in cui chiede di adattare la protezione civile affinché possa affrontare gli eventi meteorologici estremi provocati dai cambiamenti climatici.

Oltre a questi due strumenti espressamente dedicati all'adattamento, tutti gli altri programmi europei hanno integrato il tema nella loro normale attività di pianificazione e di spesa.

In questo senso il Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale (FESR), sostiene lo sviluppo di strategie di adattamento, di network, di scambio di buone pratiche e di attività di *capacity building* ad esso riconducibili. Nell'ambito del FESR è inoltre attivo il programma URBACT 2021-2027 con esplicito focus

sull'ambiente urbano. Ruolo simile di supporto all'adattamento ha il Fondo Sociale Europeo che si focalizza soprattutto sul sostegno ad attività di formazione, diffusione della conoscenza e sensibilizzazione.

Urban Innovative Actions (UIA) è invece un'iniziativa della Commissione europea volta a fornire finanziamenti alle aree urbane europee per testare soluzioni innovative nell'affrontare le loro maggiori problematiche presenti e future, tra cui, area tematica recentemente introdotta, compare proprio l'adattamento ai cambiamenti climatici. La UIA ha un budget stanziato per il periodo 2021-2027 di 450 milioni di euro.

Il programma Horizon Europe è strutturato in tre pilastri, che hanno al loro interno programmi e temi di ricerca specifici, e in un programma trasversale. All'interno del pilastro "Sfide globali e competitività industriale europea" è presente il programma su "Clima, Energia e Mobilità". Questo programma, che ha fondi per 15 miliardi di euro, prevede che l'aspirazione europea a comprendere le cause del cambiamento climatico, le sue evoluzioni, i suoi impatti, i rischi e le opportunità ad esso correlate si accompagni strettamente alla necessità di rendere i sistemi energetici e di mobilità più sostenibili, intelligenti, sicuri, resilienti, inclusivi, competitivi ed efficienti.

La PAC 2021-2027 si fonda su 10 obiettivi strategici chiave, uno dei quali è "contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici e all'adattamento a essi, anche attraverso la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e il miglioramento del sequestro del carbonio, nonché promuovere l'energia sostenibile." Esistono inoltre altri fondi che potenzialmente potrebbero essere di interesse per azioni di adattamento: il Meccanismo per Collegare l'Europa, dedicato alle infrastrutture di trasporto ed energetiche strategiche per il continente, deve necessariamente tenere conto dell'adattamento considerando il lungo ciclo di vita dei propri investimenti. In maniera simile, anche il Programma di azione in materia di salute potrebbe essere una fonte di finanziamento per alcune azioni adattative in materia di salute e di prevenzione dei rischi. Sempre a livello europeo troviamo poi fondi della Banca Europea di Investimenti (BEI) e del Fondo Europeo di Investimenti che sono riconducibili all'adattamento. Le due istituzioni, infatti, prevedono strumenti finanziari (quali prestiti e garanzie) per il settore infrastrutturale, energetico (di importanza strategica per l'adattamento) e per il settore ambientale.

Programmi nazionali

A livello nazionale la programmazione economica procede di pari passo con quella europea. L'accordo con la UE prevede che i vari Programmi Operativi Nazionali (PON) tengano in considerazione priorità di spesa nel campo dell'ambiente e della sostenibilità, ma essi sono solo indirettamente collegabili all'adattamento. Cionondimeno, nell'ottica della potenziale integrazione del tema nella spesa ordinaria, questi fondi rappresentano un'ingente risorsa per le misure adattative. Ad esempio, il Programma Nazionale (PN) Metro plus e città medie Sud, destinato allo sviluppo urbano nelle città metropolitane che dedica parte degli investimenti ad attività che sappiano essere clima-resilienti, oltre che propriamente sostenibili. Il programma prevede lo stanziamento di circa 330 milioni di euro per il punto 2. "Sostenibilità ambientale" e per il punto 3 "Mobilità urbana multimodale e sostenibile".

Analogamente il PON Cultura e Sviluppo 2014-2020, (270 milioni di euro), ad oggi in fase di sviluppo per il periodo 2021-2027, potrebbe essere una fonte di finanziamento per quelle misure che mirano alla tutela del patrimonio culturale rispetto ai rischi del cambiamento climatico.

Il Piano Nazionale per la Ricerca 2021-2027, destinato a finanziare l'innovazione tecnologica e industriale potrebbe finanziare enti di ricerca o imprese che iniziano a sviluppare soluzioni commerciali per l'adattamento (come previsto da alcune azioni del PNACC).

Accanto a questi strumenti di matrice europea, esistono poi risorse nelle dirette disponibilità dello Stato come il Fondo Sviluppo e Coesione, il Patto per la Salute e programmi come i Grandi Progetti R&S (finanziati con il Fondo per la Crescita Sostenibile) che possono essere una fonte per le misure di adattamento del PNACC nei campi delle infrastrutture, della salute e della ricerca.

Occorre inoltre segnalare le risorse della Cassa Depositi e Prestiti che, similmente a quanto già fanno gli istituti equivalenti europei, supporta la creazione di un mercato finanziario in ambito infrastrutturale a cui potrebbero teoricamente attingere quegli attori interessati ad implementare le misure adattative dei trasporti e delle infrastrutture energetiche.

Il “Programma sperimentale di interventi per l’adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano” prevede circa 80 milioni di euro ed è finalizzato ad aumentare la resilienza dei sistemi insediativi soggetti ai rischi generati dai cambiamenti climatici, con particolare riferimento alle ondate di calore e ai fenomeni di precipitazioni estreme e di siccità.

Programmi Regionali

A livello regionale si trovano sostanzialmente tre tipi di strumenti di finanziamento: i Piani Operativi Regionali (POR), i programmi europei di cooperazione transfrontaliera e i vari patti siglati d’intesa tra le amministrazioni regionali e quella centrale. Come già accennato, i POR e programmi INTERREG di pertinenza dell’Italia, recependo le linee guida europee, prevedono molte spese in ambito ambientale e persino risorse espressamente dedicate all’adattamento. Molte regioni italiane hanno infatti selezionato, tra i vari Obiettivi Tematici definiti dall’UE, anche l’adattamento (inteso specialmente come opera di sistemazione del territorio contro il dissesto geologico e idrologico). E inoltre, sempre nella logica dell’integrazione (*mainstreaming*) della spesa ordinaria, tutti i POR e gli INTERREG offrono risorse che possono essere usate per finanziare misure di adattamento nei campi della ricerca e innovazione, delle infrastrutture di trasporto, dell’energia ed efficienza energetica, della protezione e adattamento delle risorse ambientali e culturali.

6 GOVERNANCE DELL’ADATTAMENTO

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulla società sono così pervasivi che le risposte degli Stati devono essere sistemiche, come anche previsto nella Strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici del 2021. Allo stesso tempo, le modalità di azione sono inevitabilmente diverse da uno Stato all’altro, anche in relazione ai diversi sistemi di governo di ciascuno di essi.

Dal momento che i cambiamenti climatici hanno effetti su gran parte dei sistemi naturali, sull’uomo e sui settori socioeconomici, che sono tra loro interconnessi, l’adattamento ai cambiamenti climatici è caratterizzato da una forte inter-settorialità e multi-settorialità di azione. Inoltre, la pianificazione e l’attuazione di adeguate azioni di adattamento, nonché il monitoraggio della loro efficacia, presuppone una organizzazione multilivello poiché la tematica intercetta molte competenze a diversi livelli di governo, sia orizzontalmente che verticalmente, e richiede la partecipazione attiva e consapevole della società civile.

Pertanto, è fondamentale l’istituzione di una struttura di *governance* che possa rappresentare l’organismo di riferimento a livello nazionale e che coinvolga a vario titolo e nel rispetto dei rispettivi ruoli, Pubbliche Amministrazioni, enti tecnici e società civile.

La struttura di *governance* sarà fondamentale per la definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle azioni del PNACC ai diversi livelli di governo e per la seconda fase del percorso del PNACC che garantirà l’immediata operatività del Piano. I risultati di questa attività convergeranno in piani settoriali o intersettoriali, nei quali saranno delineati gli interventi da attuare.

Nell’ottica di garantire la circolarità delle risorse, la struttura di governance del PNACC dovrà garantire una stretta sinergia con l’Osservatorio sull’attuazione della strategia nazionale dell’economia circolare.

6.1 Osservatorio nazionale per l’adattamento ai cambiamenti climatici

Il Decreto Direttoriale n. 86 del 16 giugno 2015 di adozione della SNAC prevede l’istituzione:

- di un Osservatorio nazionale composto dai rappresentanti delle Regioni e delle rappresentanze locali, per l’individuazione delle priorità territoriali e settoriali e per il monitoraggio dell’efficacia delle azioni di adattamento;
- di un Forum permanente, per la promozione dell’informazione, della formazione, e della capacità decisionale dei cittadini e dei portatori di interesse.

In linea con le suddette indicazioni, la prima azione individuata nel presente Piano, che potrà realizzarsi con il presupposto di una adeguata copertura economica, è rappresentata dalla istituzione di una struttura permanente di governance, “L'Osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici”, di seguito “Osservatorio”.

L'Osservatorio, concepito come una struttura a partecipazione più ampia rispetto a quella prevista nel decreto di adozione della SNAC, svolge, nel suo complesso, funzioni di indirizzo e coordinamento, oltre che di analisi e confronto, per la pianificazione e l'attuazione delle azioni di adattamento.

In particolare, l'Osservatorio svolge i seguenti compiti:

- curare l'aggiornamento periodico del PNACC;
- aggiornare nel tempo le azioni di adattamento individuate dal PNACC e le relative priorità di intervento;
- individuare le specifiche fonti di finanziamento per l'attuazione delle azioni individuate dal PNACC fornendo indirizzi per il loro utilizzo e proposte di coordinamento e integrazione tra strumenti di pianificazione e programmazione nazionali e regionali;
- curare le attività di monitoraggio, *reporting* e valutazione;
- valutare la coerenza con le previsioni del PNACC di eventuali proposte presentate dalle Regioni, dagli Enti Locali o altri Enti pubblici.

L'Osservatorio è composto da:

- un organo collegiale con funzioni di indirizzo e coordinamento (Comitato);
- una struttura di supporto tecnico e amministrativo (Segreteria);
- **un organo consultivo-divulgativo (Forum).**

A seguito dell'approvazione del PNACC si procederà con l'istituzione del Comitato e della Segreteria dell'Osservatorio che sarà effettuata con decreto del Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica, da emanare entro tre mesi dal decreto ministeriale di approvazione del PNACC.

6.1.1 Comitato

Il Comitato è l'organismo dell'Osservatorio con funzioni di indirizzo e coordinamento per la pianificazione e attuazione di azioni di adattamento. Sarà composto da 16 membri, nominati con decreto del Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica. Dei 16 membri, due saranno designati dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, uno dal Ministero dell'Economia e Finanze, uno dal Ministero dell'Agricoltura, Sovranità alimentare e Foreste, uno dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, uno dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy, uno dal Ministero del Lavoro e Politiche sociali, uno dal Ministero dell'Università e ricerca, uno dal Ministero della Protezione civile e delle Politiche del mare, uno dal Ministero della Cultura, uno dal Ministero della Salute, uno dal Dipartimento della protezione civile della Presidenza del Consiglio dei ministri, uno dall'Agenzia Nazionale ItaliaMeteo, due dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, un membro rappresentante dei Comuni designato dall'ANCI. Alle riunioni del Comitato potranno partecipare, altresì, i rappresentanti di Ministeri o di enti diversi, comprese le Autorità di Bacino distrettuali, aventi competenza nelle materie oggetto delle tematiche poste all'ordine del giorno dal Comitato.

Entro il mese successivo all'emanazione del decreto ministeriale di istituzione del Comitato e della Segreteria, è previsto l'insediamento del Comitato che, in prima seduta, provvederà ad approvare il proprio regolamento di organizzazione e funzionamento.

Entro il mese successivo all'insediamento, il Comitato provvede ad individuare i componenti di specifici Gruppi di lavoro.

Successivamente, il Comitato si riunisce almeno una volta all'anno, nell'ultimo trimestre di ogni anno. Tale incontro rappresenta la riunione annuale di coordinamento finalizzata ad effettuare un'analisi dell'attività svolta ed a programmare l'attività dell'anno successivo. Specifiche riunioni di carattere generale o tematico potranno svolgersi in qualunque momento in base alle necessità.

Il supporto operativo al Comitato è garantito dalla Segreteria, operante presso il MASE, le cui funzioni e composizione sono descritte al seguente paragrafo

6.1.2 Segreteria

La Segreteria rappresenta la struttura di supporto tecnico-amministrativo dell'Osservatorio, con il compito di:

- garantire il supporto al Comitato per l'individuazione e l'acquisizione dei contributi conoscitivi di natura tecnico-scientifica destinati all'aggiornamento del PNACC e quelli eventualmente necessari allo svolgimento delle altre attività di competenza;
- analizzare e veicolare al Comitato le informazioni necessarie alla pianificazione, all'attuazione e al monitoraggio delle azioni del PNACC;
- predisporre gli atti necessari al corretto svolgimento delle funzioni del Comitato.

La Segreteria è composta da rappresentanti della Direzione Generale del MASE competente per la tematica dell'adattamento ai cambiamenti climatici, da rappresentanti dell'ISPRA e da rappresentanti di altri Soggetti pubblici eventualmente individuati dal Comitato.

La Segreteria, per lo svolgimento dei propri compiti, può avvalersi di soggetti tecnici attraverso la stipula di appositi accordi.

6.1.3 Forum

Il Forum rappresenta l'organo dell'Osservatorio avente la funzione di garantire il coinvolgimento dei portatori di interessi e della società civile nell'implementazione delle politiche pubbliche sull'adattamento ai cambiamenti climatici e, in particolare, nell'attuazione del Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici.

In generale, il Forum promuove la tutela dei diritti e degli interessi coinvolti; favorisce, nelle appropriate circostanze e secondo le previste modalità, l'accesso alle informazioni, la partecipazione ai processi decisionali e l'accesso alla giustizia.

Il Forum svolge i seguenti compiti ai fini dell'adattamento:

- favorire il confronto tra tutti i soggetti della Pubblica Amministrazione, a tutti i livelli, e altri soggetti che a vario titolo si occupano di adattamento;
- informare la società civile e i portatori di interessi, agevolando e sollecitando la partecipazione attiva e la restituzione di contributi da utilizzare nei lavori del Comitato;
- fornire indicazioni operative per l'attuazione del PNACC;
- restituire il contributo dei partecipanti ai fini del monitoraggio dell'attuazione del PNACC;
- contribuire a disseminare i risultati delle attività dell'Osservatorio;
- favorire lo scambio di informazioni tra gli organi deputati alla programmazione in materia di adattamento.

Lo strumento informatico di riferimento per i lavori del Forum è costituito dalla **Piattaforma nazionale adattamento ai cambiamenti climatici**. La Piattaforma, sviluppata dall'ISPRA, è stata pubblicata nel mese di ottobre 2022 con l'obiettivo di informare, sensibilizzare e rendere disponibili dati e informazioni provenienti da diverse fonti, utili a supportare gli Enti coinvolti nel processo decisionale sul tema dell'adattamento. Il Forum provvede a veicolare alla società civile e ai portatori di interessi le informazioni della Piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici ed a raccogliere da essi commenti, proposte e contributi utili all'aggiornamento dei contenuti della Piattaforma.

La partecipazione al Forum sarà aperta ai soggetti operanti nell'ambito delle politiche per l'adattamento, quali, ad esempio, associazioni di categoria, associazioni ambientali riconosciute, associazioni della società civile, rappresentanze sindacali, università.

Entro un mese dall'insediamento del Comitato, il Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica provvede ad emanare un apposito avviso, sul proprio sito istituzionale, per l'acquisizione delle manifestazioni di interesse alla partecipazione al Forum sull'adattamento.

Entro due mesi dal suo insediamento, il Comitato provvede a formalizzare la composizione del Forum e le sue modalità di funzionamento.

Il Forum sarà articolato per gruppi di lavoro tematici la cui organizzazione interna sarà indipendente da quella degli altri gruppi, autonomi nella formazione della propria agenda di lavoro, nelle modalità di conduzione delle discussioni e nella calendarizzazione degli incontri.

La funzione di raccordo dei gruppi tematici sarà assicurata dai coordinatori degli stessi, che avranno anche il compito di relazionare periodicamente al Comitato sull'andamento dei lavori del Forum.

Gli esiti dei lavori del Forum sono presentati nell'ambito di una conferenza nazionale annuale, aperta anche ad altri soggetti non partecipanti al Forum.

6.1.4 Tempistiche

La tabella seguente riporta le tempistiche di attuazione del PNACC in relazione alla formazione e insediamento dell'Osservatorio e alle azioni sistemiche descritte al paragrafo 4.1.

TEMPISTICA (MAX)	SOGGETTO	AZIONE	STRUMENTO
-	MASE	- Approvazione PNACC	• Decreto MASE
Entro tre mesi dall'approvazione del PNACC	MASE	- Istituzione e costituzione del Comitato e della Segreteria (Azione di sistema n. 1 del PNACC)	• Decreto MASE
Entro un mese dal decreto di istituzione dell'Osservatorio	Comitato	- Insediamento del Comitato	• Verbale di approvazione del regolamento di organizzazione e funzionamento del Comitato
Entro un mese dall'insediamento del Comitato	Comitato	- Individuazione dei componenti dei Gruppi di Lavoro	• Verbale di approvazione dei Gruppi di Lavoro
Entro un mese dall'insediamento del Comitato	Segreteria	- Definizione regolamento di funzionamento del Forum; - Manifestazione interesse per la partecipazione al Forum.	• Avviso su sito MASE
Entro due mesi dall'insediamento del Comitato	Comitato	- Formalizzazione composizione del Forum.	• Elenco partecipanti
Entro sei mesi dal decreto di approvazione del PNACC	Comitato	- Individuazione delle modalità, degli strumenti e dei soggetti competenti per l'introduzione di principi, misure e azioni di adattamento ai cambiamenti climatici nei Piani e Programmi nazionali, regionali e locali (Azione di sistema n. 2 del PNACC)	• Proposta di Documento/Atto di indirizzo
Entro sette mesi dall'insediamento del Comitato	Comitato	- Prima integrazione e aggiornamento degli indicatori del Sistema MRV e avvio della condivisione con le Regioni	• Verbale di approvazione delle integrazioni al Sistema di Monitoraggio Reporting e Valutazione
Entro dodici mesi dal decreto di approvazione del PNACC	MASE	- Istituzione del Programma di ricerca su impatti, vulnerabilità e rischi in Italia (Azione di sistema n. 4 del PNACC)	• Atto di istituzione del Programma di ricerca
Entro dodici mesi dall'insediamento del Comitato	Comitato	- Definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle misure del PNACC ai diversi livelli di governo (Azione di sistema n. 3 del PNACC)	• Proposta di Documento/Atto di indirizzo

6.2 Monitoraggio, reporting e valutazione del PNACC

Negli ultimi anni è aumentata sia la consapevolezza che l'adattamento rappresenti una componente fondamentale e necessaria della risposta sociale e istituzionale al cambiamento climatico (Karali and Mattern 2017), sia l'entità della spesa pubblica destinata allo sviluppo e all'attuazione delle politiche e delle azioni di adattamento. Conseguentemente, è cresciuto l'interesse delle istituzioni a tenere traccia dell'impiego dei fondi e a garantire che gli investimenti sostenuti risultino giustificati, convenienti ed efficaci nel raggiungere i risultati attesi (Hammill et al. 2014b; EEA 2015; EEA 2016). Anche per questo motivo, è fondamentale lo sviluppo di processi di monitoraggio, *reporting* e valutazione (MRV).

Il monitoraggio esamina i progressi compiuti nell'attuazione delle politiche e delle misure di adattamento su un determinato arco di tempo; la valutazione si focalizza sulla loro efficacia, mentre il *reporting* consiste nella documentazione e comunicazione dei risultati conseguiti.

I dati e le informazioni prodotte possono aiutare a stabilire le priorità da assegnare alle politiche e alle azioni, in modo che gli obiettivi di adattamento siano raggiunti in maniera economicamente efficace (OECD 2015). Inoltre, essi aiutano ad identificare tempestivamente eventuali lacune conoscitive, a migliorare l'apprendimento e a definire chiaramente i ruoli e le responsabilità dei decisori politici coinvolti (EEA 2016; UNFCCC 2010).

Incorporare le attività di MRV nel ciclo delle politiche di adattamento e nei processi connessi è di grande importanza e di beneficio nel lungo periodo.

Relativamente al sistema di *governance* previsto dal Piano, il Comitato di coordinamento dell'Osservatorio avvia, immediatamente dopo la sua istituzione, le attività per l'attuazione del Sistema di Monitoraggio, *Reporting* e Valutazione del PNACC, attraverso l'organizzazione dei ruoli e la quantificazione delle risorse da destinare alla gestione dello stesso.

Entro sette mesi dal suo insediamento, il Comitato provvede alla prima integrazione e aggiornamento degli indicatori del Sistema MRV avviando, altresì, il processo di condivisione con le Regioni e le Autorità di Bacino distrettuali dei criteri di raccolta e trasmissione dei dati di monitoraggio.

Monitoraggio

Il sistema di monitoraggio costituisce un elemento essenziale del processo di attuazione di un Piano.

Per ognuno dei processi MRV, l'individuazione di indicatori adeguati permette di:

- (i) monitorare l'attuazione delle politiche di adattamento, le misure e le azioni;
- (ii) giustificare e monitorare i finanziamenti per i programmi di adattamento sulla base degli obiettivi fissati;
- (iii) integrare l'adattamento attraverso collegamenti tra settori e relativi indicatori;
- (iv) comunicare l'adattamento ai decisori politici e ad altri soggetti interessati;
- (v) confrontare i risultati di adattamento a scala sub-nazionale e tra settori di interesse (Harley and van Minnen 2009, p.4).

La raccolta dei dati per costruire indicatori nazionali è un processo molto intenso in termini di risorse e necessita di una metrica condivisa che permetta di confrontare i risultati della valutazione.

Lo spettro degli indicatori è piuttosto ampio e la loro scelta riflette le finalità e gli obiettivi del sistema MRV e dal contesto di riferimento (locale/nazionale). Gli indicatori devono essere rappresentativi, ossia essere in grado di misurare i progressi su fattori importanti, ed essere facilmente disponibili in maniera continua per garantirne il monitoraggio.

Per ciascuna azione di adattamento presente nel Database delle azioni (Allegato IV), sono stati individuati indicatori di avanzamento e indicatori di efficacia. Gli indicatori sono stati successivamente rivisti nel loro insieme e raggruppati per principali tipologie di azione, categorie e macrocategorie, sebbene tale attribuzione non sia da intendersi in modo rigido. Infatti, ogni indicatore può essere rilevante per più di una tipologia di azione, categoria e macrocategoria. L'elenco così costruito è stato poi valutato da esperti di MRV in tema di adattamento ai cambiamenti climatici. Questa elaborazione è

stata svolta allo scopo di: (i) armonizzare l'elenco degli indicatori (eliminando duplicazioni o indicatori ai quali erano stati dati nomi diversi ma con la stessa metrica) oltre ad (ii) individuare e colmare potenziali lacune della prima lista.

I fogli di lavoro "Indicatori di avanzamento" e "Indicatori di efficacia" del Database rappresentano un *portfolio* di indicatori che dovranno essere successivamente affinati e adattati al contesto territoriale, al fine di fornire un valido supporto al sistema di MRV nazionale del PNACC.

In ogni caso, anche durante la fase di implementazione del Piano, l'elenco degli indicatori deve essere inteso come un insieme "in itinere", ossia che necessita di essere revisionato e aggiornato in base alle nuove informazioni disponibili, considerando eventuali cambiamenti nel contesto complessivo italiano. Per quanto riguarda il monitoraggio ambientale del Piano, come indicato nel Rapporto Ambientale, sarà realizzato e gestito attraverso la collaborazione tra Autorità Procedente e Autorità Competente per la VAS anche avvalendosi, come previsto dal D.lgs. 152/06, del sistema delle Agenzie ambientali e dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Esso sarà sviluppato attraverso l'utilizzo di idonei indicatori selezionati in riferimento alle finalità da perseguire: indicatori di contesto, per seguire l'evoluzione dello stato di qualità ambientale interessato dagli effetti del Piano; indicatori di processo, per seguire l'avanzamento dell'attuazione delle misure del Piano; indicatori di contributo, per misurare la variazione dello stato ambientale imputabile alle misure del Piano.

Gli indicatori di avanzamento definiti nel PNACC, riportati nell'allegato IV costituiscono indicatori di processo per il monitoraggio ambientale.

Reporting

L'Italia, in quanto parte della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), deve trasmettere periodicamente al Segretariato un insieme di informazioni sulle rispettive politiche e misure sul cambiamento climatico attraverso la "Comunicazione Nazionale". La decisione 6/CP.25 prevede che le Parti dell'Annesso I dell'UNFCCC (che contiene la lista dei Paesi industrializzati e Paesi con economie in transizione) trasmettano, entro il 31 dicembre 2022, l'ottava Comunicazione Nazionale nell'ambito della UNFCCC, contenente una apposita sezione dedicata all'adattamento "*Vulnerability assessment, climate change impacts and adaptation measures*". L'Italia ha trasmesso entro i termini stabiliti l'ottava Comunicazione.

In merito al *reporting* in ambito europeo, il Regolamento (UE) 2018/1999 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018, sulla *governance* dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima, all'articolo 19, impone l'obbligo per gli Stati membri di comunicazione delle azioni nazionali di adattamento.

In particolare, "Entro il 15 marzo 2021 e successivamente ogni due anni gli Stati membri comunicano alla Commissione le informazioni sui rispettivi piani e strategie di adattamento, delineando le azioni attuate e previste per agevolare l'adattamento ai cambiamenti climatici, ivi comprese le informazioni di cui all'allegato VIII parte 1, e in conformità degli obblighi di comunicazione concordati nel quadro della Convenzione UNFCCC e dell'Accordo di Parigi".

A seguito dell'emanazione del Regolamento di esecuzione (UE) 2020/1208 della Commissione del 7 agosto 2020, riguardante la struttura, il formato, le procedure di trasmissione e la revisione delle informazioni comunicate dagli Stati membri a norma del regolamento (UE) 2018/1999, le informazioni da trasmettere sono contenute nell'allegato I del suddetto Regolamento.

L'Italia ha effettuato entro il termine stabilito del 15 marzo 2023 la trasmissione delle informazioni richieste nell'ambito del secondo ciclo di reporting.

A seguito dell'approvazione del PNACC, alle attività sopra descritte, si aggiungerà il rapporto di monitoraggio del PNACC da predisporre con cadenza triennale.

Il monitoraggio ambientale del PNACC è predisposto secondo le modalità prescritte dall'art. 18 del D.lgs. 152/2006. I risultati e le eventuali misure correttive adottate sono trasmessi all'Autorità Competente per la VAS e all'Autorità Concertante il Parere motivato di VAS rappresentata dalla Direzione Generale competente del Ministero della Cultura.

Valutazione

La fase di "valutazione" consiste nell'analisi dei risultati del monitoraggio rappresentati nel documento di *reporting* al fine di verificare lo stato di avanzamento del Piano, valutarne gli effetti, il raggiungimento dei risultati e il manifestarsi di risultati eventualmente inattesi, anche al fine di apportare gli eventuali correttivi al PNACC che si rendessero necessari.

L'attività di valutazione è svolta dall'Osservatorio, avvalendosi del supporto di soggetti tecnici da attivare attraverso apposite convenzioni ed è funzionale all'aggiornamento periodico del PNACC, previsto ogni sei anni a partire dalla sua approvazione, coerentemente con le tempistiche del monitoraggio.