



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

PIANO NAZIONALE DI ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA

RAPPORTO AMBIENTALE

(Art. 13, Allegato VI del D.lgs 152/06 e s.m.i.)

GENNAIO 2023

SOMMARIO

PREMESSA	5
1 Inquadramento metodologico e procedurale.....	5
2 Obiettivi, contenuti e azioni del PNACC.....	8
2.1 Quadro di riferimento normativo e programmatico	8
2.1.1 L'applicazione alla tematica dei cambiamenti climatici di norme e principi formati in materia ambientale e per fini di salvaguardia dei diritti umani	8
2.1.2 Gli atti adottati a livello internazionale che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici	8
2.1.3 Gli atti adottati a livello dell'Unione europea che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici	10
2.1.4 Gli atti adottati a livello nazionale che vertono specificamente sul tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici	13
2.1.5 La dimensione regionale e locale dell'adattamento ai cambiamenti climatici.....	14
2.2 Finalità e obiettivi del PNACC.....	16
2.3 Misure e azioni del PNACC.....	16
2.4 Alternative di Piano.....	18
3 Contesto ambientale e scenario evolutivo	24
3.1 Quadro climatico.....	25
3.2 Biodiversità in ambito terrestre	34
3.2.1 Ecosistemi terrestri	34
3.2.2 Specie alloctone e invasive	54
3.2.3 Foreste e incendi boschivi.....	58
3.3 Ambienti marini e costieri.....	67
3.3.1 Variazione della Temperatura Superficiale del Mare	68
3.3.2 Variazione del livello medio del mare e <i>storm surges</i>	70
3.3.3 Salinità.....	73
3.3.4 Acidificazione	77
3.3.5 Frequenza e intensità delle mareggiate.....	79
3.3.6 Erosione costiera.....	82
3.3.7 Effetti del cuneo salino alle foci e riflessi sulla disponibilità delle risorse idriche	85
3.3.8 Ecosistemi marini e costieri	88

3.3.8.1	Habitat e specie.....	88
3.3.8.2	Stato di conservazione delle specie e degli habitat marini.....	91
3.3.8.3	Pressioni e minacce.....	93
3.3.8.4	Aree marine protette.....	97
3.3.8.5	Vulnerabilità degli ecosistemi marini e costieri.....	99
3.3.8.6	Qualità delle acque di balneazione.....	105
3.3.8.7	Harmful Algal Blooms (HABs) negli ecosistemi marino costieri.....	109
3.3.9	Ambienti di transizione.....	112
3.3.9.1	Acque di transizione in Italia.....	112
3.3.9.2	Stato ambientale.....	117
3.3.9.3	Criticità e vulnerabilità degli ambienti di transizione in relazione ai fattori climatici.....	123
3.4	Suolo e territorio.....	131
3.4.1	I fattori di degrado del suolo.....	132
3.4.2	Consumo di suolo.....	133
3.4.3	Copertura e uso del suolo.....	137
3.4.4	Perdita di Carbonio Organico nel suolo.....	139
3.4.5	Erosione idrica.....	140
3.4.6	Salinizzazione dei suoli.....	141
3.5	Dissesto geologico e idraulico.....	142
3.5.1	Dissesto idraulico.....	142
3.5.2	Pericolosità geomorfologica.....	149
3.6	Risorse idriche.....	155
3.6.1	Aspetti quantitativi.....	156
3.6.2	Acque superficiali.....	161
3.6.3	Acque sotterranee – normativa nazionale e aspetti qualitativi.....	164
3.6.4	Ghiacciai.....	168
3.7	Atmosfera.....	171
3.7.1	Emissioni di inquinanti in atmosfera.....	171
3.7.2	Emissioni di gas serra.....	172
3.7.3	Qualità dell'aria.....	173
3.8	Popolazione e salute umana.....	182
3.8.1	Popolazione.....	182
3.8.2	Salute.....	186
3.9	Patrimonio culturale.....	193
3.9.1	Strumenti di tutela dei beni culturali e paesaggistici.....	193
3.9.2	Beni culturali.....	197

3.9.3	Beni paesaggistici	199
3.9.4	Patrimonio culturale e cambiamenti climatici	201
3.9.5	Degrado dei beni culturali.....	205
3.10	Settori antropici	207
3.10.1	Energia.....	207
3.10.2	Agricoltura.....	213
3.10.2.1	Agricoltura biologica	216
3.10.2.2	Interrelazioni fattori climatici e agricoltura	217
3.10.3	Pesca marittima	221
3.10.4	Acquacoltura	227
3.10.5	Turismo	230
3.10.6	Insedimenti urbani	231
3.10.7	Infrastrutture di Trasporto Terrestre	233
3.10.8	Trasporto aereo e infrastrutture aeroportuali.....	234
3.10.9	Ambienti portuali	236
4	Obiettivi ambientali e pianificazione/programmazione pertinente	241
4.1	Quadro delle politiche, strategie, normative ambientali di riferimento e strumenti di pianificazione pertinenti	241
4.2	Obiettivi di sostenibilità ambientale e analisi di coerenza.....	245
5	Effetti ambientali del PNACC.....	274
6	Valutazione d'Incidenza Ambientale.....	302
7	Misure di monitoraggio.....	302
7.1	Impostazione metodologica del monitoraggio ambientale	303
7.2	Monitoraggio dell'attuazione del PNACC.....	304
7.3	Monitoraggio del contesto ambientale	306
7.4	Monitoraggio degli effetti ambientali del PNACC.....	322
7.5	Modalità di attuazione del monitoraggio	323
8	BIBLIOGRAFIA.....	325

ALLEGATO 1: Riscontro alle osservazioni formulate nell'ambito della consultazione preliminare

ALLEGATO 2: Quadro delle politiche, strategie, normative ambientali di riferimento e strumenti di pianificazione pertinenti

ALLEGATO 3: STUDIO DI INCIDENZA

PREMESSA

In attuazione della Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici, approvata con decreto direttoriale n. 86 del 16 giugno 2015, è stata avviata l'elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), con l'obiettivo di rendere il quadro di riferimento nazionale sull'adattamento funzionale alla progettazione di azioni concrete sul territorio italiano e di fornire un indirizzo per l'integrazione della tematica dell'adattamento negli strumenti di pianificazione esistenti.

Nel 2018 è stato avviato il dialogo con la Conferenza Stato-Regioni sulla bozza di Piano, ai fini dell'acquisizione dell'accordo sui suoi contenuti, propedeutico alla definitiva approvazione, a seguito del quale il Ministero ha ritenuto di avviare un processo partecipativo strutturato, quale quello incluso nel procedimento di Valutazione Ambientale Strategica (VAS).

Nel mese di luglio 2020 è stata quindi avviata la consultazione dei Soggetti Competenti in materia Ambientale per la verifica di assoggettabilità a VAS, che si è conclusa il 20 ottobre 2020 con l'emanazione del provvedimento con il quale è stato determinato che il "Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) debba essere sottoposto al procedimento di VAS secondo le disposizioni di legge vigenti in materia, recependo il parere espresso dalla CTVA".

Il 16 febbraio 2021 è stata quindi aperta la fase di scoping, con la consultazione dei Soggetti Competenti in materia Ambientale, conclusasi con il parere CTVA n.13 del 03/05/2021.

Nel 2022, il Ministero ha istituito un apposito Gruppo di Lavoro con decreto direttoriale n. 96 del 12 luglio 2022, per il necessario supporto tecnico alla rielaborazione del Piano e alla redazione dei documenti di VAS alla luce delle osservazioni formulate dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS nel sopra citato parere e della intervenuta normativa europea.

Detto GdL tecnico PNACC è composto da MASE – DG USSRI, ISPRA e con la partecipazione di esperti della Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), di componenti Sogesid del Progetto "CREIAMO PA - Linea di intervento 5 - Rafforzamento della capacità amministrativa per l'adattamento ai cambiamenti climatici". In particolare, l'elaborazione del RA è stata curata da ISPRA.

L'attività del GdL PNACC ha consentito l'interazione tra attività di formazione del piano e le attività di analisi e valutazione ambientale.

1 Inquadramento metodologico e procedurale

La Valutazione Ambientale Strategica (VAS) accompagna il processo di formazione e attuazione di piani/programmi con la finalità di garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente e contribuire all'integrazione di considerazioni ambientali assicurando che piani e/o programmi siano coerenti e contribuiscano alle condizioni per uno sviluppo sostenibile.

Il processo di valutazione ambientale strategica è parte integrante del procedimento di adozione e approvazione di un piano/programma e comprende lo svolgimento di una verifica di assoggettabilità quando prevista, l'elaborazione del rapporto ambientale, lo svolgimento di consultazioni, la valutazione del piano o del programma, del rapporto e degli esiti delle consultazioni, l'espressione di un parere motivato, l'informazione sulla decisione ed il monitoraggio.

Il rapporto ambientale rappresenta il documento principale in cui debbono essere individuati, descritti e valutati gli impatti significativi che l'attuazione del piano o del programma proposto potrebbe avere sull'ambiente e sul

patrimonio culturale, nonché le ragionevoli alternative che possono adottarsi in considerazione degli obiettivi e dell'ambito territoriale del piano o del programma stesso.

L'allegato VI al decreto legislativo 152/06 riporta le informazioni da fornire nel Rapporto Ambientale a tale scopo, nei limiti in cui possono essere ragionevolmente richieste, tenuto conto del livello delle conoscenze e dei metodi di valutazione correnti, dei contenuti e del livello di dettaglio del piano. Il Rapporto Ambientale dà atto della consultazione svolta nella fase preliminare di scoping ed evidenzia come sono stati presi in considerazione i contributi pervenuti. Si rimanda all'Allegato 1 – *Riscontro alle osservazioni formulate nell'ambito della consultazione preliminare* per le modalità con cui sono state considerate le osservazioni ripartite tra quelle relative al Piano e quelle pertinenti al RA.

Il presente Rapporto Ambientale relativo al Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) è organizzato in 7 capitoli e tre allegati, indicati di seguito, per rispondere a quanto richiesto dalla normativa in tema di VAS, in particolare all'allegato VI del sopra citato Decreto.

Capitoli Rapporto Ambientale	Allegato VI D.lgs 152/06
Inquadramento metodologico e procedurale ALLEGATO 1	Art. 13 comma 4 Il Rapporto ambientale dà atto della consultazione svolta nella fase preliminare di scoping ed evidenzia come sono stati presi in considerazione i contributi pervenuti.
2. Obiettivi, contenuti e azioni del Piano	a) illustrazione dei contenuti, degli obiettivi principali del piano o programma h) sintesi delle ragioni della scelta delle alternative individuate e una descrizione di come è stata effettuata la valutazione
3. Contesto ambientale e scenario evolutivo	b) aspetti pertinenti dello stato attuale dell'ambiente e sua evoluzione probabile senza l'attuazione del piano o del programma; c) caratteristiche ambientali, culturali e paesaggistiche delle aree che potrebbero essere significativamente interessate; d) qualsiasi problema ambientale esistente, pertinente al piano o programma,
4. Obiettivi ambientali e pianificazione/programmazione pertinente ALLEGATO 2	a) illustrazione [...] del rapporto con altri pertinenti piani o programmi e) obiettivi di protezione ambientale stabiliti a livello internazionale, comunitario o degli Stati membri, pertinenti al piano o al programma, e il modo in cui, durante la sua preparazione, si è tenuto conto di detti obiettivi e di ogni considerazione ambientale;
5. Effetti ambientali del PNACC	f) possibili impatti significativi sull'ambiente, compresi aspetti quali la biodiversità, la popolazione, la salute umana, la flora e la fauna, il suolo, l'acqua, l'aria, i fattori climatici, i beni materiali, il patrimonio culturale, anche architettonico e archeologico, il paesaggio e l'interrelazione tra i suddetti fattori. Devono essere considerati tutti gli impatti significativi, compresi quelli secondari, cumulativi, sinergici, a breve, medio e lungo termine, permanenti e temporanei, positivi e negativi; g) misure previste per impedire, ridurre e compensare nel modo più completo possibile gli eventuali impatti negativi significativi sull'ambiente dell'attuazione del piano o del programma;
6. Valutazione d'Incidenza ambientale ALLEGATO 3	Art. 10 comma 3

Capitoli Rapporto Ambientale	Allegato VI D.lgs 152/06
	il rapporto ambientale, lo studio preliminare ambientale o lo studio di impatto ambientale contengono gli elementi di cui all'allegato G dello stesso decreto n. 357 del 1997
7. Misure di monitoraggio	i) descrizione delle misure previste in merito al monitoraggio e controllo degli impatti ambientali significativi derivanti dall'attuazione dei piani o del programma proposto definendo, in particolare, le modalità di raccolta dei dati e di elaborazione degli indicatori necessari alla valutazione degli impatti, la periodicità della produzione di un rapporto illustrante i risultati della valutazione degli impatti e le misure correttive da adottare;

Il quadro conoscitivo ambientale riportato al capitolo 3 “Contesto ambientale e scenario evolutivo”, oltre a descrivere lo stato ambientale dei fattori ritenuti pertinenti al PNACC, evidenzia eventuali criticità e vulnerabilità territoriali rispetto a specifici aspetti ambientali.

Il PNACC rappresenta uno strumento di indirizzo nazionale per l'implementazione di azioni di adattamento ai CC, individua azioni generali e settoriali le cui modalità e strumenti di attuazione ai diversi livelli di governo saranno definiti nell'ambito di una seconda fase contestualmente all'istituzione e all'operatività dell'Osservatorio, quale struttura di governance, i cui risultati convergeranno in piani settoriali o intersettoriali, nei quali saranno delineati gli interventi da attuare.

Per tale motivo nella redazione del RA, come richiamato dalla normativa sulla VAS, si è tenuto conto dei contenuti e del livello di dettaglio del PNACC; in particolare, con riferimento ai potenziali effetti ambientali, è stata svolta un'analisi qualitativa, rimandando alla fase di operatività dell'Osservatorio e alle pianificazioni settoriali /intersettoriali attuative per analisi quantitative più dettagliate.

L'analisi svolta ha integrato con elementi di carattere ambientale la valutazione delle azioni di adattamento settoriali svolta nel piano 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.

Anche la Valutazione d'Incidenza e l'individuazione delle misure di monitoraggio (definizione di indicatori) è stata svolta in considerazione dei contenuti e del livello di dettaglio del PNACC.

2 Obiettivi, contenuti e azioni del PNACC

Sono di seguito riportati e, in parte, riassunti i contenuti generali del PNACC. Per una trattazione dettagliata relativa agli argomenti illustrati in questa sezione del RA si rimanda al testo del PNACC.

2.1 Quadro di riferimento normativo e programmatico¹

2.1.1 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 sui territori degli Stati limitrofi, degli obblighi d'informazione d'urgenza, dell'obbligo – in taluni casi – di procedere a una valutazione d'impatto ambientale, dei principi di prevenzione, di precauzione, "chi inquina paga", delle responsabilità comuni ma differenziate e rispettive capacità, di equità intergenerazionale e intragenerazionale, dello sviluppo sostenibile, di non regressione, e di alcuni principi che trovano applicazione perlopiù nel contesto dell'Unione europea, quali i principi d'integrazione, di solidarietà, del divieto di arrecare un danno significativo all'ambiente (DNSH). Parimenti rilevanti risultano essere le norme che prevedono i cd. diritti individuali di natura procedurale, quali il diritto di accesso alle informazioni ambientali, il diritto di partecipazione ai processi decisionali e il diritto di accesso alla giustizia.

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 ripercuotersi sui diritti dell'uomo (es. d. alla salute, d. alla vita, d. alla vita privata e familiare, d. di proprietà), come si evince dall'ampio numero di procedimenti azionati dinanzi ai giudici nazionali e internazionali (es. dinanzi alla Corte europea dei diritti umani) che vertono sull'impatto dei cambiamenti climatici sui diritti umani.

2.1.2 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)

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.

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 nel 1994.

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 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 agli altri aspetti relativi alla mitigazione, il Protocollo di Kyoto contiene anche disposizioni in tema di adattamento: in particolare, rifacendosi al 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 194 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 per il periodo post-2020.

Costituisce lo strumento principale col 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 parte 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 parte, 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 nazionali 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 (cd. 5P) 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 nella dimensione ambientale, economica e sociale: 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 mira a 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 interseca sotto più aspetti l'adattamento, integrandosi con esso.

In esso è previsto espressamente che gli Stati devono adottare tutte le misure necessarie a prevenire e ridurre il rischio di disastri e che, a tal proposito, Stati e altri *stakeholders* devono promuovere e proteggere i diritti umani.

2.1.3 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 propugnatore 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.

Si richiamano qui sinteticamente, i principali atti che riguardano, specificamente o in parte, aspetti legati all'adattamento ai cambiamenti climatici, seguendo un ordine cronologico:

- 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 può 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.

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

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

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).

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.

2.1.4 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. Potenziamento 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 che assumono rilievo in tema di adattamento

Aspetti di rilievo per il tema dell'adattamento possono rinvenirsi, tra gli altri, nel quadro di diversi atti che hanno carattere trasversale o settoriale, come ad esempio 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 del CIPE 22 dicembre 2017, n. 108, in fase di revisione nel 2022); 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.

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

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 costieri, 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.

- Regionali di Qualità dell’Aria, Piani di protezione civile e di prevenzione multirischio, Piani sociali e sanitari, Strategie regionali per la lotta alla desertificazione;
- 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.

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.).

2.2 Finalità e obiettivi 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 2021⁴ 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 rimuovere.

2.3 Misure e azioni del PNACC

Il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici intende 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".

Sul piano "sistemico" il PNACC mira alla costruzione di un contesto organizzativo incentrato sul sistema di governance e sullo sviluppo delle conoscenze. Vengono pertanto delineate, in primo luogo, tre azioni di "rafforzamento amministrativo" costituite da:

- La definizione di una *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 nazionale 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 5.1 del PNACC per maggiori dettagli riguardanti composizione e funzioni;
- La definizione delle modalità di inclusione dei principi, delle misure e delle azioni di adattamento ai cambiamenti climatici nei Piani e Programmi nazionali, regionali e locali per i settori d'azione individuati nel PNACC, 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**).

Viene quindi 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**).

⁴ 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

L'insieme delle azioni di primo livello sopra descritte costituisce il presupposto fondamentale per dare attuazione, tramite la struttura di governance, 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 rimuovere.

Si riporta di seguito lo schema della tabella 7 del documento del PNACC dove vengono illustrate le suddette azioni.

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 e 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 e del PNACC	Dodici mesi dal decreto di approvazione del PNACC	MASE

Il secondo livello di intervento è mirato, invece, ad esercitare una “*funzione di indirizzo*”, in particolare verso il livello regionale e locale, individuando una cornice di riferimento entro la quale possano svilupparsi la pianificazione e la realizzazione delle azioni di adattamento. Esso è incentrato sulla definizione di un “*quadro delle misure di adattamento*” e su “*indirizzi per la pianificazione a scala regionale e locale*”.

In primo luogo, è definito un quadro organico delle “*possibili opzioni di adattamento*” che troveranno applicazione nei Piani settoriali e intersettoriali nelle modalità che saranno individuate dalla struttura di

governance. Esso è articolato in misure settoriali individuate, nell'ambito dell'elaborazione del documento di Piano del 2018, a partire dalle informazioni contenute nella Strategia nazionale di adattamento, dalle analisi sugli impatti attesi e sulla vulnerabilità delle risorse, dei processi ambientali e dei settori socioeconomici selezionati, tenendo in considerazione la condizione climatica attuale e futura, così come la normativa di settore esistente e le *best practices*.

È stato così individuato un insieme di 361 azioni settoriali di adattamento, presentate nel **Database delle azioni del PNACC**, 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 361 azioni è consultabile tramite il 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, offrendo anche un quadro di riferimento per la costruzione di pacchetti di azioni integrate che incidono su una stessa componente ambientale.

Il Database delle azioni è stato oggetto di revisione - rispetto a quello del 2018 - a seguito del recepimento delle osservazioni della Commissione tecnica VIA-VAS e delle sopravvenute necessità di aggiornamento.

Per ogni azione vengono indicate, ad esempio, 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 inoltre riportati altri elementi pertinenti (es. le fonti normative, gli enti potenzialmente coinvolti nell'attuazione, ecc.), nonché una prima proposta degli indicatori per il monitoraggio sia dello stato di avanzamento che dell'efficacia delle azioni.

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.

La "*funzione di indirizzo*" viene integrata nel PNACC da 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*". 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, allegati I e II del PNACC, 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.

2.4 Alternative di Piano

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.

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).

Il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha recepito gli indirizzi contenuti nei citati atti di fonte internazionale e dell'UE e, coerentemente con essi, oltreché con quanto previsto dalla SNAC, sta proseguendo gli sforzi intrapresi sin dal 2017 per giungere all'approvazione di un Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici.

La struttura del PNACC risponde all'esigenza 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 fornire indirizzi 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.

A seguito dell'approvazione del PNACC si aprirà la seconda fase del percorso, finalizzata a garantire l'immediata operatività del Piano mediante il lancio delle azioni. Questa fase, che sarà gestita dalla struttura di governance, è finalizzata alla pianificazione ed attuazione delle azioni di adattamento nei diversi settori attraverso la definizione di priorità, ruoli, responsabilità e fonti/strumenti di finanziamento per l'adattamento e, infine, la rimozione sia degli ostacoli all'adattamento costituiti dal mancato accesso a soluzioni praticabili, sia degli ostacoli di carattere normativo/regolamentare/procedurale.

I risultati di questa attività convergeranno in piani settoriali o intersettoriali, nei quali saranno delineati gli interventi da attuare.

L'opzione "0", assenza di un Piano, oltre ad essere in contrasto con le indicazioni internazionali ed europee in materia, si configurerebbe di fatto come la mancanza di una pianificazione coordinata a livello nazionale in tema di adattamento ai cambiamenti climatici, non potendosi realizzare l'obiettivo di indirizzo nazionale per l'implementazione di azioni finalizzate a ridurre al minimo i rischi derivanti dai cambiamenti climatici, migliorare la capacità di adattamento dei sistemi socioeconomici e naturali, nonché trarre vantaggio dalle eventuali opportunità che si potranno presentare con le nuove condizioni climatiche. Sebbene, anche in assenza di un Piano, molte azioni di adattamento potrebbero essere realizzate in diversi settori, occorre tenere presente che essendo l'adattamento ai cambiamenti climatici un tema fortemente caratterizzato da aspetti di multi-settorialità e inter-settorialità, nonché multilivello, azioni intraprese per far fronte ai cambiamenti climatici in un determinato settore o territorio potrebbero avere effetti negativi per altri settori e territori. Si pensi, ad esempio, agli usi plurimi della risorsa idrica e a quanto sia necessario un coordinamento nazionale per evitare che un approccio esclusivamente settoriale o circoscritto entro un singolo ambito amministrativo, porti ad interventi contraddittori e conflittuali rispetto alla stessa componente ambientale.

Per i motivi detti sopra, si ritiene che le azioni *soft* del PNACC, finalizzate allo sviluppo di un contesto conoscitivo e organizzativo a livello nazionale, siano propedeutiche e permettano di creare le condizioni necessarie per pianificare l'adattamento in maniera adeguata evitando situazioni di "maladattamento".

Il Piano presenta un insieme di misure settoriali, cioè di possibili opzioni di adattamento individuate dagli esperti nei diversi settori, coinvolti nella predisposizione del documento di Piano del 2018, in virtù delle loro competenze specifiche. L'individuazione delle misure settoriali è stata effettuata a partire dalle informazioni contenute nella Strategia nazionale di adattamento, dalle analisi sugli impatti attesi e sulla vulnerabilità delle risorse, dei processi ambientali e dei settori socioeconomici selezionati, tenendo in considerazione la condizione climatica attuale e futura, così come la normativa di settore esistente e le best practices. È stato così individuato un insieme di 361 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).

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.** In questo caso 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.** Questo concetto si riferisce ad azioni che 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.

Limitatamente alle misure green e grey, che sono circa 80, sono stati selezionati alcuni criteri all’interno del Database (Allegato VI del PNACC) al fine di porre in evidenza alcune caratteristiche delle misure settoriali proposte.

Scegliendo le misure alle quali è associato un giudizio di valore alto in merito al criterio dell’urgenza, il database restituisce più di 60 misure, cioè la maggior parte delle misure green e grey individuate sono state ritenute urgenti. Si deduce che, di fronte alle gravi criticità manifestate soprattutto negli ultimi anni nel territorio italiano, tenere conto solo del carattere di urgenza delle azioni non permette di individuare una alternativa preferibile rispetto ad altre.

Selezionando le misure che, oltre al carattere di urgenza, hanno ottenuto un giudizio di valore alto in termini di efficacia (quanto l’azione sia in grado di raggiungere lo scopo, cioè ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici) si ottengono quasi 50 azioni, per le quali occorre tenere presente che la valutazione dell’efficacia è un’attività complessa che richiede informazioni di dettaglio delle misure, non contenute nel Database del PNACC in quanto tali dettagli derivano dalle specifiche caratteristiche che l’azione assume nel momento e nel contesto, anche territoriale, della sua effettiva realizzazione. Infatti, per il monitoraggio dell’efficacia degli interventi sarà necessario avviare una prima raccolta dei dati, al fine di stabilire uno scenario iniziale di riferimento (baseline), cui seguirà un secondo momento di popolamento degli indicatori a partire dall’avvenuta realizzazione degli interventi, almeno nei casi in cui si prevede un’efficacia quantificabile sul breve termine. Attraverso l’elaborazione dei dati potrà essere costruito l’andamento nel tempo degli indicatori ed apprezzare il raggiungimento dei degli obiettivi di adattamento previsti.

In assenza di informazioni relative alla localizzazione delle misure settoriali, un procedimento di selezione opportuno potrebbe essere quello che permette di individuare le azioni green e grey che abbiano un giudizio

di valore alto relativamente ai seguenti criteri: robustezza (capacità di un'azione di mantenere un'efficacia accettabile in contesti diversi) e flessibilità (capacità di un'azione di adeguarsi, "a costi contenuti", a diversi contesti). Inoltre, essendo l'adattamento un tema multisetoriale, l'implementazione di un'azione potrebbe essere più complessa se necessita del coinvolgimento di diverse istituzioni. Pertanto, dal momento che è affidato alla struttura di governance, prevista dal PNACC, il compito di analizzare gli ostacoli all'adattamento costituiti dal mancato accesso a soluzioni praticabili ma anche da ostacoli di carattere normativo/regolamentare/procedurale e di individuare le soluzioni più opportune per la loro eliminazione, in questa fase sono state selezionate le misure giudicate ad alta percorribilità istituzionale e sociale. Ne deriva il seguente gruppo di 20 misure.

Settore	Azione/Misura	Descrizione	Tipo di misura
Agricoltura	Investimenti in immobilizzazioni materiali per l'efficientamento delle aziende agricole, promozione di forme di sharing e investimenti per la trasformazione e commercializzazione dei prodotti	Investimenti in strutture e impianti che facilitino l'adattamento ai cambiamenti climatici come ad esempio strutture per la protezione da gelo e grandine; miglioramenti strutturali per il benessere degli animali finalizzati a favorire l'adattamento al cambiamento climatico e alla realizzazione di condizioni più favorevoli di quanto già previsto o per adeguamenti alle norme obbligatorie già vigenti in materia; acquisto di macchine innovative per la lavorazione minima, semina su sodo, agricoltura di precisione, che riducono il consumo carburanti ed emissioni e ottimizzano l'uso delle risorse e acquisto di macchinari impianti o attrezzature funzionali ai processi di lavorazione e trasformazione del prodotto agricolo al fine di efficientare l'uso delle risorse e il trattamento dei reflui e degli scarti di lavorazione dei prodotti agricoli. Promozione di forme di condivisione dei mezzi.	GREY
Ecosistemi marini	Sviluppo di pratiche di recupero e restauro ecologico di ecosistemi marini compromessi o danneggiati.	Sviluppare pratiche di restauro ecosistemico per il recupero degli habitat marini degradati anche mediante trapianto di organismi e ricostruzione delle condizioni ambientali idonee alla piena resilienza (recupero) degli habitat e della biodiversità presente nell'area	GREEN
Energia	Sostituzione dei sistemi di raffreddamento a ciclo aperto con sistemi a ciclo chiuso	Utilizzo di sistemi di raffreddamento che riducano la dipendenza dalla disponibilità di risorse idriche per il raffreddamento	GREY
Energia	Utilizzo di raffreddatori ad aria, pompe addizionali o torri di raffreddamento	Utilizzo di sistemi di raffreddamento che riducano la dipendenza dalla disponibilità di risorse idriche per il raffreddamento	GREY
Energia	Introduzione di sistemi di raffreddamento più efficaci per gli impianti a biomassa	Disponibilità di sistemi di raffreddamento che riducano la vulnerabilità degli impianti nei confronti di ondate di calore	GREY
Ecosistemi terrestri	Interconnettività Alpi Appennino	Incentivare l'estensione dell'attuale rete di corridoi naturali e artificiali tra le aree protette nazionali, e in particolare tra le aree alpine e appenniniche, ed adeguarla allo spostamento degli areali delle specie più colpite dai cambiamenti climatici	GREEN
Foreste	Aumento della connettività territoriale – infrastrutture verdi	Realizzazione di "infrastrutture verdi" progettate e gestite con soluzioni efficaci basate su un approccio ecosistemico, per il ripristino e la conservazione dell'ambiente, per migliorare la connettività territoriale, in grado di attenuare gli impatti causati da eventi atmosferici estremi (inondazioni, erosione ripariale, desertificazione). Impianto di sistemi lineari con una o più specie arboree di interesse forestale e/o agrario, ai bordi dei campi agricoli per realizzare siepi, barriere frangivento o fasce tampone con primaria funzione di tutela per gli agro-ecosistemi nonché con funzione di "difesa" per le attività e produzioni agricole e di produzione accessoria di assortimenti legnosi (legno da opera e/o biomassa a uso energetico) e/o prodotti forestali non legnosi e per favorire l'adattamento ai cambiamenti climatici	GREEN

Foreste	Aumento della connettività territoriale – zone umide e agrosilvopastorali	Interventi per il restauro di aree umide, degli habitat e per il miglioramento della connettività ecologica (fasce tampone, siepi) in aree agrosilvopastorali, finalizzati al recupero dei paesaggi agrosilvopastorali e dei loro elementi colturali e tecnici distintivi	GREEN
Foreste	Conservazione delle risorse genetiche	Realizzazione, mantenimento e gestione di vivai forestali e "boschi da seme" per la produzione di materiale di moltiplicazione certificato e geneticamente compatibile e adatto alle condizioni locali nelle operazioni di recupero e ripristino; Conservazione ex situ e in situ (caratterizzazione, inventario, allestimento di campi collezione, raccolta e utilizzazione delle risorse genetiche in silvicoltura, mantenimento di unità di conservazione ex-situ, realizzazione di inventari telematici per le risorse genetiche attualmente conservate in situ, banche dei geni e database). Utilizzo nei rimboschimenti di semi e piante con provenienza verificata/certificata, tra cui l'utilizzo di sementi e di piantine selvatiche adatte per la semina/impianto	GREEN
Foreste	Infrastrutture di protezione per la tutela e conservazione della biodiversità – fauna selvatica	Tutela e controllo della fauna selvatica in foresta, mediante la costruzione di torrette per l'avvistamento, la realizzazione di punti di raccolta, opere di recinzioni e protezione per gli animali, al fine della tutela attiva di habitat e specie forestali minacciate da eccessivo carico e da danni causati da animali selvatici e/o domestici o per azione umana, favorendo al contempo anche la coesistenza con le attività antropiche	GREY
Foreste	Lotta biologica per la prevenzione e contrasto delle fitopatie	Prevenzione e lotta della diffusione di fitopatie e fitofagi attraverso l'introduzione di antagonisti e la lotta biologica	GREEN
Foreste	Modernizzazione e meccanizzazione ad alta efficienza ambientale per un uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali - tecniche e attrezzature innovative e sostenibili	Utilizzo di tecniche, dotazioni strutturali, macchinari e attrezzature innovative e sostenibili, ad alta efficienza ambientale, negli interventi selvicolturali e di utilizzazione forestale (operazioni di taglio, allestimento, esbosco, mobilitazione legname e interventi di primo trattamento in foresta dei prodotti legnosi e non legnosi) per ridurre l'impatto su suolo e rinnovazione (es. strutture sostenibili per la mobilitazione dei prodotti legnosi e non legnosi, quali piattaforme, piazzali di stoccaggio e movimento macchine in bosco)	GREY
Foreste	Modernizzazione e meccanizzazione ad alta efficienza ambientale per un uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali - adeguamento innovativo delle dotazioni strutturali	Adeguamento innovativo delle dotazioni strutturali, delle tecniche, dei macchinari e delle attrezzature necessarie alla lavorazione, produzione e prima trasformazione di assortimenti legnosi e non legnosi che precedono la trasformazione industriale per aumentare l'efficienza dell'utilizzo dei prodotti forestali e ridurre gli scarti, per un uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali	GREY
Foreste	Utilizzo appropriato di biomasse forestali per la produzione energetica	Pianificazione specifica per la progettazione, calibrazione e dimensionamento delle infrastrutture per l'approvvigionamento energetico e la distribuzione di energia rinnovabile da biomasse anche forestali, al fine di migliorare l'efficienza nell'utilizzo dei boschi, senza compromettere lo stock di carbonio	GREEN
Insedimenti urbani	Interventi sperimentali di adattamento nelle aree periurbane e in ambiti di competenza sovralocale	Realizzare interventi sperimentali di adattamento climatico che possono adottare la logica delle <i>green e blue infrastructure</i> , ovvero della continuità e la funzionalità del verde pubblico, degli spazi naturali e di quelli seminaturali come elementi di riduzione delle vulnerabilità climatiche.	GREEN
Insedimenti urbani	Interventi sperimentali di adattamento nelle periferie e nei centri storici	Realizzare interventi sperimentali di adattamento climatico di spazi pubblici in quartieri particolarmente vulnerabili, incrementandone le dotazioni di verde (e la gestione efficiente rispetto alle risorse idriche), la permeabilità dei suoli, gli spazi di socialità, le prestazioni idrauliche.	GREEN
Insedimenti urbani	Interventi sperimentali di adattamento nello spazio pubblico	Favorire l'impiego di strategie che possano migliorare il comfort e la funzionalità degli spazi pubblici, anche utilizzando il verde (e la gestione efficiente rispetto alle risorse idriche) e sistemi di arredo, prevedendo spazi urbani che possono raccogliere temporaneamente	GREEN

		acque meteoriche e, quando non utilizzati per questo scopo, essere fruibili per altre attività.	
Insedimenti urbani	Interventi sperimentali e dimostrativi per la realizzazione di infrastrutture verdi urbane	Programma di dimostrativi per la sperimentazione di infrastrutture verdi in ambiti urbano e periurbani per la riduzione di impatti da isole di calore, precipitazioni intense e inondazioni, incluso l'adeguato monitoraggio di impatti e benefici aggiunti e la diffusione dei risultati	GREEN
Turismo	Riforestazione delle aree urbane e la creazione di spazi verdi all'interno delle città	Incremento della superficie urbana adibita al verde pubblico	GREEN
Zone costiere	Promozione della naturale ricostruzione delle strutture coralline	Installazione di strutture che possano agire da substrato per lo sviluppo naturale di strutture coralline e di organismi responsabili della sua costruzione.	GREEN

Si rileva che alcune delle misure selezionate presentano un giudizio di valore medio per quanto riguarda la loro efficacia e che per una di esse il giudizio è basso.

Inoltre, si evidenzia che alcune misure che scaturiscono dalla selezione effettuata, hanno un carattere di elevata genericità tale da contenere, all'interno della sua descrizione, una vasta gamma di alternative d'azione come, ad esempio, la misura relativa al settore "agricoltura". Anche le possibilità di azione per il settore "foreste" e "insediamenti urbani" risultano molteplici sulla base dei criteri selezionati.

Tenuto conto delle considerazioni riportate sopra, l'alternativa scelta per la presentazione delle misure settoriali del PNACC è stata quella che ha portato alla messa a disposizione dell'intero database di misure settoriali che contiene al suo interno, per i diversi settori considerati, numerose alternative di azione, nessuna delle quali si presta ad essere privilegiata rispetto alle altre, in questa particolare fase di pianificazione nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Solo a seguito dell'approvazione del PNACC si aprirà una ulteriore fase, finalizzata a garantire l'immediata operatività del Piano mediante il lancio delle azioni. Le attività saranno gestite dalla struttura di governance e porteranno alla pianificazione e all'attuazione di azioni di adattamento nei diversi settori attraverso la definizione di priorità, ruoli, responsabilità e fonti/strumenti di finanziamento.

3 Contesto ambientale e scenario evolutivo

Il presente paragrafo riporta l'analisi del contesto ambientale in considerazione di quanto previsto dal D.lgs. 152/06 in particolare dall'Allegato VI che richiama tra i contenuti del Rapporto Ambientale i seguenti elementi:

- aspetti pertinenti dello stato attuale dell'ambiente e sua evoluzione probabile senza l'attuazione del piano o del programma;
- caratteristiche ambientali, culturali e paesaggistiche delle aree che potrebbero essere significativamente interessate;
- qualsiasi problema ambientale esistente, pertinente al piano o programma, ivi compresi in particolare quelli relativi ad aree di particolare rilevanza ambientale, culturale e paesaggistica.

I temi e le questioni ambientali trattati tengono conto degli aspetti richiamati alla lett. f) dell'allegato richiamato rispetto ai quali devono essere analizzati gli effetti ambientali del piano ossia: *la biodiversità, la popolazione, la salute umana, la flora e la fauna, il suolo, l'acqua, l'aria, i fattori climatici, i beni materiali, il patrimonio culturale, anche architettonico e archeologico, il paesaggio e l'interrelazione tra i suddetti fattori.*

In particolare l'interrelazione tra i fattori climatici e gli altri fattori ambientali per il PNACC rappresenta l'aspetto significativo; pertanto la caratterizzazione ambientale è stata condotta in considerazione della sensibilità delle risorse agli impatti associati ai CC, così da renderla funzionale alla valutazione del PNACC e al suo obiettivo generale di *limitare la vulnerabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici agli impatti dei cambiamenti climatici e migliorare la capacità di adattamento dei sistemi naturali, sociali ed economici (resilienza del territorio)*.

In tale contesto l'analisi seguente integra quanto sviluppato nel PNACC in relazione agli impatti dei CC e alla vulnerabilità territoriale (Capitolo 3), nel RP, nel parere di scoping della CTVA e nelle osservazioni degli SCA formulate nella fase di scoping.

Ambito di influenza

L'ambito di influenza territoriale del Piano, ossia l'ambito territoriale in cui possono manifestarsi gli effetti ambientali dello stesso, è considerato coincidente con il territorio nazionale. Tale scelta è stata assunta sulla base delle considerazioni riportate nel RP: *"2.3 Natura transfrontaliera degli impatti. Il PNACC potrebbe avere impatti di natura transfrontaliera in relazione all'adeguamento delle procedure previste dai piani di gestione delle aree alpine ai fini dell'integrazione delle tematiche connesse ai cambiamenti climatici e all'adattamento. Tuttavia, considerando che il Piano risponde agli obiettivi comunitari in materia di adattamento, si ritiene che l'aggiornamento della pianificazione nei territori alpini di frontiera non potrà essere in contrasto con gli obiettivi adottati dai piani dei paesi confinanti"* e confermate nel parere di scoping CTVA nel quale *"in merito alla consultazione transfrontaliera, [...] si concorda nel ritenere che il PNACC, per la sua stessa natura e contenuti, non generi impatti rilevanti sull'ambiente di un altro Stato"*.

3.1 Quadro climatico

L'osservazione delle variazioni climatiche del passato recente e di quelle in corso, nonché la stima di quelle future costituiscono il presupposto indispensabile alla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici e, conseguentemente, alla definizione delle strategie di adattamento. Le variazioni del clima riguardano non solo i valori medi delle variabili climatiche, ma anche i valori estremi, causa di rilevanti impatti su diversi settori socioeconomici e produttivi. La conoscenza delle variazioni del clima passato e presente si fonda sui dati osservati e sull'applicazione di metodi e modelli statistici per il riconoscimento e la stima dei trend, quella del clima futuro si basa invece sulle proiezioni dei modelli climatici. Con riferimento alle tendenze passate e in corso, le stime più recenti degli indicatori rappresentativi dell'andamento dei valori medi e degli estremi delle variabili climatiche sono riportate nell'ultimo rapporto annuale sul clima in Italia (ISPRA, 2022a). Al fine di ottenere una stima accurata dei trend climatici, vengono selezionate le serie di dati più lunghe, che soddisfano inoltre criteri rigorosi di qualità, completezza e continuità. L'andamento della temperatura in Italia dal 1961 al 2020 è illustrato nella Figura 3-1 che mostra la serie di anomalie annuali di temperatura media, rispetto al trentennio climatologico 1991-2020, a confronto con l'andamento della temperatura media globale sulla terraferma. In generale, entrambe le serie presentano un marcato trend in aumento negli ultimi decenni. Sebbene il 2021 sia stato meno caldo degli anni precedenti, il segnale climatico conferma la tendenza all'aumento della temperatura: a partire dal 2000 le anomalie rispetto alla base climatologica 1991-2020 sono state sempre positive ad eccezione di quattro anni (2004, 2005, 2010 e 2013); il 2021 è stato l'ottavo anno consecutivo con anomalia positiva rispetto alla norma.

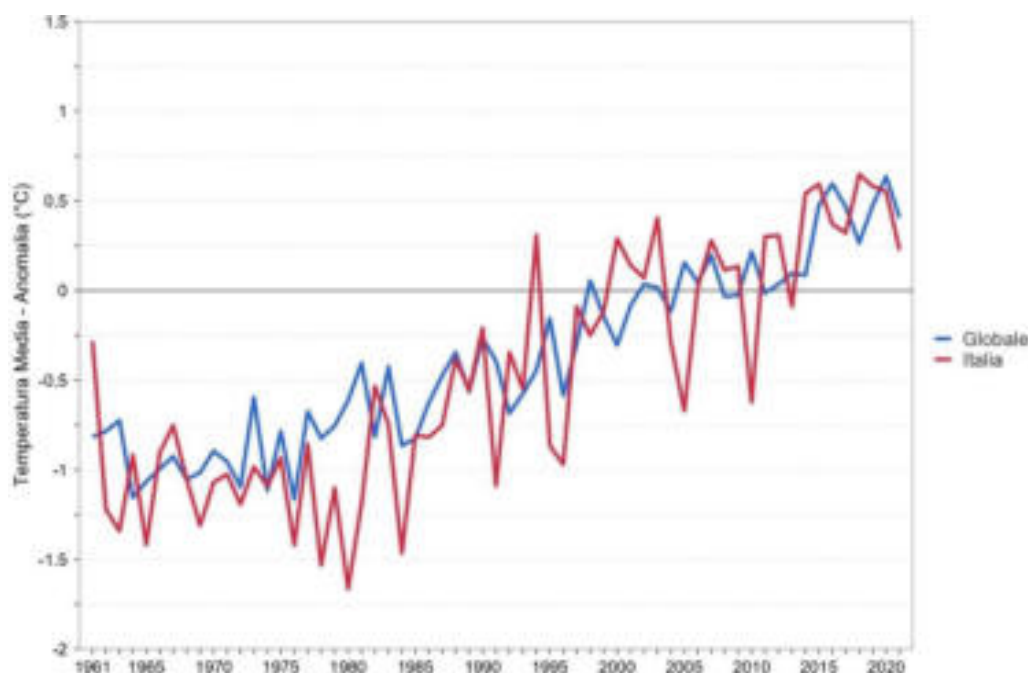


Figura 3-1: Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1991-2020. Fonte: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione: ISPRA.

La stima aggiornata del rateo di variazione della temperatura media dal 1981 al 2021 è di $(+0.37 \pm 0.04) \text{ } ^\circ\text{C} / 10 \text{ anni}$. Su base stagionale i trend di aumento della temperatura più forti si registrano in estate $(+0.55 \pm 0.09) \text{ } ^\circ\text{C} / 10 \text{ anni}$ e primavera $(+0.36 \pm 0.09) \text{ } ^\circ\text{C} / 10 \text{ anni}$, seguiti da inverno $(+0.29 \pm 0.10) \text{ } ^\circ\text{C} / 10 \text{ anni}$ e autunno $(0.29 \pm 0.08) \text{ } ^\circ\text{C} / 10 \text{ anni}$. I trend sono calcolati sul periodo 1981 – 2021, poiché si fa risalire all’inizio degli anni '80 un cambiamento del trend di temperatura, quando inizia il periodo caratterizzato da un riscaldamento più marcato nel corso dell’ultimo secolo (Toreti e Desiato, 2007).

Gli indici degli estremi di temperatura evidenziano un quadro coerente con il trend in aumento dei valori medi, con una riduzione dei giorni con gelo (numero di giorni con temperatura minima – Tmin - minore o uguale a 0°C) e un aumento delle notti tropicali (con Tmin maggiore di 20°C), dei giorni estivi (con temperatura massima – Tmax - superiore a 25°C) e dell’indice WSDI - Warm Spell Duration Index - rappresentativo dei prolungati e intensi eventi di caldo nel corso dell’anno (numero di giorni nell’anno in cui la Tmax è superiore al 90° percentile della distribuzione nel periodo climatologico di riferimento, per almeno sei giorni consecutivi).

Inoltre, le notti e i giorni freddi mostrano una chiara tendenza a diminuire, mentre i giorni e le notti calde mostrano una chiara tendenza ad aumentare; nell’ultimo decennio le notti e i giorni freddi sono stati quasi sempre inferiori alla media climatologica 1991-2020, mentre le notti e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media.

Con riferimento alla serie nazionale della precipitazione cumulata annuale e stagionale, dall’analisi statistica dei trend nel periodo 1991-2020 non risultano tendenze statisticamente significative. Per quanto riguarda le tendenze nel medio e lungo periodo degli indici rappresentativi della frequenza, dell’intensità e dei valori estremi di precipitazione non emergono variazioni statisticamente significative. Va tenuto comunque presente che i risultati sono stati ottenuti su dati giornalieri di un insieme ancora piuttosto limitato di stazioni di misura.

Una descrizione dei valori medi di temperatura e precipitazione e di alcuni indici climatici relativa 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” (ISPRA, 2022b). Le elaborazioni di un numeroso gruppo di stazioni sono disponibili sull'app web valori-climatici-normali.isprambiente.it.

In questo documento si riportano alcune analisi relative al trentennio climatologico 1981-2010, al fine di fornire una base conoscitiva utile per l'interpretazione delle proiezioni climatiche future, stimate in termini di variazioni rispetto a tale trentennio (tutte le elaborazioni, effettuate dal CMCC, sia per il periodo di riferimento 1981-2010 che per il periodo futuro, sono riportate nel documento di Piano).

In particolare, è stato analizzato un insieme di indicatori che descrivono specifiche caratteristiche del clima (sia in termini di valori medi che in termini di estremi) ritenute rilevanti per lo studio degli impatti di interesse per il territorio nazionale. I 27 indicatori selezionati (di cui 2 riferiti alle aree marine) sono messi in relazione con determinati pericoli climatici quali: aumento delle temperature, impatti sulla domanda energetica, dissesto geo-idrologico, siccità, desertificazione, ondate di caldo, ondate di freddo, incendi, tempeste di vento, diminuzione/assenza di precipitazione nevosa, disagio termico.

Tali indicatori sono stati calcolati sia per il periodo di riferimento che per le proiezioni future: nel periodo di riferimento sono riportati come valori medi, mentre per le proiezioni sono riportati in termini di variazione tra il periodo futuro selezionato e quello di riferimento, utilizzando differenti scenari di emissione e molteplici modelli climatici.

Per il clima sul periodo di riferimento è stato utilizzato il dataset grigliato di osservazioni E-OBS (Cornes et al., 2018; Haylock et al., 2008) versione 25⁵ alla risoluzione di circa 12 km. Sebbene tale dataset sia largamente utilizzato per lo studio delle caratteristiche del clima e sia costantemente aggiornato e migliorato⁶ sull'area europea, è importante sottolineare che esso presenta alcune limitazioni dovute alla riduzione dell'accuratezza nell'interpolazione dei dati, 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 spazializzate sul territorio nazionale, tuttavia, anche in questo caso è stato possibile valutare solo 22 dei 25 indicatori climatici individuati per lo svolgimento dell'attuale lavoro. È comunque rilevante riportare che a livello nazionale, esistono anche altre fonti di dati che possono essere utilizzati per studi a carattere regionale/locale. Ad esempio, 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.

La Figura 3-2 riporta i valori medi stagionali, nel trentennio 1981-2010, della precipitazione totale e della temperatura media (T_{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 luce nella stagione estiva dalla distribuzione dei valori della temperatura media.

⁵ La versione 25 utilizzata è quella attualmente disponibile sulla piattaforma C3S di Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/insitu-gridded-observations-europe?tab=overview>)

⁶ Descrizione delle migliorie apportate nella configurazione utilizzata nel presente documento rispetto alle versioni precedenti https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_eobs.php

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 può fare riferimento al documento di Piano). La Figura 3-3 riporta la distribuzione spaziale, relativamente al periodo di riferimento 1981-2010, degli indicatori ritenuti più rilevanti 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.

Per la precipitazione cumulata, l'autunno è la stagione con accumuli 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.

Le aree di Centro e Nord Italia sono quelle dove i valori di precipitazione, sia in termini di accumuli che di eventi intensi, sono maggiori, in contrapposizione alle temperature che seguono l'andamento opposto. Nonostante i valori maggiori di precipitazione totale media annuale, 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.

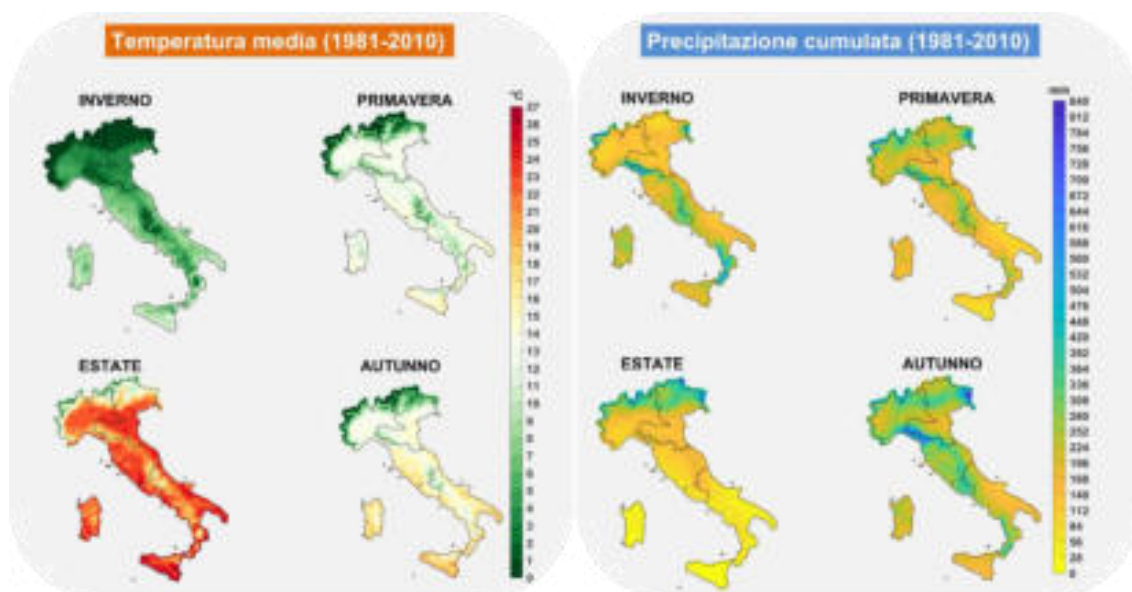


Figura 3-2: Valori medi stagionali delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate su periodo di riferimento 1981-2010 a partire dal dataset grigliato E-OBS v25. Fonte: elaborazioni Fondazione CMCC.

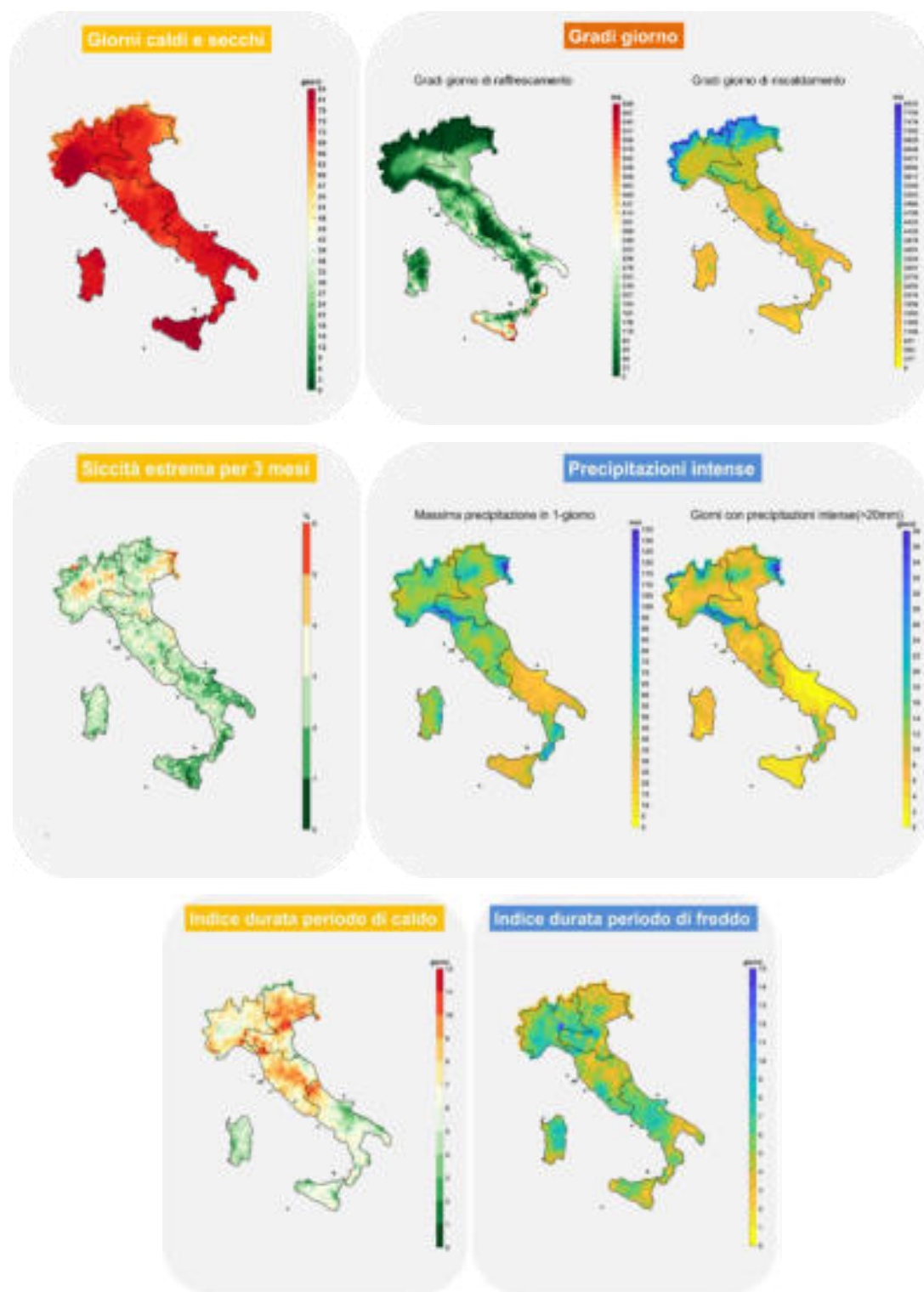


Figura 3-3: Mappe di alcuni degli indicatori climatici⁷ analizzati sul periodo di riferimento 1981-2010 a partire dal dataset grigliato E-OBS v25. Fonte: elaborazioni Fondazione CMCC.

⁷ Giorni caldi – secchi: numero di giorni con Tmedia maggiore del 75° percentile e con precipitazione minore del 25° percentile della distribuzione del periodo di riferimento.

Gradi giorni di riscaldamento (HDD): somma delle differenze tra la soglia di 18°C e Tmedia giornaliera (se minore di 15°C).

Gradi giorni di raffreddamento (CDD): somma delle differenze tra la Tmedia giornaliera (se maggiore di 24°C) e la soglia di 21°C.

Precipitazioni intense: precipitazione massima giornaliera (RX1DAY), numero di giorni con precipitazione superiore a 20 mm (R20).

Siccità estrema per 3 mesi (SPI3): Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 3 mesi (percentuale dell'occorrenza della classe "estremamente asciutto" dell'indice SPI3 calcolato su un periodo di 3 mesi).

Le variazioni climatiche attese si riferiscono al trentennio centrato sull'anno 2050 (2036-2065), rispetto al periodo 1981-2010, considerando tre diversi scenari di emissione IPCC: RCP8.5 "Business as usual", RCP4.5 "Forte mitigazione", RCP2.6 "Mitigazione aggressiva". Tali variazioni sono state calcolate a partire da un ensemble di 14 modelli climatici disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX (Hennemuth et al., 2017; Jacob et al., 2020) alla maggior risoluzione (circa 12 km)⁸ 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 CORDEX⁹. In generale, questi esperimenti consistono in simulazioni con modelli regionali che rappresentano diversi scenari socioeconomici futuri (Jacob et al., 2014; Giorgi e Gutowski, 2015). 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 elevato è l'accordo tra i modelli climatici dell'ensemble EURO-CORDEX, e viceversa (Von Trentini et al., 2019). 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 ("Business-as-usual") – 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
- RCP4.5 ("Forte mitigazione") – assumono la messa in atto di alcune iniziative per controllare le emissioni. Sono considerati scenari di stabilizzazione: entro il 2070 le emissioni 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 emissioni di CO₂ continuano a crescere fino a circa il 2080; le concentrazioni 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 questo scenario è improbabile che si superino i 2°C di aumento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali. L'incremento di temperatura coerente con questo scenario è di circa 3 gradi a fine secolo (rispetto ai livelli preindustriali, circa 2°C rispetto ad oggi).

Indice di durata dei periodi di caldo (WSDI): numero di giorni l'anno con Tmax maggiore del 90° percentile della distribuzione nel periodo di riferimento per almeno 6 giorni consecutivi.

Indice di durata dei periodi di freddo (CSDI): numero di giorni l'anno con Tmin minore del 10° percentile della distribuzione nel periodo di riferimento per almeno 6 giorni consecutivi.

⁸ Descrizione delle migliorie apportate nella configurazione utilizzata nel presente documento rispetto alle versioni precedenti https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_eobs.php

⁹ <https://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en>

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 3-4 (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 3-4 è stato utilizzato il test di Mann-Kendall (Kendall, 1975), 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 3-4 i trend statisticamente significativi sono individuati da un asterisco).

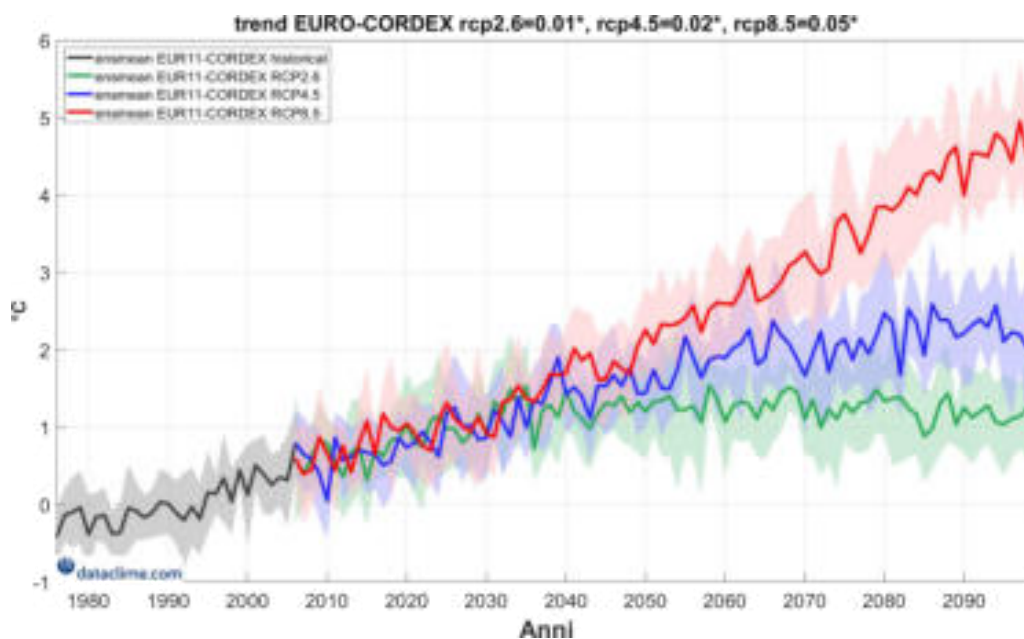


Figura 3-4: Anomalie annuali di temperatura media (°C) su scala nazionale ottenute a partire dai modelli EURO-CORDEX, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP8.5 (in rosso), RCP4.5 (in blu) e RCP2.6 (in verde). Le anomalie annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo 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. Fonte: Elaborazioni Fondazione CMCC.

La Figura 3-5 riporta le variazioni annuali per la precipitazione totale e la temperatura media su scala annuale, insieme alla stima dell'incertezza. 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 2050s¹⁰) e un aumento nelle aree

¹⁰ 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.

geografiche Nord-Ovest e Nord-Est (Figura 3-5). 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 3-5, 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.

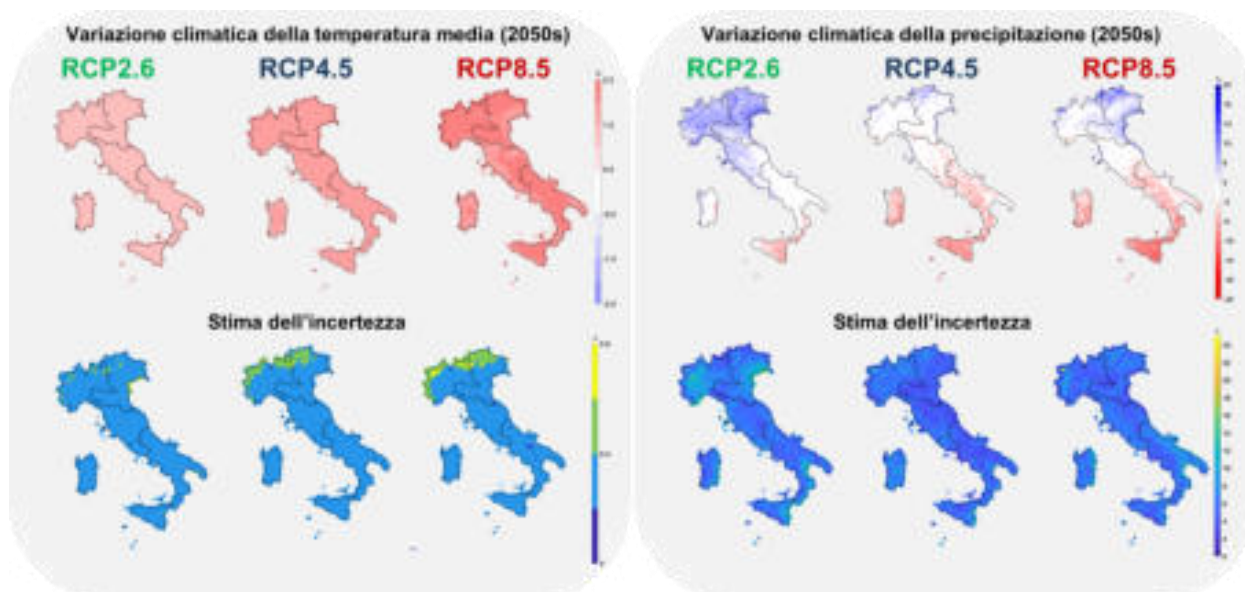


Figura 3-5: Variazioni climatiche annuali delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate medie per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5. I valori sono espressi in termini di media (ensemble mean) e deviazione standard (dispersione attorno al valore medio) calcolati sull'insieme delle proiezioni dei modelli climatici regionali disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX.

In Figura 3-6 sono riportate a titolo esemplificativo alcune delle mappe più rilevanti (in termini di variazione attesa) per gli indicatori climatici considerati.

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 trend è influenzato 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, 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 pericolo 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, specialmente per lo scenario RCP 8.5, ed in particolar modo per le aree del centro-nord. Questo aspetto denota un potenziale aumento del pericolo 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 a modelli di pericolo.

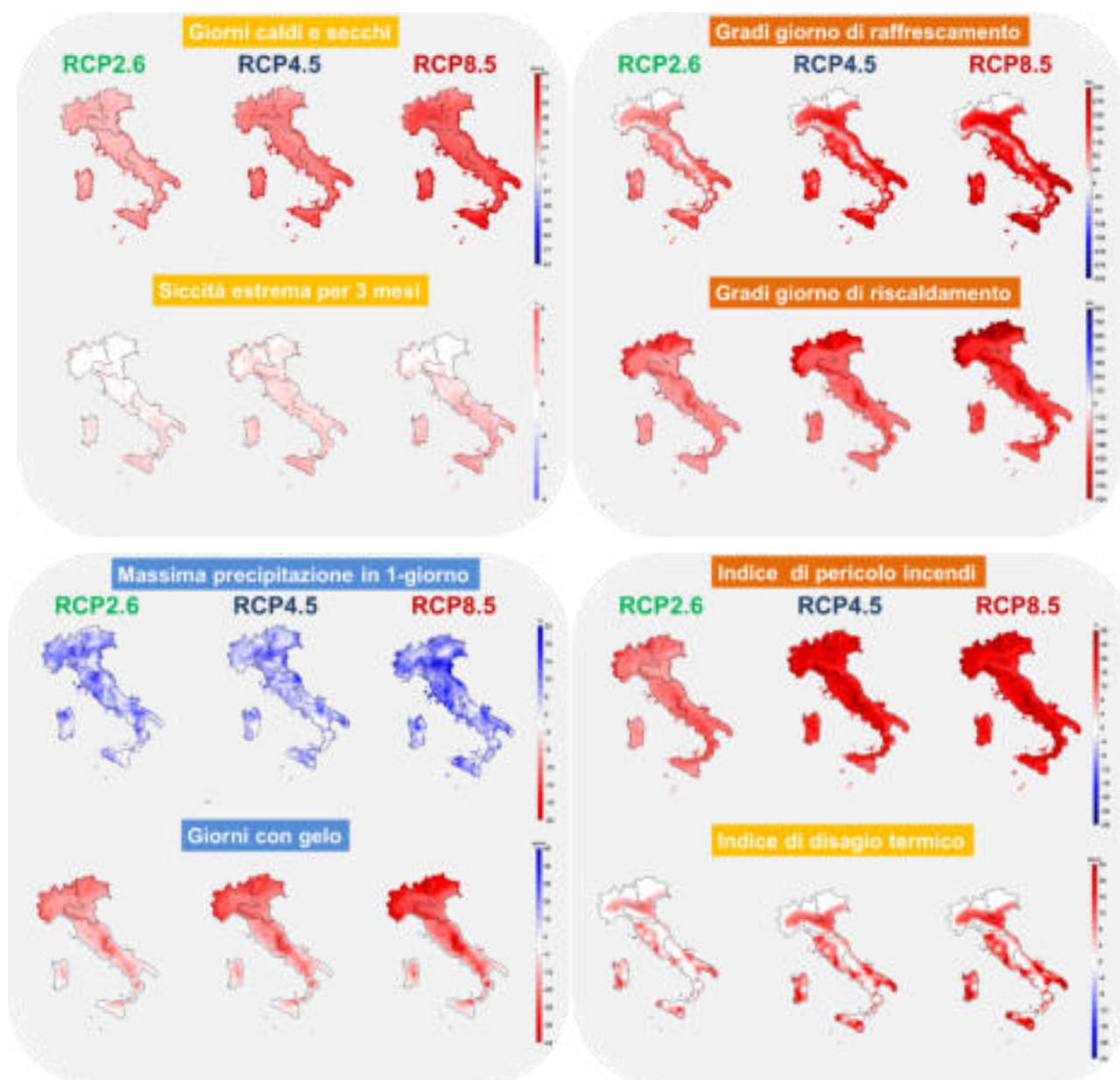


Figura 3-6: Variazioni climatiche annuali (ensemble mean) per alcuni degli indicatori climatici¹¹ analizzati per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5. Fonte: Elaborazioni Fondazione CMCC.

Per quanto attiene il fenomeno della siccità, esso è stato valutato mediante l'indice SPI (McKee et al., 1993) considerando diverse finestre temporali per i cumuli di precipitazione (3 mesi, 6 mesi, 9 mesi, 12 mesi e 24

¹¹ FWI - Indice di pericolo incendio (basato su velocità massima del vento, umidità relativa, precipitazione cumulata, temperatura).
Indice di disagio termico (Humidex5): 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).

mesi). Tale indice, a seconda dell'arco temporale considerato, può fornire indicazioni su impatti a medio e a lungo termine (impatti prevalentemente agronomici sulla durata di 3-6 mesi, impatti di tipo prevalentemente idrologico e socioeconomico sulla durata 12-24 mesi). Per tutte le scale temporali considerate, è da attendersi un incremento del numero di episodi di siccità severa ed estrema (in termini di variazione dell'occorrenza rispetto al periodo climatologico), in particolare per lo scenario RCP8.5 nel sud Italia (incluso le isole). Per la valutazione degli altri pericoli climatici analizzati si rimanda al documento di Piano.

3.2 Biodiversità in ambito terrestre

3.2.1 Ecosistemi terrestri

Già il quarto rapporto di valutazione dell'IPCC e numerosi studi successivi (Campbell et al., 2009) hanno indicato che i cambiamenti climatici stanno producendo alterazioni significative sulla biodiversità e i servizi ecosistemici. Più recentemente il secondo volume del quinto rapporto dell'IPCC (2014) ha confermato che le anomalie climatiche sono causa di modificazioni dei processi fisiologici (fotosintesi, respirazione, crescita delle piante, efficienza di utilizzo dell'acqua, composizione dei tessuti, metabolismo, decomposizione ecc.) e di impatti significativi a livello genetico di specie (variazioni di fenologia, distribuzione, popolazione) e di ecosistema (distribuzione, composizione, struttura, funzione, servizi ecosistemici) (Sala et al., 2000; Campbell et al., 2009).

Gli impatti osservati includono lo spostamento verso Nord e verso quote più elevate del range geografico di molte specie, sia in ecosistemi naturali che seminaturali. Il prolungamento della stagione vegetativa ha determinato un aumento della produttività nella regione biogeografica alpina; viceversa, nella regione biogeografica mediterranea le condizioni climatiche più calde e più secche sono state finora responsabili di una riduzione della produttività agricola e forestale, oltre che dell'aumento della frequenza e della severità degli incendi boschivi e dei danni legati ai parassiti e ai patogeni. La regione Alpina e gli ecosistemi montani sono considerati particolarmente vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici (Campbell et al., 2009); possibili variazioni potranno riguardare la struttura delle comunità vegetali montane e la migrazione a quote maggiori e a Nord di animali e piante.

Per la regione mediterranea, a fronte di scenari climatici di riduzione delle precipitazioni e dell'aumento della temperatura al di sopra dei valori previsti per la scala globale, si prevede un'espansione dei sistemi aridi e semi-aridi. Gli esperti prevedono una variazione della distribuzione spaziale della flora e la contrazione della distribuzione delle foreste, specialmente nel Meridione d'Italia. Le specie endemiche mediterranee affronteranno le minacce maggiori a causa della prevista riduzione delle precipitazioni, la maggiore intensità degli incendi, l'aumento dei fenomeni erosivi, l'alterazione della fenologia e della stagione vegetativa e della funzione e della produttività degli ecosistemi. Effetti significativi si avranno sulla distribuzione spaziale della fauna (mammiferi, rettili, anfibi), specialmente nelle aree del paese dove la frammentazione e il consumo di suolo è elevato, e sulla consistenza delle aree umide mediterranee particolarmente importanti per la conservazione di specie endemiche e per il loro ruolo nelle dinamiche migratorie degli uccelli. Le mutate condizioni climatiche potrebbero, inoltre, esaltare il potenziale invasivo di alcune specie esotiche e creare condizioni più favorevoli per alcune specie rispetto ad altre, determinando nel complesso una profonda alterazione delle interazioni all'interno delle comunità vegetali e portando a nuove forme di dominanza e di funzionamento degli ecosistemi.

Per il futuro, gli studi più accreditati, basati su ricerche sperimentali, combinazione di modelli ecologici in relazione a differenti scenari di variazioni climatiche e modelli dei processi fisiologici, affermano che gli impatti del riscaldamento globale e le risposte degli ecosistemi e del paesaggio possono essere molto

rilevanti, anche di entità diversa a seconda delle regioni geografiche e delle caratteristiche degli ecosistemi. In più, le interazioni tra gli ecosistemi e il clima e l'innescarsi di meccanismi biogeochimici potrebbero generare retroazioni (feedback) positive che a loro volta potrebbero portare ad impatti severi, imponderabili sulla biodiversità e sui servizi ecosistemici.

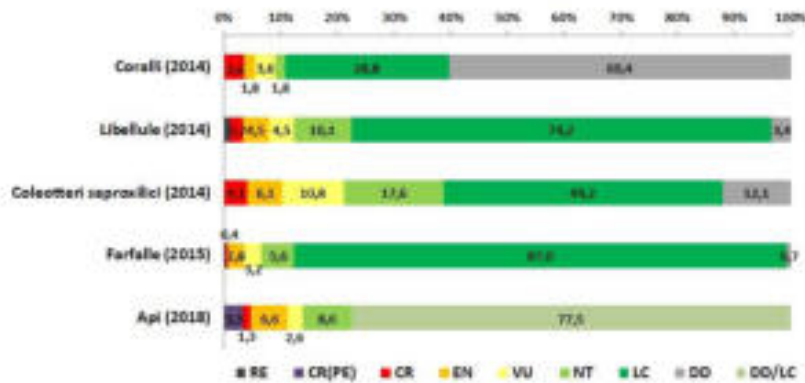
Stato di conservazione di habitat e di specie

La penisola italiana è interessata da tre delle nove regioni biogeografiche definite a livello comunitario ai fini della conservazione della biodiversità: Alpina, Continentale e Mediterranea. Si tratta di ambiti territoriali con caratteristiche fisiografiche, climatiche e vegetazionali omogenee, ciascuno dei quali ospita una grande varietà di ecosistemi terrestri e a cui quindi, nel complesso, corrisponde un elevato livello di biodiversità con un'elevata incidenza di specie endemiche. Tale complessità ambientale ha determinato, nelle regioni italiane, la compresenza di specie animali e vegetali appartenenti a diverse sotto-regioni zoogeografiche e fitogeografiche, ed ecosistemi unici nel contesto europeo.

Consistenza e livello di minaccia di specie animali

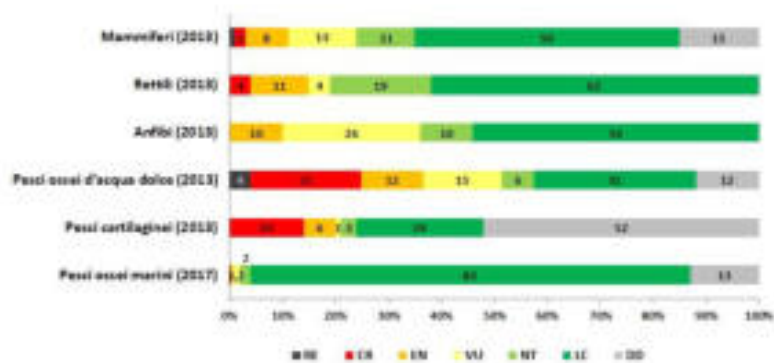
L'Italia ha una grande ricchezza in termini di specie animali, con un'elevata incidenza di specie endemiche: la fauna italiana è stimata in oltre 58.000 specie, di cui circa 55.000 di invertebrati e 1.812 di protozoi, che insieme rappresentano circa il 98% della ricchezza di specie totale, nonché 1.258 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. Va sottolineata anche la ricchezza di specie della componente marina della fauna, che annovera 10.313 entità. Tra i vertebrati, a parte pesci cartilaginei e uccelli, gruppi di specie molto mobili la cui distribuzione travalica i confini nazionali, diverse classi annoverano specie endemiche italiane; in particolare, tassi significativi di endemismo si trovano negli anfibi (31,8%) e nei pesci ossei di acqua dolce (18,3%).

Ad oggi sono state pubblicate le Liste Rosse italiane IUCN per 5 gruppi di invertebrati (coralli, libellule, coleotteri saproxilici, farfalle e api), per tutti i vertebrati sono state realizzate 2 valutazioni (Figura 3-7 e Figura 3-8). Tra gli invertebrati sono estinte/probabilmente estinte 1 libellula, 2 coleotteri, 1 farfalla e 5 apoidei. Risultano minacciati di estinzione (cat. CR+EN+VU) il 9% dei coralli (pari a 10 specie), l'11% delle libellule (10 specie), il 21% dei coleotteri saproxilici (418 specie), il 6% delle farfalle (18 specie) e l'11% degli apoidei valutati (16 specie). La percentuale di specie per le quali non si dispone di informazioni è molto elevata nei coralli (60%, pari a 67 specie DD) e negli apoidei selvatici, poiché su 151 specie indiziate di declino, 117 sono risultate carenti di dati o non minacciate (Figura 3-7). Delle 672 specie di vertebrati italiani (576 terrestri e 96 marine), 6 sono estinte in Italia (2 storioni, 3 uccelli e un pipistrello) mentre 161 specie sono minacciate di estinzione (di cui 138 specie terrestri e 23 specie marine), pari al 28% delle specie valutate. Il 50% circa dei vertebrati italiani non è a rischio imminente, mentre per il 12% i dati non sono sufficienti a fornire una valutazione. I diversi gruppi di vertebrati mostrano percentuali di rischio di estinzione variabili, infatti considerando le categorie CR+EN+VU, le percentuali variano dal 2% nei pesci ossei marini, 19% nei rettili, 21% nei pesci cartilaginei, 23% nei mammiferi, 36% negli anfibi, fino al 48% nei pesci ossei di acqua dolce (Figura 3-8).



Legenda: RE: Regionally Extinct, Estinta nella Regione; CR (PE): Critically Endangered (Possibly Extinct), in Pericolo Critico (Possibilmente Estinta); CR: Critically Endangered, In Pericolo Critico; EN: Endangered, In Pericolo; VU: Vulnerable, Vulnerabile; NT: Near Threatened, Quasi Minacciata; LC: Least Concern, Minor Preoccupazione; DD: Data Deficient, Carente di Dati; DD/LC (fusione di 2 categorie IUCN) = DD+LC.

Figura 3-7: Ripartizione percentuale nelle categorie IUCN dei cinque gruppi di invertebrati ad oggi valutati (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2021).



Legenda: RE: Regionally Extinct, Estinta nella Regione; CR: Critically Endangered, In Pericolo Critico; EN: Endangered, In Pericolo; VU: Vulnerable, Vulnerabile; NT: Near Threatened, Quasi Minacciata; LC: Least Concern, Minor Preoccupazione; DD: Data Deficient, Carente di Dati.

Figura 3-8: Ripartizione percentuale nelle categorie IUCN dei vertebrati italiani, esclusi gli uccelli (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2021)

Una sintesi delle principali tipologie di pressione che agiscono sui diversi gruppi faunistici trattati nell'indicatore è riportata in Figura 3-9.

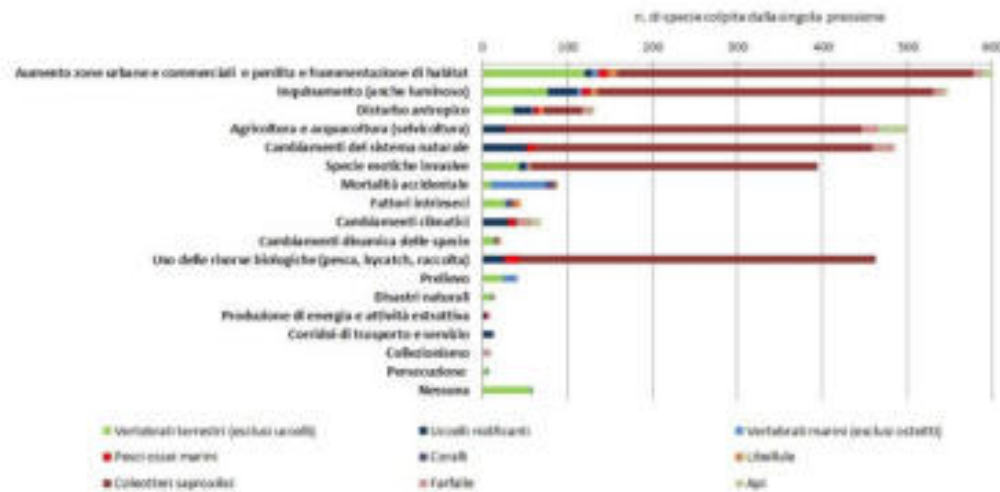


Figura 3-9: Principali tipologie di pressione a cui sono soggetti i gruppi faunistici valutati dalle Liste Rosse Italiane (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2021).

Criticità e vulnerabilità della componente faunistica in relazione ai Cambiamenti Climatici

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.

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

Modifiche di fisiologia, produttività e abbondanza

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

L'aumento della temperatura ha effetti sulla fisiologia di alcune specie anfibe 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.

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 & Yohe,

2003; Hickling et al., 2006). Thomas (2010) 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., 2013).

Consistenza e livello di minaccia dell'avifauna

In Italia sono segnalate oltre 500 specie diverse di uccelli, la metà delle quali nidificanti, corrispondenti a poco più della metà delle specie regolarmente nidificanti in Europa. Per gli uccelli nidificanti sono state realizzate 2 Liste Rosse italiane IUCN (Rondinini et al., 2013; Gustin et al., 2019) a distanza di 7 anni, e ciò consente di valutare la tendenza nel tempo del rischio di estinzione per questo gruppo (Figura 3-10). Delle 278 specie valutate nel 2019, 5 sono "Estinte nella regione" (una in tempi recenti). Le specie minacciate di estinzione (CR+EN+VU) sono un totale di 67 (erano 76 nel 2013), pari al 26% delle specie valutate (percentuale calcolata sul totale di 278 specie escluse le 21 specie NA). La metà delle specie di uccelli nidificanti italiani non è a rischio di estinzione imminente. Escludendo i cambiamenti non genuini intercorsi tra il 2012 e il 2019 nelle valutazioni (per esempio, i cambiamenti dovuti alle migliori conoscenze), nel complesso il rischio di estinzione degli uccelli nidificanti italiani è diminuito; in particolare, 17 specie non sono più a rischio di estinzione, ma 6 specie sono entrate in una categoria di rischio maggiore (Gustin et al., 2019). Tale diminuzione non è però così rilevante analizzando la distribuzione percentuale delle categorie IUCN delle due valutazioni a confronto (Figura 3-10). Complessivamente le popolazioni degli uccelli nidificanti italiani sono stabili nel 28% dei casi o in aumento (34%). Circa un quarto (24%) delle popolazioni sono in declino, mentre per il 14% delle specie la tendenza demografica è sconosciuta (Gustin et al., 2019).



Legenda: RE: Regionally Extinct, Estinta nella Regione; CR: Critically Endangered, In Pericolo Critico; EN: Endangered, In Pericolo; VU: Vulnerable, Vulnerabile; NT: Near Threatened, Quasi Minacciata; LC: Least Concern, Minor Preoccupazione; DD: Data Deficient, Carente di Dati.

Figura 3-10: Ripartizione percentuale nelle categorie IUCN degli uccelli italiani (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2021).

La principale minaccia per gli uccelli nidificanti è il cambiamento dei sistemi naturali, seguito da inquinamento, cambiamenti climatici, agricoltura e acquacoltura (Figura 3-9). Il numero di specie autoctone minacciate dalle specie aliene invasive è invece ancora piuttosto ridotto. Per oltre 30 specie le minacce per l'uso delle risorse biologiche sono legate al bracconaggio. Il cambiamento climatico è una

minaccia per un numero ancora maggiore di specie, specialmente nelle zone umide e nelle regioni montane in generale (Gustin et al., 2019).

Criticità e vulnerabilità della componente avifauna in relazione ai Cambiamenti Climatici

L'aumento delle temperature, l'alterazione del regime delle piogge, cambiamenti nei livelli di umidità, un clima generalmente più variabile ed eventi meteorologici estremi più frequenti sono gli elementi del cambiamento climatico che colpiscono direttamente gli uccelli. Altamente sensibili agli agenti atmosferici, gli uccelli stanno già rispondendo a queste variazioni, spesso in maniera negativa per la sopravvivenza delle specie a medio e lungo termine. Il cambiamento climatico colpirà sempre più le popolazioni di uccelli anche in maniera indiretta, alterando i loro habitat attraverso l'innalzamento del livello del mare, i cambiamenti nei regimi degli incendi, i cambiamenti nella vegetazione e nell'uso del suolo. Per esempio, nelle zone umide costiere europee del Mediterraneo, habitat di fondamentale importanza per gli uccelli migratori, si prevede per il 2080 un innalzamento della temperatura tra 1,5 e 4,2°C (IPCC 2021).

Sebbene il cambiamento climatico possa avere effetti sui modelli individuali del comportamento e della fisiologia, in una prospettiva di conservazione gli impatti sulla dimensione e sulla dinamica della popolazione sono di maggiore interesse. Pertanto, gli effetti del riscaldamento globale sono più rilevanti se hanno un impatto sulla capacità di un organismo di sopravvivere o riprodursi. In generale, le specie migratrici, quelle legate agli ambienti montani e quelle che dipendono da zone umide sono quelle maggiormente minacciate dagli effetti del cambiamento climatico in Italia.

Di seguito vengono esaminati le maggiori tipologie di impatto sulle popolazioni di uccelli:

Modifiche nella distribuzione

Gli uccelli sono teoricamente facilitati nel realizzare la risposta adattativa di spostare il proprio areale di distribuzione in modo da incontrare nuovamente le condizioni climatiche più adatte alla propria sopravvivenza, in quanto dotati di grande mobilità e in genere non soggetti a insormontabili barriere geografiche (ma si vedano alcune eccezioni più avanti).

Spostamenti verso latitudini maggiori sono stati effettivamente osservati in diverse specie di uccelli, e si ritiene che siano dovuti perlopiù all'aumento delle temperature (Chen et al., 2011). Il clima però non è l'unica caratteristica che determina l'areale di una specie e la possibilità di spostare la propria distribuzione è subordinata alla disponibilità di habitat idoneo. L'urbanizzazione e in generale la distruzione di habitat da parte dell'uomo concorre quindi in maniera negativa con il cambiamento climatico alla sopravvivenza delle popolazioni, impedendo una risposta adattativa da parte degli uccelli e portando alla riduzione degli areali di distribuzione (Reif et al., 2010).

Lo spostamento distributivo di specie minacciate pone anche una sfida in termini di strategie di conservazione e gestione degli habitat, ad esempio portando alla necessità di un ripensamento della rete di aree protette (Araújo et al., 2011).

Modifiche nelle fenologie

Molte specie/popolazioni stanno variando le tempistiche di eventi significativi per il loro ciclo vitale (fenologie) in risposta al cambiamento climatico (es: variazione nella data media di riproduzione o di migrazione). Esaminando dati di osservazione di un gran numero di specie, è stato stimato che, nel Regno Unito, il 72% delle specie di uccelli migratori arriva in primavera nei siti riproduttivi con un anticipo di diversi giorni rispetto a 30 anni fa, fino anche a due settimane per alcune specie (Sparks, 1999). Anticipazioni della data di arrivo dei migratori presso i quartieri di nidificazione sono state osservate dappertutto in Europa, con alcuni casi eclatanti. Ad esempio, in Spagna la Cicogna bianca (*Ciconia ciconia*) giunge dall'Africa ai siti di nidificazione circa 40 giorni prima di quanto accadeva nella metà degli anni '40 (Gordo & Sanz, 2006). Anche la data di transito in Italia di migratori a lungo raggio (cioè che in primavera partono dall'Africa e si dirigono

ai luoghi di nidificazione in Nord Europa), sta anticipando negli ultimi decenni, così come dimostrato in un lavoro pubblicato nel 2006 parzialmente basato su dati raccolti da ISPRA (Jonzén et al., 2006).

La risposta degli uccelli ai cambiamenti climatici coinvolge anche direttamente la tempistica della fase riproduttiva. Per molte specie di uccelli in cui la data di deposizione dipende prevalentemente dalla temperatura e/o dalle precipitazioni primaverili, si è osservato un anticipo della stessa di nove giorni, in media, tra il 1976 e il 1996 (Crick et al., 1997; Crick & Sparks, 1999). Un recente studio che ha analizzato la variazione dei parametri riproduttivi dalla metà degli anni '60 ad oggi ha calcolato che circa l'86% delle specie Europee analizzate sta variando la data di deposizione, principalmente come risposta agli effetti del cambiamento climatico (McLean et al. 2022). In Italia sono stati osservati anticipi nella data di deposizione solamente in alcune specie (es. Rondine *Hirundo rustica*, Rondone *Apus apus*), mentre per altre non sono stati registrati trend significativi. In ogni caso, la data di deposizione di tutte le specie analizzate è risultata influenzata dalla variabilità climatica a diverse scale spaziali (locali, regionali), per cui ci si aspetta che le specie adattino il loro calendario alle condizioni climatiche in rapido cambiamento anche in Italia (Rubolini et al., 2007).

Mancata sincronizzazione degli eventi biologici

Una delle manifestazioni del riscaldamento globale è l'aumento delle temperature primaverili nelle regioni temperate, da cui ne consegue un anticipo dell'attività vegetativa e quindi del picco stagionale di presenza di insetti ed altri invertebrati in primavera. In generale, la riproduzione degli uccelli avviene in un periodo tale da far coincidere l'allevamento dei pulcini con il periodo di massima abbondanza delle risorse trofiche. Molte specie di uccelli si cibano di artropodi e altri invertebrati, soprattutto durante l'allevamento dei pulcini, per massimizzare l'apporto proteico. Pertanto, per gli uccelli migratori provenienti dall'Africa è fondamentale riuscire ad anticipare la tempistica della migrazione primaverile, in modo che questa coincida con l'anticipato picco di presenza degli artropodi. Diversi studi hanno evidenziato la relazione tra riscaldamento globale e fenologia della migrazione negli uccelli, dimostrando che un mancato anticipo della migrazione si traduce in una bassa resilienza delle popolazioni ai cambiamenti climatici con effetti negativi sul loro stato di conservazione (Møller et al., 2008). Analizzando la tempistica della migrazione primaverile in Italia e altre località europee (Jonzén et al., 2006), si è giunti alla conclusione che molte specie europee di uccelli non stiano anticipando la data di migrazione in maniera sufficiente rispetto all'anticipo della stagione vegetativa, e quindi del picco di presenza di invertebrati, nei quartieri di riproduzione. Più recentemente, grazie alla Banca Dati Inanellamento Uccelli di ISPRA, è stato possibile analizzare la variazione nella data di passaggio in Italia durante la migrazione primaverile di 10 specie di uccelli dal 1988 al 2021 (34 anni), rilevando che il 40% delle specie prese in considerazione mostra un anticipo della data di migrazione nullo o troppo lento per essere definito sufficiente a contrastare gli effetti del cambiamento climatico (Annuario dati Ambientali ISPRA, 2022).

L'anticipo dell'attività vegetativa non interessa solo i quartieri riproduttivi degli uccelli migratori ma anche i siti di sosta lungo la rotta utilizzata per spostarsi tra le aree di svernamento e quelle di riproduzione. L'effetto dell'interazione tra clima e microtopografia sulle variazioni della fenologia delle specie e delle comunità vegetali può portare ad andamenti fenologici differenziati spazialmente, e quindi alterare le caratteristiche e la configurazione degli habitat idonei lungo le rotte migratorie. Ciò potrebbe compromettere la capacità degli uccelli di adattare la programmazione e la progressione della migrazione, con potenziali ripercussioni sul loro successo riproduttivo e conseguente declino delle popolazioni (Emmenegger et al., 2016).

Effetti scaturiti dalla variazione del regime delle precipitazioni

Gli uccelli acquatici sono particolarmente vulnerabili alle variazioni delle precipitazioni a causa della loro dipendenza dalle zone umide. La combinazione tra temperature e regime piovoso può innescare diversi fenomeni che possono avere effetto su componenti diversi di una popolazione di uccelli acquatici. Valori estremi di queste variabili meteorologiche tendono a ridurre la sopravvivenza e la produttività degli uccelli

acquatici: temperature fredde e frequenti precipitazioni, ad esempio, possono causare la mortalità dei pulcini, mentre alte temperature e precipitazioni scarse possono causare stress da calore e diminuzione del regime idrico nelle zone umide.

Dal punto di vista geografico, le specie più vulnerabili alle variazioni del regime delle precipitazioni sono quelle che frequentano l'Africa meridionale e le regioni mediterranee, ovvero le due aree del globo per le quali si prevede una maggiore diminuzione delle precipitazioni, con conseguente siccità. Un'altra area particolarmente sensibile e di estrema importanza per molte specie di uccelli europei è quella del Sahel. Questa zona, situata appena a sud delle distese aride del deserto del Sahara, rappresenta una tappa fondamentale durante la migrazione ma anche una importante area di svernamento per molti uccelli. Ad esempio, la sopravvivenza annuale delle Cicogne bianche in Europa occidentale cresce all'aumentare delle precipitazioni nel Sahel (Kanyamibwa et al., 1993), così come accade per il numero annuo di coppie riproduttive di Airone rosso (*Ardea purpurea*) nei Paesi Bassi (Den Held, 1891) e della Sgarza ciuffetto (*Ardeola ralloides*) e della Nitticora (*Nycticorax nycticorax*) in Italia (Fasola et al., 2010). Nonostante una costante diminuzione delle precipitazioni nel Sahel nel secolo scorso, le popolazioni di ardeidi (aironi e simili) italiane sono comunque aumentate fino al 2000 grazie ad una generale diminuzione del bracconaggio e all'aumento delle temperature nel nostro Paese che ha portato ad una maggiore sopravvivenza durante l'inverno (Fasola et al., 2010); dopo questa data le popolazioni hanno subito una continua riduzione a causa soprattutto del cambiamento nelle pratiche di coltivazione del riso nel nostro Paese che ha portato ad una riduzione dei periodi di allagamento dei campi ("semina in asciutta"; Fasola et al., 2022), a dimostrazione di come l'impatto del cambiamento climatico si sommi spesso a quello delle attività antropiche.

Un altro dato che dimostra la forte relazione tra il regime delle precipitazioni a sud del Sahara e gli uccelli migratori che nidificano in Europa è stato ottenuto dall'analisi della Banca dati di Inanellamento degli uccelli di ISPRA: è emerso, infatti, che la data di passaggio in Italia durante la migrazione primaverile del Torcicollo (*Jynx torquilla*), per mezzo della quale i riproduttori raggiungono dall'Africa i quartieri europei di nidificazione, è fortemente influenzata dalle precipitazioni nel Sahel (Cecere et al., 2019).

Effetti sulle specie degli ambienti di alta quota

Le specie animali e vegetali che abitano gli ecosistemi montani sono adattate ad ambienti estremi e condizioni climatiche particolari, e sono pertanto particolarmente vulnerabili ai cambiamenti ambientali. Analogamente agli spostamenti latitudinali, le specie montane possono rispondere al riscaldamento globale con lo spostamento del proprio areale ad altitudini maggiori. Spostamenti di questo tipo sono già stati dimostrati confrontando dati di distribuzione attuali con quelli registrati qualche decennio fa, come nelle montagne della Sierra Nevada, dove la maggior parte delle specie dagli anni '40 ad oggi ha spostato verso l'alto il proprio areale di distribuzione, alcune delle quali in risposta all'aumento della temperatura e altre a causa dei cambiamenti nella precipitazione (Tingley et al., 2009). Nelle aree tropicali, dove si prevede che le specie siano più sensibili alle alterazioni delle temperature, sembra che questo spostamento verso l'alto sia più pronunciato rispetto alle aree temperate, fino a 120 m negli ultimi 50 anni (Freeman & Class Freeman, 2014). Per le montagne italiane mancano dati distributivi di uccelli relativi agli anni precedenti il rapido aumento globale di temperature (verificatosi a partire dagli anni '80 del secolo scorso) ma sono stati comunque verificati piccoli spostamenti verso l'alto nell'arco di un decennio per la maggior parte delle specie nelle Alpi (Popy et al., 2010). Uno studio di Chamberlain et al. (2016) evidenzia come il clima da solo non modifichi la distribuzione di alcune specie di uccelli lungo un gradiente altitudinale, ma in combinazione con le trasformazioni degli habitat si comprende buona parte dei possibili cambiamenti nel *range* altitudinale di presenza degli uccelli.

Nonostante la rapida risposta adattativa, ci sono due potenziali problemi per le popolazioni di uccelli montani. Primo, se l'aumento di temperatura avviene a un ritmo più rapido rispetto alle risposte della vegetazione, o la temperatura adatta per la fisiologia della specie si verifica oltre i confini della vegetazione potenziale adatta, le popolazioni di uccelli potrebbero essere costrette a spostarsi in aree di habitat

marginale, dove è probabile che subiscano una riduzione della sopravvivenza e della riproduzione (Crick 2004). Secondo, a causa della morfologia delle montagne, l'area disponibile per la colonizzazione delle specie che si spostano verso l'alto diminuisce con l'altitudine (Sekercioglu et al., 2008). Le attività umane possono aggravare la situazione, ad esempio l'espansione delle attività sciistiche può ulteriormente ridurre gli areali delle specie di uccelli che vivono alle quote maggiori (Brambilla et al., 2016).

Analizzando la probabilità di presenza di uccelli alpini rappresentativi di diversi habitat attraverso lo strumento dei modelli di idoneità ambientale e proiettando questi modelli alle condizioni climatiche future, Brambilla et al. (2017) sono giunti alla conclusione che non solo tutte le specie esaminate subiranno una notevole perdita di area idonea entro il 2050, ma assisteremo anche ad un declino complessivo della connettività ecologica, ribadendo l'importanza di considerare i cambiamenti climatici nei modelli di pianificazione territoriale (reti ecologiche o e aree protette).

L'analisi delle serie storiche ha mostrato che diverse specie montane possono subire alterazioni oltre che nella distribuzione, anche nel successo riproduttivo e nella sopravvivenza a causa di impatti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici. Effetti contrastanti sono stati rilevati sul fagiano di monte (*Lyrurus tetrrix*): positivi per quello che riguarda la sopravvivenza nel periodo invernale e negativi sul successo riproduttivo a causa dell'incremento delle precipitazioni nel periodo estivo (Viterbi et al., 2015). Il saldo complessivo osserva però un declino costante delle popolazioni. Gli autori concludono il loro studio individuando proprio nel clima uno dei fattori chiave di cui tener conto per le future azioni di gestione della popolazione. Contrastanti sono anche gli effetti riscontrati sulle Pernici bianche alpine (*Lagopus muta helvetica*): questa specie si avvantaggia dello scongelamento prematuro della neve a primavera che aumenta il successo riproduttivo, ma invece il ritardato inizio delle nevicate autunnali risulta essere svantaggioso in quanto gli individui mutano la loro livrea passando a quella invernale completamente bianca quando ancora il terreno non è innevato, risultando quindi più visibili ai predatori (Imperio et al., 2013). L'effetto poi congiunto di cambiamento climatico e interferenze antropiche locali (in questo caso impianti sciistici) spinge gli autori a prevedere degli scenari molto negativi per questa specie.

Effetti scaturiti dall'innalzamento del livello del mare

Il riscaldamento globale, tramite lo scongelamento dei ghiacciai montani e soprattutto delle banchise polari, sta portando ad un lento ma inesorabile innalzamento del livello del mare. Questo può avere un impatto diretto sulle popolazioni di uccelli, allagando i nidi delle specie che nidificano nelle zone costiere, specialmente quelle che nidificano nei siti più a ridosso della linea di costa come ad esempio diverse specie di sterne, il Fratino (*Charadrius alexandrinus*) e il Gabbiano corso (*Ichthyaetus audouinii*). In generale l'innalzamento del livello del mare provoca la perdita dell'habitat idoneo alla nidificazione per queste specie, in particolare dove gli habitat costieri sono delimitati da difese costiere. L'innalzamento del livello del mare contribuisce all'erosione di ambienti fondamentali per molte specie, come le saline, e può anche cambiare sensibilmente le caratteristiche degli habitat costieri. È probabile che gli estuari diventino più ampi e più sabbiosi, e questo influirà negativamente su alcune piccole specie di limicoli che si alimentano maggiormente in sedimenti fangosi (Austin & Rehfish, 2003).

Gli effetti negativi dell'innalzamento del livello del mare sugli uccelli acquatici si sommano a quelli dovuti all'aumento di eventi estremi che aumentano la probabilità di allagamento dei siti riproduttivi, ma anche ad altri fattori antropici come i cambiamenti nell'uso del suolo (es. distruzione delle dune costiere), le attività antropiche che causano erosione delle coste (es. attività estrattive che portano a subsidenza) e il disturbo diretto per attività ricreative (es. stabilimenti balneari).

Effetti sui parametri riproduttivi

Un recente studio (McLean et al., 2022) ha analizzato una serie storica di parametri riproduttivi relativi a 60 specie di uccelli europei e ha trovato chiare evidenze del fatto che l'aumento della temperatura, assieme ad altri effetti scaturiti dal riscaldamento globale, stanno plasmando in maniera significativa la comunità degli

uccelli in Europa. Il 31% delle 60 specie analizzate sta mostrando un cambiamento nel numero di pulcini prodotti. Il Beccafico (*Sylvia borin*) in Regno Unito di Gran Bretagna, ad esempio, ha registrato una diminuzione del 26% del numero medio di pulcini nati nell'ultimo mezzo secolo, il che mette a serio rischio il destino a lungo termine di questa specie. Lo stesso studio però evidenzia che solo la metà di questa riduzione può essere attribuita al cambiamento climatico (cioè il cambiamento climatico è responsabile di una riduzione del 13% del numero medio di pulcini nel Beccafico negli ultimi 50 anni), sottolineando come le sinergie di diverse minacce (es. riscaldamento globale e distruzione degli habitat) siano deleterie per molte specie di uccelli.

Effetti sulle dimensioni corporee

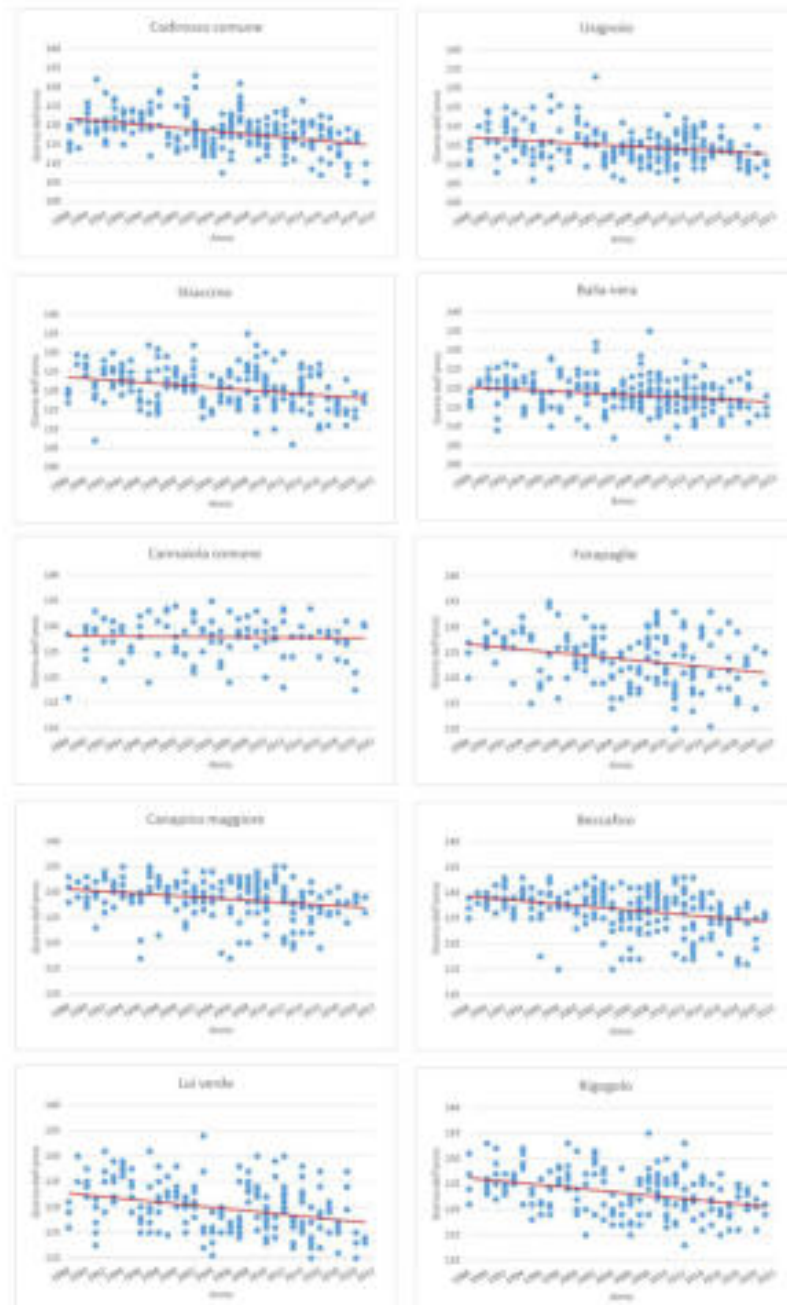
Secondo la regola di Bergmann, un consolidato principio ecogeografico, la massa corporea degli animali omeotermi aumenta con la latitudine, riflettendo la migliore capacità di trattenere calore degli individui di maggiori dimensioni, grazie a un rapporto superficie/volume minore rispetto agli individui con dimensioni minori. Generalizzando, all'interno di una stessa specie, le popolazioni che risiedono in climi più freddi hanno mediamente dimensioni corporee maggiori degli individui appartenenti a popolazioni che risiedono in climi più caldi. È quindi ragionevole prevedere che il riscaldamento globale possa influenzare le dimensioni corporee degli uccelli selezionando individui strutturalmente più piccoli. Evidenze in tal senso sono emerse in diversi studi. Già nel 2001 Yom-Tov aveva dimostrato che il peso medio di quattro specie di uccelli nidificanti in Israele era diminuito sensibilmente nel periodo compreso tra il 1950 e 1999. Uno studio recente (Dubiner et al., 2022) ha dato maggiore supporto a tale evidenza, riscontrando cambiamenti drammatici nella forma e nelle condizioni corporee dagli anni '50 ad oggi per oltre la metà delle specie di uccelli israeliane, comprese molte che migrano dall'Europa, come la Cicogna bianca. Recentemente è stato evidenziato che, a scala europea, circa il 32% delle 60 specie analizzate dalla metà degli anni '60 ad oggi sta variando le dimensioni corporee come risposta allo stress termico (McLean et al., 2022). Non è chiaro come questa variazione delle dimensioni corporee incida sulla capacità riproduttiva media degli individui, e quindi sul trend di popolazione nel medio-lungo periodo. C'è infine la possibilità che una riduzione delle dimensioni, che rende gli individui più adatti al clima mutato nelle aree di nidificazione, possa però causare una riduzione di sopravvivenza nei quartieri di svernamento se queste sono localizzate in aree tropicali dove il clima si è rivelato più stabile negli ultimi decenni, come è stato già dimostrato per il Piovanello maggiore (*Calidris canutus canutus*, Van Gils et al., 2016).

Stato di salute delle popolazioni di uccelli migratori

L'indicatore "Stato di salute delle popolazioni di uccelli migratori" sviluppato da ISPRA (Fonte: Annuario Dati Ambientali, 2022) fornisce un quadro dello stato di salute delle popolazioni di uccelli passeriformi migratori comuni in Europa attraverso una valutazione della variazione della data di passaggio durante la migrazione primaverile di 10 specie, registrata in diverse località italiane, quale indicatore della resilienza delle specie migratrici al cambiamento climatico. L'indicatore è basato sui dati raccolti nell'ambito del Progetto Piccole Isole, coordinato da ISPRA e attivo in maniera continuativa dal 1988 allo scopo di studiare e monitorare la fenologia di migrazione degli uccelli passeriformi che trascorrono l'inverno a sud del Sahara, mediante la tecnica dell'inanellamento e l'applicazione di protocolli standardizzati di inanellamento degli uccelli presso siti strategici per la sosta dei passeriformi durante la migrazione primaverile. Sono state considerate 10 specie di passeriformi: Codiroso comune, Usignolo, Stiaccino, Balia nera, Cannaiola comune, Forapaglie, Canapino maggiore, Beccafico, Lui verde e Rigogolo. Per ogni specie è stata analizzata la variazione temporale della data mediana di passaggio nei siti di campionamento nel corso del periodo compreso tra il 1988 e il 2021 (Figura 3-11), tenendo conto di possibili variazioni nel passaggio dei migratori presso le 26 stazioni che nel corso degli anni hanno aderito al progetto.

I dati evidenziano che il 40% delle specie prese in considerazione (4 su 10) mostra un anticipo della data di migrazione inferiore a 1 giorno ogni 7 anni, e dunque verosimilmente troppo lento per contrastare gli effetti

negativi scaturiti dal riscaldamento globale. Viceversa, un anticipo maggiore di 1 giorno ogni 7 anni può essere considerato favorevole per una specie, in quanto probabilmente sufficiente a contrastare gli inconvenienti scaturiti dall'aumento delle temperature primaverili, al netto di altri fattori di minaccia (ad esempio modificazione degli habitat).



Legenda: nell'asse delle ordinate, il valore 100 corrisponde al 10 aprile, mentre il valore 140 corrisponde al 20 maggio. Il numero medio di stazioni di inanellamento attive ciascun anno è 7,96 (min 2 nel 1989, max 15 nel 2012). Alcune stazioni potrebbero non aver contattato una specie durante una o più stagioni.

Figura 3-11: Andamento della data mediana di passaggio presso le stazioni di inanellamento del Progetto Piccole Isole nel periodo 1988-2021 di 10 specie di passeriformi migratori trans-Sahariani comuni in Europa durante la migrazione primaverile (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2022).

L'analisi per specie mostra un anticipo biologicamente significativo della data di migrazione primaverile per Codiroso, Forapaglie, Lu' verde, Rigogolo, Stiaccino e Beccafico (che mostrano rispettivamente un anticipo

della data mediana di migrazione di 1 giorno ogni 4,7 – 4,9 – 5,9 – 5,7 – 6,1 – 6,6 anni), specie che quindi sembrano manifestare un certo grado di resilienza al riscaldamento globale. Al contrario, Cannaiola comune, Usignolo, Canapino maggiore e Balia nera presentano un anticipo della data di migrazione primaverile nullo o troppo lento (1 giorno ogni 9+ anni), non rispondendo probabilmente in maniera adeguata ai cambiamenti ambientali che scaturiscono dall'aumento delle temperature primaverili (Gustin et al., 2019).

Possibili indicatori ambientali significativi da sviluppare per monitorare il fenomeno

L'indicatore individuato, pur essendo sviluppato su un set di specie con diverse caratteristiche e avendo una adeguata copertura temporale e spaziale, è limitato ad un solo tratto fenotipico e non riflette tutti i possibili impatti del cambiamento climatico sulla biologia degli uccelli. Si auspica dunque lo sviluppo di altri indicatori che possano riflettere gli effetti del cambiamento climatico sull'abbondanza e la distribuzione delle popolazioni italiane.

Ogni 6 anni ISPRA produce il Rapporto sull'Applicazione della Direttiva Uccelli 147/2009/CE in Italia, nell'ambito dell'attività di rendicontazione svolta dall'Italia per ottemperare agli obblighi previsti dall'art. 12 della Direttiva. Per ogni specie, il Rapporto fornisce una stima della distribuzione, della dimensione e del trend di popolazione in Italia nel lungo e nel medio periodo, ma anche l'elenco delle pressioni e delle minacce, incluso il cambiamento climatico. È quindi possibile valutare se il numero di specie di uccelli minacciata in Italia dal cambiamento climatico, o da effetti indiretti scaturiti da quest'ultimo, aumenta nel tempo e come questo si traduca in cambiamenti nello stato di conservazione delle popolazioni. Un indicatore di questo tipo fornirebbe dunque un quadro circa l'impatto del cambiamento climatico sull'avifauna in Italia.

Consistenza e livello di minaccia di specie vegetali

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.

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., 2020) e 2.704 Licheni (Nimis e Martellos, 2017), e con 8.237 entità di piante vascolari (Bartolucci et al., 2021) (Figura 3-12).

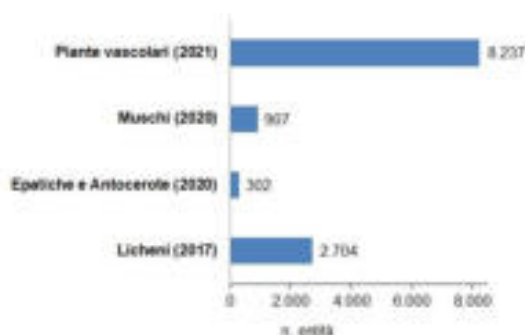


Figura 3-12: Numero di entità vegetali (specie + sottospecie) segnalate dalle checklist nazionali, divise per gruppo sistematico (Dato ISPRA, ADA, 2021).

A livello regionale in ben 8 regioni su 20 il numero di entità di piante vascolari supera le 3.000 specie e sottospecie (Figura 3-13).

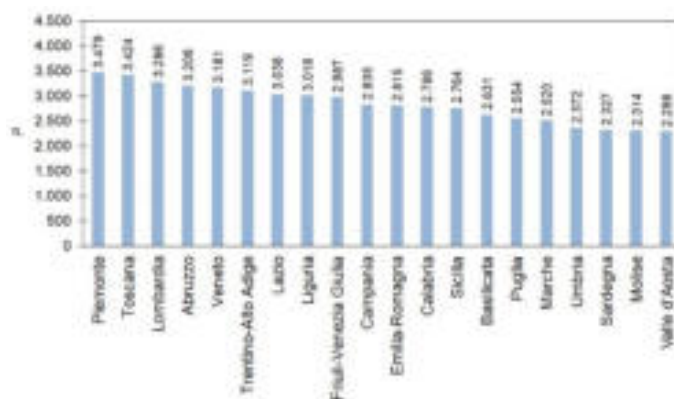
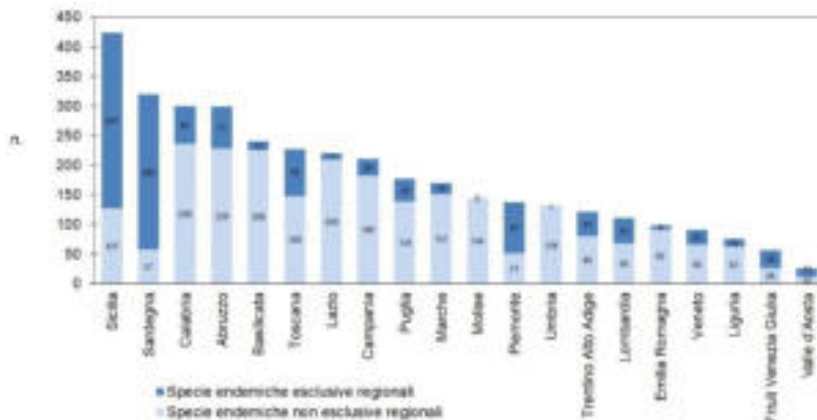


Figura 3-13: Numero di entità di flora vascolare (specie + sottospecie) in ciascuna regione italiana (gennaio 2021; Dato ISPRA, ADA, 2021).

La flora vascolare endemica italiana è costituita da 1.727 entità (pari al 20,97% della flora vascolare totale) tra specie e sottospecie esclusive del nostro territorio o presenti in Italia, Corsica e Malta (Bartolucci et al., 2021). Il numero di entità vascolari endemiche presenti in ciascuna regione (ripartito in endemiche ed endemiche esclusive) permette di apprezzare la rilevanza biogeografica delle flore regionali, tra le quali spiccano Sicilia: (424 endemiche di cui 297 esclusive regionali), Sardegna (319 endemiche di cui 262 esclusive), Calabria (300 endemiche di cui 64 esclusive) e Abruzzo (299 endemiche di cui 71 esclusive) (Figura 3-14). Rilevante è anche la componente endemica per altre regioni (Basilicata, Toscana, Lazio, Campania, Puglia, Marche), mentre le regioni alpine, nonostante la rilevanza fitogeografica, non emergono in queste elaborazioni poiché le entità vegetali distribuite sui rilievi alpini che valicano il confine italiano non vengono considerate endemiche italiane, essendo condivise con altri Paesi.

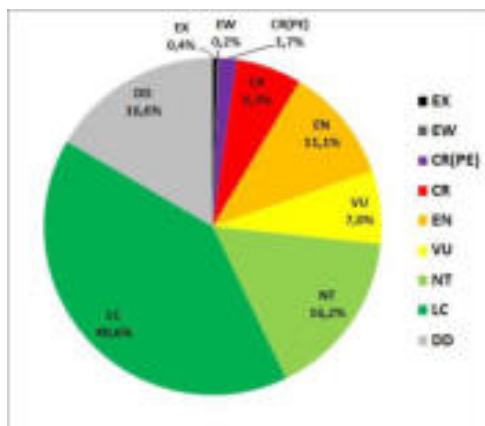


Legenda: EX: specie estinta a livello sub-globale (regionally extinct), EW: specie estinta in natura (extinct in the wild), CR(PE): specie probabilmente estinta, CR: gravemente minacciata (critically endangered), EN: minacciata (endangered), VU: vulnerabile (vulnerable), NT: quasi a rischio (near threatened), LC: a minor rischio (least concern), DD: dati insufficienti (data deficient).

Figura 3-14: Livello di minaccia della flora vascolare italiana: ripartizione percentuale nelle categorie IUCN di rischio di estinzione delle 2.430 piante vascolari valutate (2020) (Dato ISPRA, ADA, 2021).

Lo stato di rischio IUCN evidenzia condizioni preoccupanti per la nostra flora un contingente di 2.430 entità vascolari (pari al 29,5% della flora vascolare italiana), per le quali sono state identificate anche le pressioni prevalenti. Purtroppo, lo stato di conservazione non può essere considerato soddisfacente poiché delle 2.430 entità vascolari valutate dalle Liste Rosse italiane il 2,3% (pari a 54 entità) sono estinte o probabilmente estinte (EX+EW+CR(PE)) e il 24,4% (CR+EN+VU) (590 entità) è a rischio di estinzione (Figura 3-15). Sono minacciate anche le policy species (specie protette da Convenzione di Berna e Direttiva Habitat), nonostante

la tutela in vigore ormai da molti anni, con il 6% di specie estinte o probabilmente estinte e il 37% a rischio di estinzione. Le pressioni antropiche correlate ai cambiamenti di uso del suolo continuano ad agire sul nostro territorio e rappresentano attualmente uno dei maggiori driver del rischio di estinzione delle specie vegetali. Inoltre, la Lista Rossa della flora vascolare mostra tra le pressioni più rilevanti le modifiche dei sistemi naturali (il 39% dei 2.430 taxa valutati sono soggetti a questa forma di pressione), l'attività agricola (27%), lo sviluppo residenziale (27%) e il disturbo antropico (20%) e quasi il 10 % i cambiamenti climatici.



Legenda: EX: specie estinta a livello sub-globale, EW: specie estinta in natura, CR(PE): specie probabilmente estinta, CR: gravemente minacciata, EN: minacciata, VU: vulnerabile, NT: quasi a rischio, LC: a minor rischio, DD: dati insufficienti.

Figura 3-15: Livello di minaccia della flora vascolare italiana: ripartizione percentuale nelle categorie IUCN di rischio di estinzione delle 2.430 piante vascolari valutate (2020) (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2021).

Stato di conservazione degli habitat terrestri di direttiva 92/43/CEE

Oltre al ruolo fondamentale degli ecosistemi naturali italiani come habitat di specie che svolgono una funzione essenziale per poter assicurare la conservazione di specie di flora e fauna, numerosi sono gli habitat considerati di per sé di rilevante interesse conservazionistico. Ciò si evidenzia sia nei Rapporti periodici derivanti dall'applicazione della direttiva 92/43 "Habitat" (<http://www.reportingdirettivahabitat.it/> http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/rep_habitats/index_en.htm) che nell'ambito della relazione e redazione delle Liste Rosse, in cui numerose sono le specie (<http://www.iucn.it/liste-rosse-italiane.php>) e gli habitat considerati di pregio e meritevoli di misure di tutela dedicate (http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/redlist_en.htm).

I risultati ottenuti dall'ultimo Report nazionale sullo stato di conservazione e trend delle specie e degli habitat di interesse comunitario disegnano un resoconto complessivamente non positivo anche se prevedibile, osservando i risultati del precedente ciclo di reporting in cui le prospettive future avevano anticipato il peggioramento attualmente registrato (dati su <http://www.reportingdirettivahabitat.it/>). Dalle valutazioni, riferite ai dati dei monitoraggi effettuati dalle regioni e dalle province autonome nel periodo 2013-2018, emerge un peggioramento rispetto al precedente ciclo di reporting con una tendenza negativa e una diminuzione delle condizioni favorevoli. Attualmente sono in stato di conservazione favorevole solo l'8% dei casi a fronte del 49% di valutazioni di stato inadeguato e del 40% di valutazione di stato cattivo (Figura 3-16). Si rileva pertanto una situazione generale problematica, che allontana, ancor di più rispetto al passato, il raggiungimento degli obiettivi fissati dalla normativa.

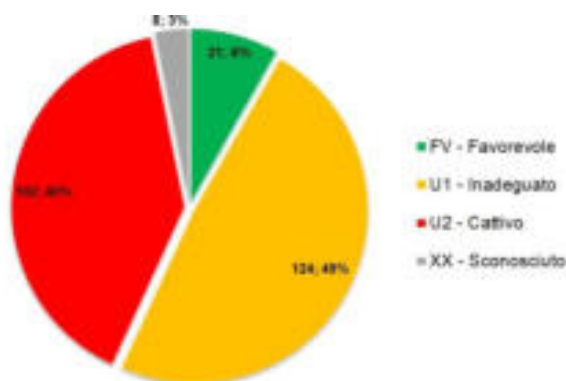


Figura 3-16: Stato di conservazione degli Habitat di direttiva Habitat (92/43/CEE) (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2020).

I dati per regione biogeografica rilevano che il maggior numero di valutazioni risultate in stato di conservazione cattivo (U2) è presente nella regione continentale (40), dove tuttavia il numero di valutazioni inadeguate (U1) è minore (35) rispetto alle altre regioni biogeografiche. Nel complesso le valutazioni sfavorevoli sono maggiori nella regione mediterranea: 33 cattive e 51 inadeguate.

A scala regionale, in ciascuna regione amministrativa, si osserva che la bioregione mediterranea in Toscana è quella in assoluto con più habitat. Tale regione è assai ben rappresentata però anche nel Sud Italia con 70 habitat in Calabria, 67 in Basilicata e 66 in Sicilia. Alla bioregione continentale possono essere ascritti 71 habitat in Emilia-Romagna, mentre quella alpina ne presenta 64 in Piemonte (Figura 3-17).

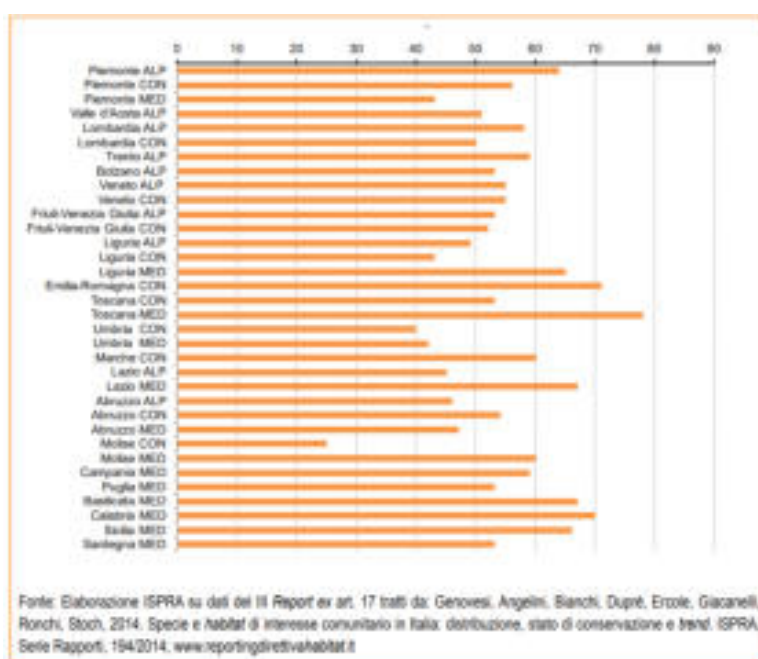


Figura 3-17: Numero di habitat di Direttiva 92/43/CEE rendicontati nelle regioni amministrative italiane, ripartiti per regione biogeografica di presenza (Dato ISPRA, ADA, Biosfera, 2019).

Criticità e vulnerabilità degli habitat e della vegetazione in relazione ai Cambiamenti Climatici

Per quanto concerne la flora e la vegetazione, esse risultano particolarmente colpite dalla variazione del ciclo idrologico, dal generale aumento delle temperature medie e dall'intensificarsi di fenomeni meteorologici estremi. Questi ultimi hanno un particolare impatto sulla fisiologia di alcune specie arboree ed erbacee e possono anche minarne la capacità di adattamento alle nuove condizioni climatiche. L'incremento di temperatura e il cambiamento del ciclo idrologico possono alterare il ciclo di vita delle piante, anticipando,

ad esempio, i tempi di fioritura e determinando anche l'indurimento invernale dei tessuti. Tutto ciò può contribuire a causare un'alterazione degli areali di distribuzione di molte specie, modificando le interazioni tra specie. L'impatto che il cambiamento climatico avrebbe sulla vegetazione determinerebbe una modifica degli habitat che potrebbero non essere più adatti ad ospitare molte specie animali e ad interagire con il ciclo vitale, ad esempio, compromettendo i percorsi migratori di molte specie di uccelli. L'influenza del riscaldamento globale condiziona non solo la produzione di biomassa, ma anche la performance riproduttiva e, nel lungo termine, potrebbe determinare un cambiamento delle strategie riproduttive degli organismi vegetali (Abeli et al., 2012).

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., 2013).

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., 2012).

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., 2015). 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., 2012; Cannone et al., 2007), la risalita di specie arboree con conseguente innalzamento dei limiti della vegetazione arborea (Leonelli et al., 2011), la variazione della composizione floristica, l'estensione degli schemi di distribuzione spaziale (pattern) delle comunità vegetali (Erschbamer et al., 2011) e infine l'accelerazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul dinamismo e sui processi di colonizzazione delle specie (Cannone et al., 2008). Tali cambiamenti, in combinazione con i trend previsti per i cambiamenti climatici, potranno avere come conseguenza una crescente perdita di biodiversità e un maggiore rischio di estinzione per molte specie nel prossimo futuro.

Aree Naturali protette, Siti Natura 2000 e Zone Ramsar

L'Elenco Ufficiale delle Aree Protette (EUAP) raccoglie tutte le aree naturali, marine e terrestri, ufficialmente riconosciute, che rispondono ai criteri stabiliti in base all'art. 2 della L. 394/91. L'ultima versione di tale elenco è stata pubblicata nel 2010 (con D.M. del 27/4/2010 in G.U. del 31/5/2010, n. 125) (Tabella 3-1).

Tabella 3-1: Tipologie aree protette (EUAP, 2010) (Fonte: Rapporto ISPRA 107/2010).

TIPOLOGIA A.P.	TIPOLOGIA AMBITI	ELEMENTI DA TUTELARE	FINALITÀ DELLA TUTELA
PARCO NAZIONALE	aree terrestri, fluviali, lacuali o marine	uno o più ecosistemi, intatti o anche parzialmente alterati da interventi antropici, una o più formazioni fisiche, geologiche, geomorfologiche, biologiche, valori naturalistici, scientifici, estetici, culturali, educativi e ricreativi	gli elementi da tutelare hanno rilievo internazionale o nazionale tale da richiedere l'intervento dello Stato ai fini della loro conservazione per le generazioni presenti e future
PARCO NATURALE REGIONALE/ INTERREGIONALE	aree terrestri, fluviali, lacuali ed eventualmente da tratti di mare prospicienti la costa	sistema omogeneo individuato dagli assetti naturali dei luoghi, dai valori paesaggistici ed artistici e dalle tradizioni culturali delle popolazioni locali	valorizzazione del sistema naturalisticamente e ambientalmente omogeneo
RISERVA NATURALE STATALE/ REGIONALE	aree terrestri, fluviali, lacuali o marine	una o più specie naturalisticamente rilevanti della flora e della fauna, ovvero presentino uno o più ecosistemi importanti per la diversità biologiche o per la conservazione delle risorse genetiche	tutela di una o più specie di habitat
AREE MARINE PROTETTE	ambienti marini (acque, fondali e tratti di costa prospicienti)	caratteristiche naturali, geomorfologiche, fisiche, biochimiche con particolare riguardo alla flora e alla fauna marine e costiere	gli elementi da tutelare presentano un interesse rilevante e rivestono particolare importanza dal punto di vista scientifico, ecologico, culturale, educativo ed economico
ALTRE AREE NATURALI PROTETTE	aree che non rientrano nelle precedenti classificazioni (Aree Naturali Protette Regionali, monumenti naturali, parchi suburbani, parchi provinciali, oasi delle associazioni ambientaliste)		

In Italia attualmente sono state istituite 843 Aree Protette Terrestri e Aree Terrestri con parte a mare (per le Aree Protette Marine si veda il relativo indicatore) di cui: 25 Parchi Nazionali, 148 Riserve Naturali Statali, 134 Parchi Naturali Regionali, 365 Riserve Naturali Regionali e 171 altre Aree Protette di diverse classificazioni e denominazioni. La superficie terrestre protetta ammonta a oltre 3 milioni di ettari, pari al 10,5% della superficie terrestre nazionale. Essa è costituita in gran parte da Parchi Nazionali (46,4%) e Parchi Naturali Regionali (40,8%) (Tabella 3-2).

Le regioni che contribuiscono maggiormente al totale nazionale sono la Campania (350.204 ettari - 11,0% del totale nazionale) e l'Abruzzo (305.051 ettari - 9,6%) (Tabella 3-2). Dal 2010 sono state Istituite altre due Aree Protette la Riserva Naturale Statale Tresero-Dosso del Vallon istituita nel 2016 ed il Parco Nazionale Isola di Pantelleria istituito nel 2016.

Tabella 3-2: Distribuzione percentuale delle aree protette terrestri per regione e tipologia (Fonte ADA, Biosfera 2019).

Regione/ Provincia Autonoma	Parco Nazionale	Riserva Naturale Statale	Parco Naturale Regionale	Riserva Naturale Regionale	Altre Aree Naturali Protette Regionali	TOTALE regionale sul totale nazionale
%						
Piemonte	25,3	1,9	53,3	8,5	11,0	5,6
Valle d'Aosta	85,5	0	13,3	1,2	0	1,4
Lombardia	43,6	2,4	46,5	6,9	0,5	4,3
Trentino-Alto Adige	25,1	0	73,5	0,8	0,6	8,9
Trento	17,2	0	79,9	1,2	1,7	3,2
Bolzano - Bozen	29,6	0	69,8	0,6	0	6,7
Veneto	16,1	20,9	60,8	2,3	0	2,9
Friuli-Venezia Giulia	0	0,7	86,2	13,1	0	1,7
Liguria	14,2	0,1	79,2	0,1	6,5	0,9
Emilia-Romagna	32,9	8,8	55,3	2,8	0,2	2,9
Toscana	28,3	7,8	36,5	23,1	4,3	4,4
Umbria	28,5	0,0	64,3	0	7,2	2,0
Marche	67,5	6,7	25,2	0,5	0	2,9
Lazio	12,3	11,9	52,8	20,1	3,0	6,8
Abruzzo	71,9	5,8	18,5	3,4	0,3	9,6
Molise	53,5	15,7	0	0,7	30,2	0,2
Campania	52,9	0,6	42,9	2,9	0,7	11,6
Puglia	69,5	3,7	24,6	2,2	0	8,4
Basilicata	81,0	0,5	17,3	1,1	0	6,1
Calabria	86,4	6,3	6,9	0,3	0	8,0
Sicilia	2,4	0	66,9	30,7	0	8,7
Sardegna	89,6	0	7,2	0,0	3,2	3,0
Italia	46,4	4,0	40,8	7,3	1,6	100,0

Fonte: Elaborazione ISPRA su dati MATTM

Aree Ramsar

Le zone umide tutelate ai sensi della Convenzione di Ramsar (1971) sono costituite da paludi, acquitrini, torbiere, ma anche da bacini, naturali o artificiali, permanenti o temporanei, con acqua stagnante o corrente, dolce, salmastra, o salata, ivi comprese le distese di acqua marina la cui profondità, durante la bassa marea, non supera i sei metri. Queste aree sono tutelate per le loro importanti funzioni ecologiche, fra cui quelle di regolamentazione del regime delle acque e come habitat di specie di flora e fauna caratteristiche, con particolare riferimento alle specie di uccelli acquatici migratrici. Questi ambienti non solo costituiscono una risorsa di grande valore economico, culturale, scientifico e ricreativo, ma svolgono anche un'azione di mitigazione dei cambiamenti climatici in quanto intrappolano CO₂ ed essendo dei veri e propri magazzini di acqua dolce fungono da zona buffer in grado di assorbire eventi di piena e limitano l'erosione costiera.

In particolare, negli ultimi anni il numero di zone umide di importanza internazionale istituite nel nostro paese è notevolmente incrementato dal 2007 al 2016, si sono aggiunte 15 nuove aree, che portano le zone designate a 65 e la superficie a 82.331 ettari (ISPRA, Annuario dati Ambientali 2019). Tuttavia, per 10 di queste aree devono essere completati i passaggi che determinano il riconoscimento internazionale finale e la loro iscrizione nella lista delle zone umide di importanza internazionale (art. 2 della Convenzione) definita dal Segretariato della Convenzione di Ramsar.

Le 65 zone Ramsar sono distribuite in 15 regioni e con un'estensione molto variabile, che va da un minimo di 12 ettari dello Stagno Pantano Leone in Sicilia, a un massimo di 13.500 ettari delle Valli residue del comprensorio di Comacchio (Emilia-Romagna) o degli 11.135 ettari dell'area di Massaciuccoli - Migliarino - San Rossore (Toscana). Le regioni in cui le Aree Ramsar sono più estese sono l'Emilia-Romagna con 10 aree, (23.112 ettari), la Toscana con 11 aree (20.756 ettari) e la Sardegna con 8 aree per una superficie di 12.572 ettari. %) (Figura 3-18).

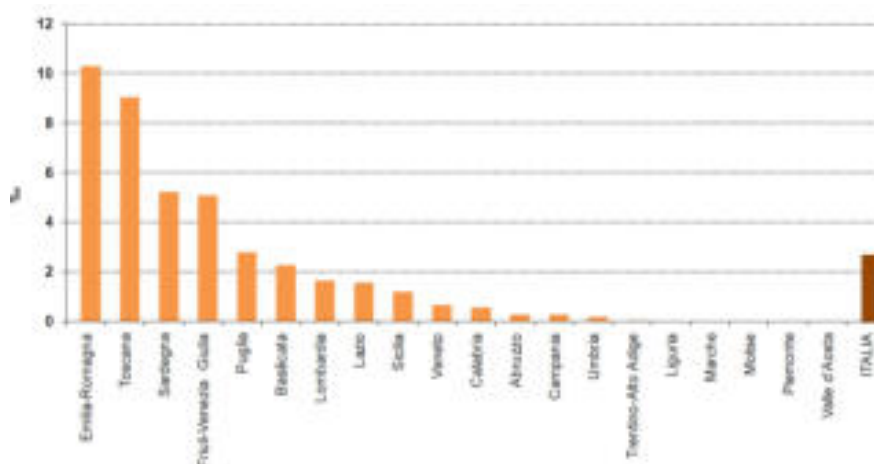


Figura 3-18: Zone umide di importanza internazionale: millesimi di superficie regionale occupata dalle aree Ramsar (2018) (Fonte ADA, Biosfera 2019).

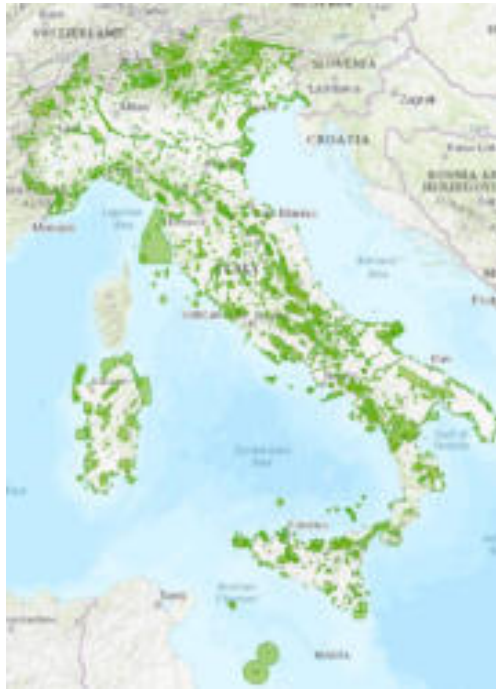
Rete Natura 2000

Natura 2000 è il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità. Si tratta di una rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell'Unione, istituita ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciate o rare a livello comunitario.

La rete Natura 2000 è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC), identificati dagli Stati Membri secondo quanto stabilito dalla Direttiva Habitat, che vengono successivamente designati quali Zone Speciali di Conservazione (ZSC), e comprende anche le Zone di Protezione Speciale (ZPS) istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli" concernente la conservazione degli uccelli selvatici.

Le aree che compongono la rete Natura 2000 non sono riserve rigidamente protette dove le attività umane sono escluse; in quanto la Direttiva Habitat intende garantire la protezione della natura tenendo anche "conto delle esigenze economiche, sociali e culturali, nonché delle particolarità regionali e locali" (Art. 2).

Ad oggi sono stati individuati da parte delle Regioni italiane 2637 siti afferenti alla Rete Natura 2000. In particolare, sono stati individuati 2358 Siti di Importanza Comunitaria (SIC), 2302 dei quali sono stati designati quali Zone Speciali di Conservazione (passate dalle 2.278 del 2018 alle 2.302 del 2021), e 636 Zone di Protezione Speciale (ZPS), 357 delle quali sono siti di tipo C, ovvero ZPS coincidenti con SIC/ZSC (Figura 3-19).



REGIONE	Natura 2000***				
	n. siti	superficie a terra			superficie a mare
	n. siti	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%
**Abruzzo	58	387.083	35,87%	3.410	1,38%
Basilicata	64	174.558	17,48%	35.092	5,93%
Calabria	185	289.805	19,32%	34.050	1,94%
Campania	123	373.031	27,45%	25.071	3,05%
Emilia Romagna	159	266.079	11,85%	34.874	18,04%
***Friuli Ven. Giulia	67	153.687	19,41%	5.411	6,50%
**Lazio	200	398.086	23,14%	59.689	5,28%
Liguria	133	139.959	25,84%	9.133	1,67%
Lombardia	246	373.555	15,65%	/	/
**Marche	96	181.588	15,09%	1.241	0,32%
**Molise	88	118.725	26,76%	0	0
*Piemonte	151	404.001	15,91%	/	/
PA Bolzano	44	150.047	20,38%	/	/
PA Trento	143	176.217	28,35%	/	/
Puglia	87	402.514	20,62%	334.421	21,76%
Sardegna	128	454.533	18,86%	410.140	18,29%
Sicilia	245	470.893	18,32%	650.251	17,23%
Toscana	157	327.005	14,21%	442.636	27,08%
Umbria	102	130.094	15,38%	/	/
*Valle d'Aosta	30	38.948	30,34%	/	/
***Veneto	131	414.298	22,58%	26.361	7,54%
TOTALE	2637	5.844.708	19,39%	2.071.688	13,42%

Figura 3-19: Distribuzione della Rete Natura 2000 sul territorio nazionale (Fonte: <https://ecoatlante.isprambiente.it>; <https://www.mase.gov.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia>)

Tabella 3-3: Distribuzione delle ZPS, SIC-ZSC su base regionale (Fonte: <https://www.mase.gov.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia>)

REGIONE	ZPS				SIC-ZSC				SIC-ZSCZPS					
	n. siti	superficie a terra	%	superficie a mare	n. siti	superficie a terra	%	superficie a mare	n. siti	superficie a terra	%	superficie a mare		
**Abruzzo	4	196.131	26,70%	0	42	136.557	18,07%	3.410	1,382%	12	36.036	3,34%	0	
Basilicata	3	135.180	13,15%	0	41	38.671	3,87%	5.204	0,86%	26	36.600	3,61%	29.794	
Calabria	3	146.436	16,48%	13.754	0,79%	179	70.430	4,87%	21.043	1,33%	0	0	0	
Campania	15	138.790	11,15%	16	0,002%	93	121.831	11,65%	522	0,06%	18	17.304	1,37%	24.544
Emilia Romagna	19	26.457	1,31%	0	72	78.137	3,48%	31.227	14,37%	68	104.481	7,06%	1.644	
***Friuli Ven. Giulia	4	45.635	6,23%	331	0,28%	58	78.312	15,92%	2.048	3,18%	4	53.871	6,80%	2.760
**Lazio	18	356.570	20,71%	27.581	2,44%	181	98.567	5,73%	41.785	3,75%	21	24.333	1,41%	0
Liguria	7	35.733	3,64%	0	126	138.087	25,69%	9.133	1,67%	0	0	0	0	
Lombardia	49	777.655	13,64%	/	179	166.044	8,63%	/	/	18	18.765	0,83%	/	
**Marche	13	135.740	12,45%	1.301	0,23%	69	84.488	10,07%	943	0,24%	8	10.294	1,09%	96
**Molise	3	32.877	7,84%	0	76	65.697	14,79%	0	0	8	32.343	3,24%	0	
*Piemonte	19	148.163	5,64%	/	181	124.924	4,92%	/	/	31	184.905	6,50%	/	
PA Bolzano	0	0	0	/	21	7.432	1,05%	/	/	17	147.626	34,18%	/	
PA Trento	7	134.131	20,01%	/	124	151.489	24,99%	/	/	11	2.941	0,41%	/	
Puglia	7	100.841	5,38%	193.418	12,58%	75	132.771	11,81%	76.806	4,62%	9	140.897	8,73%	70.391
Sardegna	31	149.730	6,21%	29.880	1,32%	67	169.537	11,18%	141.458	6,51%	18	97.336	4,69%	342.913
Sicilia	16	230.792	10,10%	660.213	14,83%	113	160.963	14,04%	179.947	4,77%	16	18.616	0,76%	34
Toscana	19	31.531	1,49%	16.859	1,07%	94	124.030	9,31%	198.135	14,37%	44	98.115	4,37%	44.301
Umbria	3	26.123	3,44%	/	93	103.212	12,21%	/	/	3	18.121	3,14%	/	
*Valle d'Aosta	2	40.624	12,46%	/	25	25.926	7,95%	/	/	3	45.713	14,02%	/	
***Veneto	16	182.436	9,94%	571	0,18%	64	195.629	10,66%	26.317	7,53%	41	170.006	9,30%	0
TOTALE	219	3.809.385	9,31%	605.858	3,60%	2082	1.694.020	12,26%	932.199	6,46%	137	1.461.786	8,42%	438.488

Nell'ultimo biennio si è registrato un incremento delle aree tutelate soprattutto in ambito marino con la progressiva definizione della Rete a mare. Le percentuali di copertura della Rete a livello nazionale sono rilevanti anche in relazione ai target della nuova Strategia Europea per la Biodiversità al 2030, e nelle diverse Regioni e Province Autonome sono piuttosto eterogenee, passando dal 12% (Emilia-Romagna), al 36% (Abruzzo) per le superfici a terra, e dallo 0,32% (Marche) al 27% (Toscana) per le superfici a mare. In totale

sono presenti 2637 siti che coprono il 19,39% delle terre emerse pari a una superficie di 5.844.708 ettari, e il 13,42% delle acque marine pari a un'area di 2.071.689 ettari (Tabella 3-3).

La Rete Natura 2000, che mira a preservare gli habitat e le specie in uno stato di conservazione favorevole, si rivela in questo contesto determinante per le misure che possono mitigare gli effetti dei Cambiamenti Climatici sui sistemi naturali. Tuttavia, per garantire il necessario grado di resilienza e adattamento la rete dovrà essere integrata da azioni esterne che ne migliorino la connettività e la coerenza, non solo attraverso la riduzione dei fattori "tradizionali" che esercitano pressione sulla biodiversità, ma anche mediante il ripristino e la creazione di habitat che possano agevolare gli spostamenti e la diffusione delle specie man mano che muta il loro "spazio climatico".

Tuttavia, per effetto dei cambiamenti climatici in atto, a causa della perdita netta di territorio all'interno dei Siti Natura 2000, dell'inaridimento, della desertificazione e dell'erosione costiera si registrano i seguenti effetti negativi:

- alterazione della copertura vegetale;
- alterazione degli ecosistemi naturali;
- generale declino di alcune popolazioni;
- scomparsa o rarefazione di specie per perdita o alterazione dell'habitat nel sito e in una fascia ad essa circostante:
- 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);
- alterazione delle normali interazioni ecologiche tra specie;
- possibile espansione di specie vettrici di agenti patogeni;
- invasioni di specie aliene che potrebbero trovare, nelle mutate condizioni climatiche, ambienti ideali.

3.2.2 Specie alloctone e invasive

La terminologia adottata dalla Convenzione per la Biodiversità delle Nazioni Unite nel 2002 (<https://www.cbd.int/invasive/terms.shtml>) definisce "alloctona" (sinonimi: esotica, aliena, introdotta, non-nativa) "una specie, sottospecie o gruppo tassonomico di livello gerarchico più basso introdotta (a causa dell'azione dell'uomo, intenzionale o accidentale) al di fuori della propria distribuzione naturale passata o presente, inclusa qualunque parte della specie, gameti, semi, uova o propaguli di detta specie che potrebbero sopravvivere e conseguentemente riprodursi". Per specie "alloctona invasiva" si intende "una specie alloctona la cui introduzione e/o diffusione minaccia la biodiversità".

Il numero di specie alloctone in Italia è in progressivo e costante aumento ed è correlabile all'aumento degli scambi commerciali e allo sviluppo dei sistemi di trasporto che si è verificato in Europa a partire in particolare dal Secondo dopoguerra.

Sulla base dei dati registrati nella banca dati nazionale sulle specie aliene, gestita da ISPRA, le specie introdotte nel nostro Paese sono state più di 3.600, di cui 3.498 attualmente presenti in natura. Di queste, più di 1.800 appartengono al regno animale, oltre 1.600 al regno vegetale e le restanti sono funghi, batteri, cromisti e protisti. Il totale comprende anche le specie con uno status incerto (definite "criptogeniche" e per lo più appartenenti al gruppo degli artropodi terrestri e a diversi taxa marini) e le specie alloctone solo in una parte del territorio nazionale. Tali numeri rappresentano comunque una sottostima in particolare per alcuni gruppi tassonomici, anche per la difficoltà di rilevare tempestivamente la presenza di nuove specie non ancora stabilizzate.

In Figura 3-20 è riportata la consistenza numerica delle specie alloctone (anche presenti in modo occasionale) segnalate per l'Italia al 2021, ripartite nei principali gruppi tassonomici e la frazione percentuale di specie alloctone introdotte sul numero totale di specie (autoctone + alloctone) stimate in Italia per ciascun gruppo. I numeri relativi ai diversi gruppi di invertebrati sono da considerarsi sicuramente una sottostima, in alcuni casi anche considerevole, rispetto alla reale presenza di specie alloctone nel nostro paese; ciò si riflette anche sui valori percentuali, non a caso risultati massimi (intorno al 20%) per 3 gruppi di vertebrati: mammiferi, rettili e pesci. Molto rilevante è anche l'elevata proporzione di specie alloctone tra le piante.

Dall'analisi del tasso medio annuo di introduzione, considerando unicamente le specie alloctone sull'intero territorio nazionale e presenti in maniera stabile dal 1900 al 2021 (Figura 3-21), si evidenzia una crescita esponenziale fino allo scorso decennio. A una prima fase di sostanziale stabilità (1900-1950), con tassi medi di introduzione al di sotto di 2 specie/anno, è seguito un aumento del tasso che, inizialmente moderato, a partire dagli Anni '70, è divenuto molto più consistente arrivando a valori superiori a 7 specie/anno, per raggiungere il suo massimo nel decennio scorso, con oltre 13 specie/anno. Nei primi due anni del decennio in corso il tasso di introduzione medio risulta più contenuto (6 specie/anno). Tale valore potrebbe essere affetto da sottostima e pertanto andrà confermato negli anni successivi, in relazione al ritardo "fisiologico" che intercorre tra l'effettiva introduzione o ingresso di una specie alloctona e il suo rilevamento o la sua segnalazione "ufficiale" come presente.

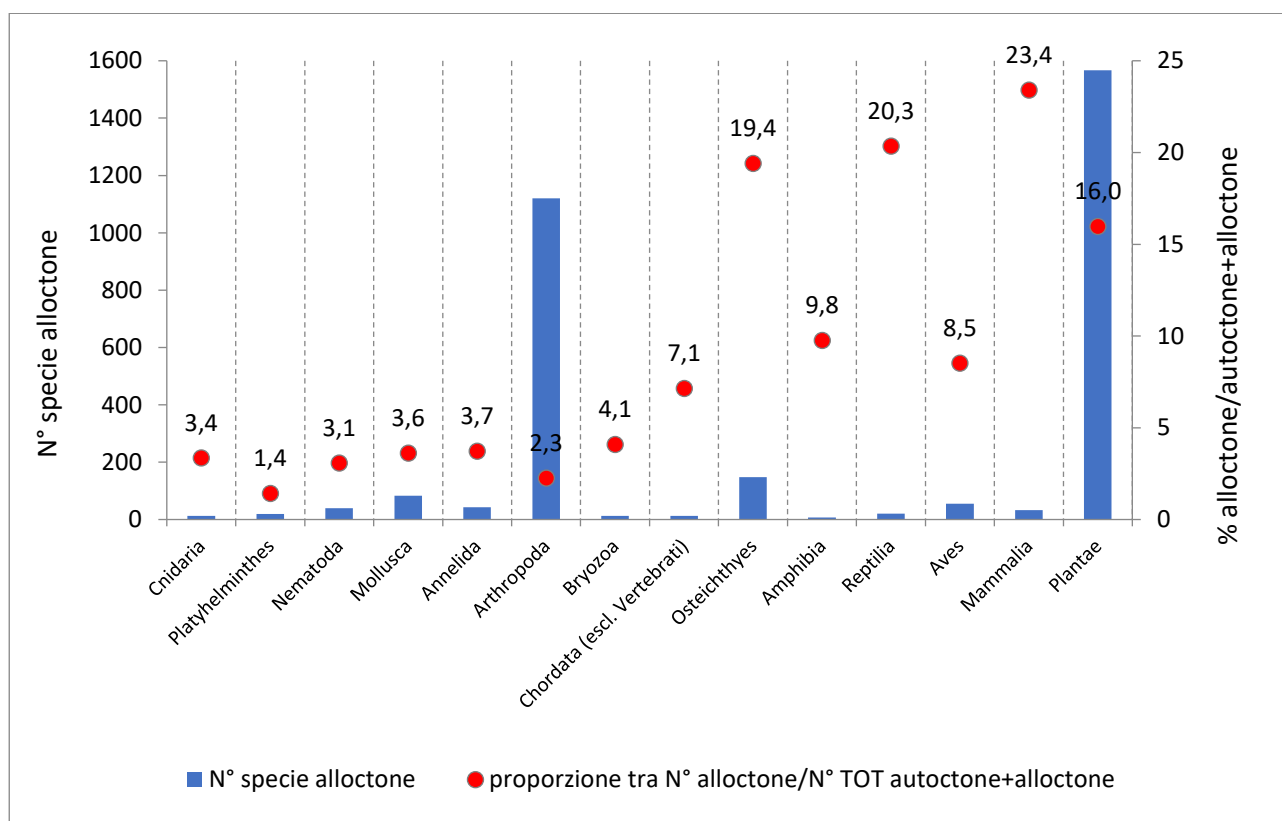


Figura 3-20: Numero di specie alloctone presenti in Italia nel 2021 e frazione percentuale di specie alloctone sul totale complessivo di specie, calcolati per i principali gruppi tassonomici. Per quanto concerne le piante sono considerate solo le specie terrestri e di acqua dolce (ISPRA, ADA 2020).

Per il calcolo del tasso di introduzione, sono state considerate unicamente le specie aliene sull'intero territorio nazionale e presenti in maniera stabile, con periodo o data di introduzione successivi al 1900. Tale

informazione risulta disponibile per una frazione ridotta delle specie presenti nella banca dati (circa il 20%) e pertanto i valori assoluti vanno interpretati in modo prudente e considerati sicuramente una sottostima, in particolare per quanto riguarda i primi decenni considerati. Dal calcolo sono inoltre state escluse le specie con status incerto o di origine aliena solo in una parte del territorio nazionale e tutte le specie presenti in maniera occasionale, sporadica o le specie introdotte che si sono poi estinte o sono state eradicite. Infine, sono stati esclusi gli invertebrati cosiddetti pest agricoli e/o forestali, specie legate a colture delimitate nello spazio (es. *Heterodera elachista*, un nematode giapponese legato alle cisti del riso e del mais, arrivato in Italia tra il 2012 e il 2013). Quest'ultima scelta è basata sul fatto che la normativa europea e italiana in materia di specie alloctone esclude in maniera esplicita tali specie, già coperte da altri strumenti normativi.

Anche calcolando la curva di accumulazione relativa al numero di specie introdotte in Italia a partire dal 1900 (Figura 3-22) si conferma l'andamento esponenziale già evidenziato in precedenza, con un aumento sensibile della pendenza della curva a partire dagli Anni '70. Nell'ultimo secolo le specie aliene introdotte sono aumentate di oltre il 500% e il 2010 risulta quello con il numero massimo di introduzioni di nuove specie ($n = 21$). Dal 2018 il numero di specie alloctone introdotte e stabilizzate in ambiente naturale risulta inferiore alle 10 specie annue. L'analisi della curva di accumulazione non evidenzia alcun effetto di saturazione, confermando l'andamento emerso anche a livello globale (Seebens et al., 2017).

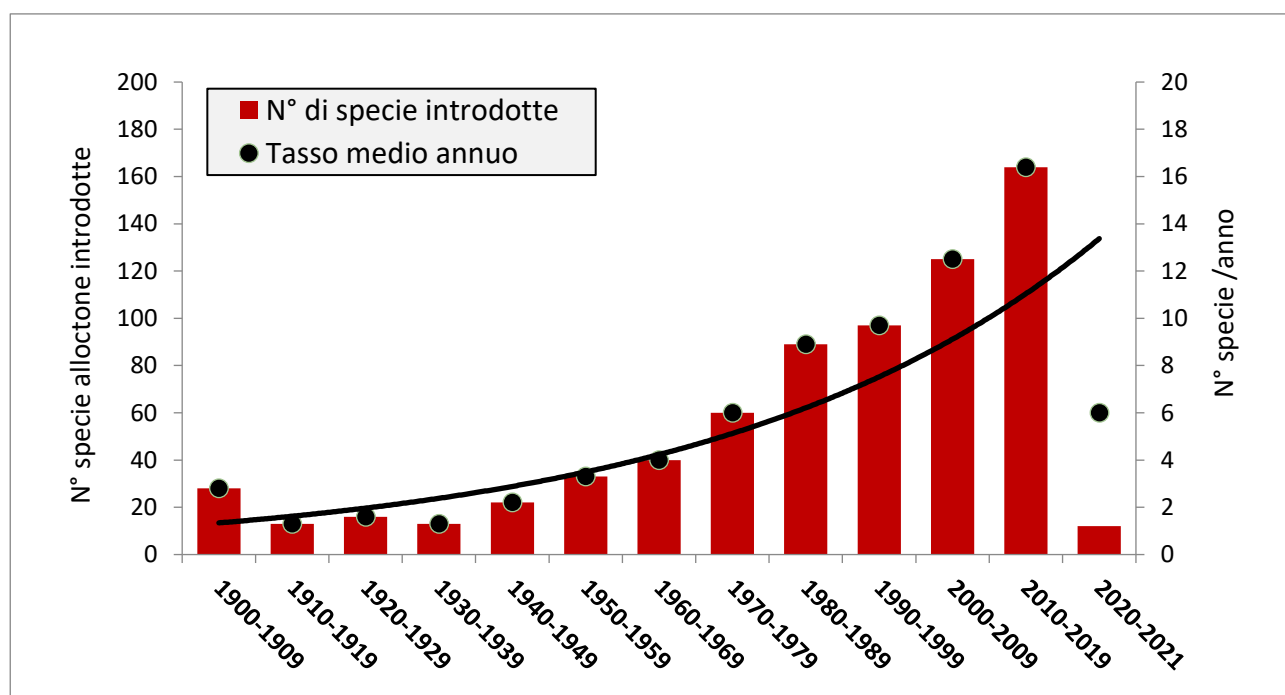


Figura 3-21: Numero di specie alloctone introdotte in Italia a partire dal 1900 e successivamente stabilizzate, e tasso medio annuo di nuove introduzioni. I dati sono riferiti a 712 specie stabilizzate per le quali è conosciuta la data di introduzione (ISPRA, ADA 2020).

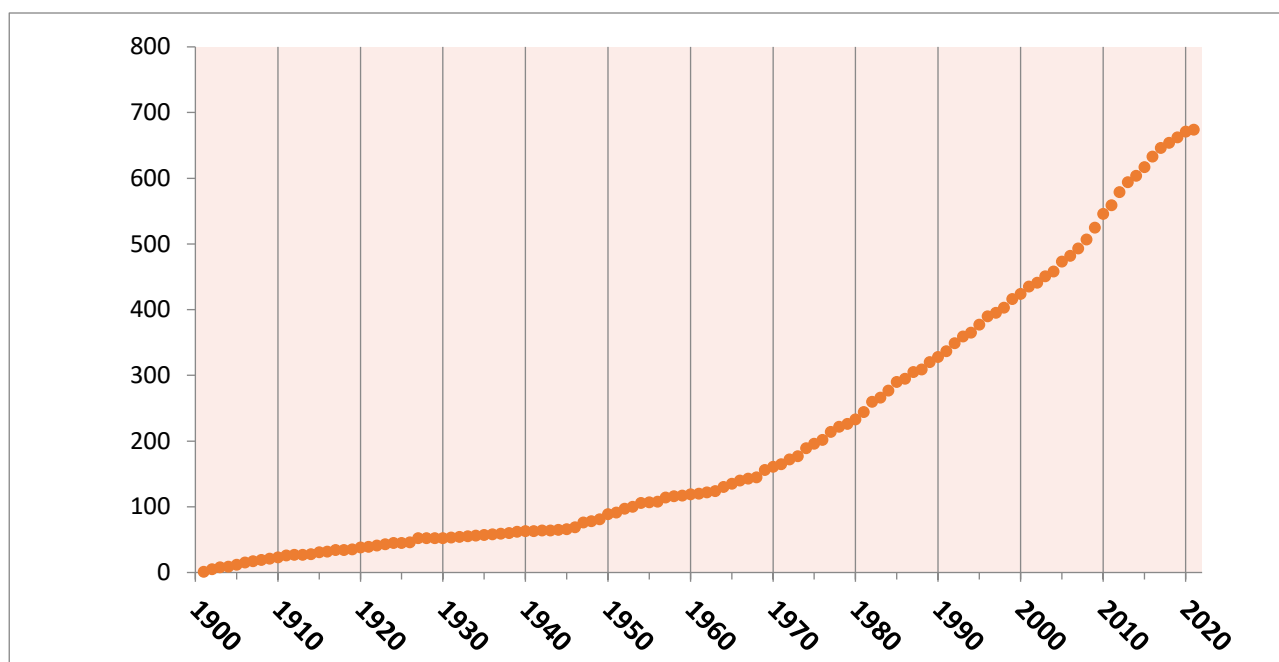


Figura 3-22: Curva di accumulazione relativa al numero specie alloctone introdotte in Italia a partire dal 1900 e successivamente stabilizzate. I dati sono riferiti a 712 specie stabilizzate per le quali è conosciuta la data di introduzione (ISPRA, ADA 2020).

Infine, si fornisce il quadro di distribuzione delle specie alloctone invasive inserite nell'elenco di rilevanza unionale, per cui la normativa europea (Reg. UE 1143/14) e nazionale (D. Lgs.230/17) prevede una serie di divieti e l'obbligo di sorveglianza, eradicazione/gestione sull'intero territorio nazionale.

La mappa rappresentata in Figura 3-23 si riferisce alla distribuzione, aggiornata a giugno 2019 e rappresentata mediante celle 10x10 km², delle 30 specie presenti in Italia tra le 48 inserite nell'elenco e oggetto di rendicontazione. Dal quadro distributivo regionale emerge una concentrazione di specie nel Nord del paese, in particolare nell'area della Pianura padana. A questa si aggiungono due piccoli hot-spot in Italia centrale corrispondenti alla Pianura pontina (provincia di Latina) del Lazio e all'area di Firenze in Toscana.

L'elenco delle specie esotiche invasive di rilevanza unionale è stato successivamente aggiornato due volte e oggi comprende 88 specie, di cui 47 già presenti in ambiente naturale in Italia.

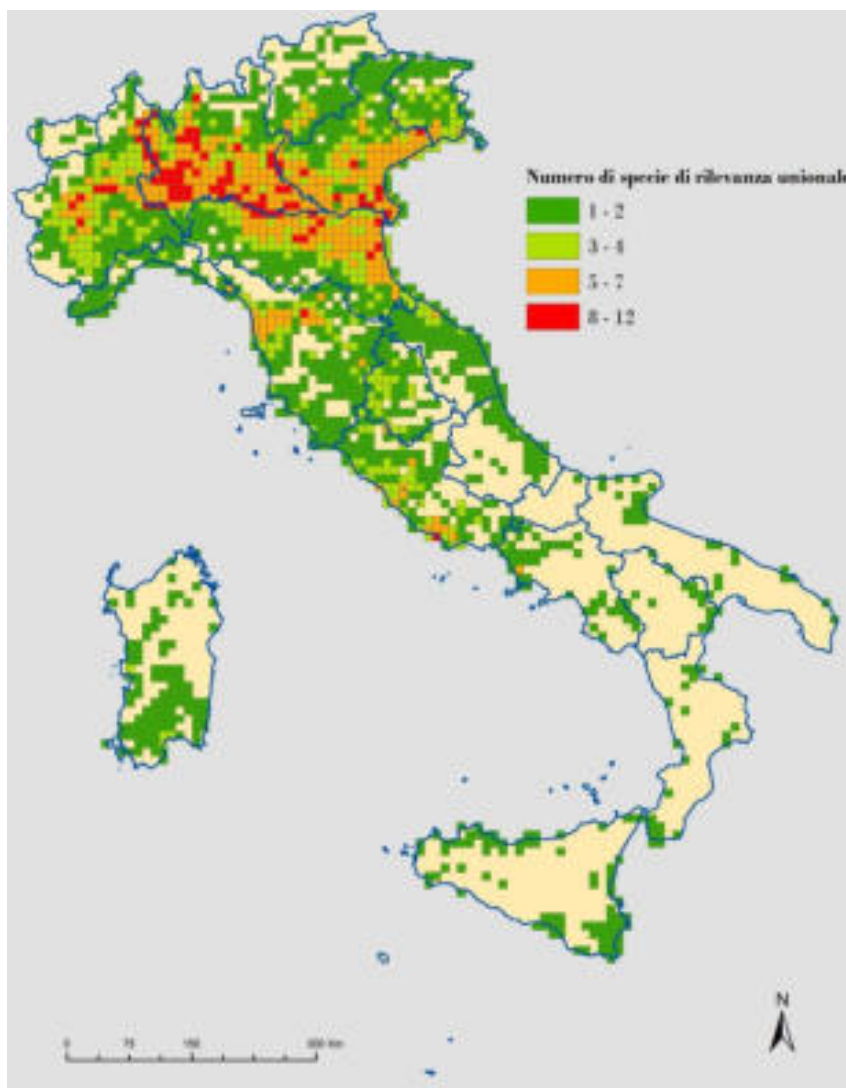


Figura 3-23: Distribuzione delle specie alloctone invasive di rilevanza unionale in Italia (su celle 10x10 km²) (dati aggiornati al 2019) (ISPRA, ADA 2020).

3.2.3 Foreste e incendi boschivi

Inquadramento e stato

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 ettari del 1985 si è passati a 10.982.013 ettari 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 stima deriva dai risultati dell'inventario forestale nazionale italiano (INFC), che classifica lo stato di salute delle foreste italiane. Il confronto delle stime di superficie prodotte dai tre inventari forestali nazionali realizzati in Italia (1985, 2005 e 2015) testimonia il sensibile aumento della superficie forestale avvenuto negli ultimi decenni; il fenomeno riguarda, con intensità diversa, tutte le Regioni italiane.

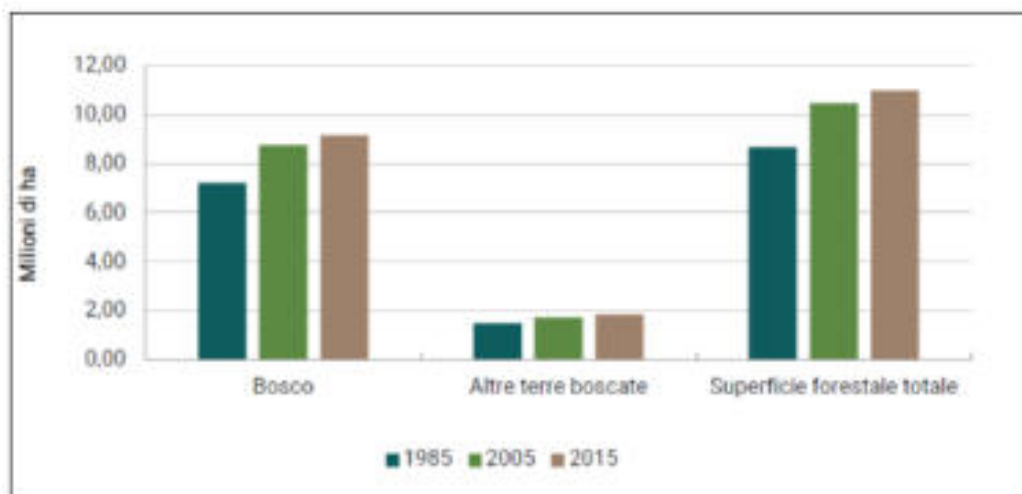


Figura 3-24: Evoluzione della superficie forestale nazionale (milioni di ha - 1985, 2005, 2015) (RaF, 2019)

La superficie forestale nel suo complesso è costituita dalla macrocategoria Bosco, circa l'84% del totale e il 29% del territorio nazionale, e dalla macrocategoria Altre terre boscate (Tabella 3-4), che rappresenta la restante porzione, composta perlopiù da arbusteti e macchia mediterranea (Figura 3-25).

Tabella 3-4: Definizione della superficie forestale.

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



Figura 3-25: Distribuzione della superficie forestale in Italia (Bosco in verde scuro e Altre terre boscate in verde chiaro).

La macrocategoria Bosco è costituita per circa il 75% da popolamenti a prevalenza di latifoglie (formazioni più diffuse: boschi di rovere, roverella e farnia, faggete, castagneti e boschi di cerro, farnetto, fragno e vallonea) e per il 15% da popolamenti a prevalenza di conifere in cui predomina l'abete rosso (586.082 ettari pari al 6,7% della superficie totale dei boschi in Italia); il restante 10% è costituito da popolamenti misti. La principale forma di governo rimane il ceduo (41%, 3.663.143 ettari dei boschi italiani) con una netta prevalenza dei cedui matricinati (35%), per lo più rappresentati da popolamenti prossimi al turno di utilizzazione o invecchiati. Le fustaie occupano il 36% della totalità dei boschi italiani (3.157.965 ettari), con una leggera prevalenza di quelle di tipo coetaneo (15,8%) rispetto alle disetanee (13,5%) e sono rappresentate per quasi il 50% da formazioni pure di conifere, in particolare abete rosso, abete bianco, larice e pini montani e mediterranei. Inoltre, costituiscono una importante risorsa genetica ed economica locale le tipologie colturali considerate speciali (castagneti da frutto, noceti, sugherete) che coprono una superficie di circa 200.000 ettari. Secondo i dati INFC (2015), ben l'88,5% della superficie forestale totale del nostro Paese risulta disponibile al prelievo legnoso e la percentuale si mantiene elevata in tutte le regioni, generalmente sopra l'80% ad eccezione di Valle d'Aosta (63.1%), Trentino (74.6%) e Friuli-Venezia Giulia (61.2%).

Un ulteriore indicatore di stato, presente nel terzo inventario forestale italiano (INFC, 2015), classifica la presenza di patologie o danni secondo classi del loro grado di diffusione, misurato in base alla percentuale di chiome interessate: assenza di danni e patologie, danni o patologie che interessano meno del 30%, oppure il 30–59% o almeno il 60% della copertura. La Figura 3-26 riporta le stime della superficie del Bosco ripartita per il grado di diffusione di patologie o danni. Dalle stime emerge che quasi l'80% della superficie del Bosco non è interessato da danni e che il 15.6% della superficie è interessato da danni lievi, diffusi su meno del 30% della copertura. Complessivamente la superficie del Bosco senza danni o patologie o con danni lievi è pari al

94.9% del totale. L'aliquota di superficie con danni evidenti (copertura interessata pari a 30–59%) o molto evidenti (almeno il 60% della copertura interessata) è pari rispettivamente a 3.3 e 1.0%.

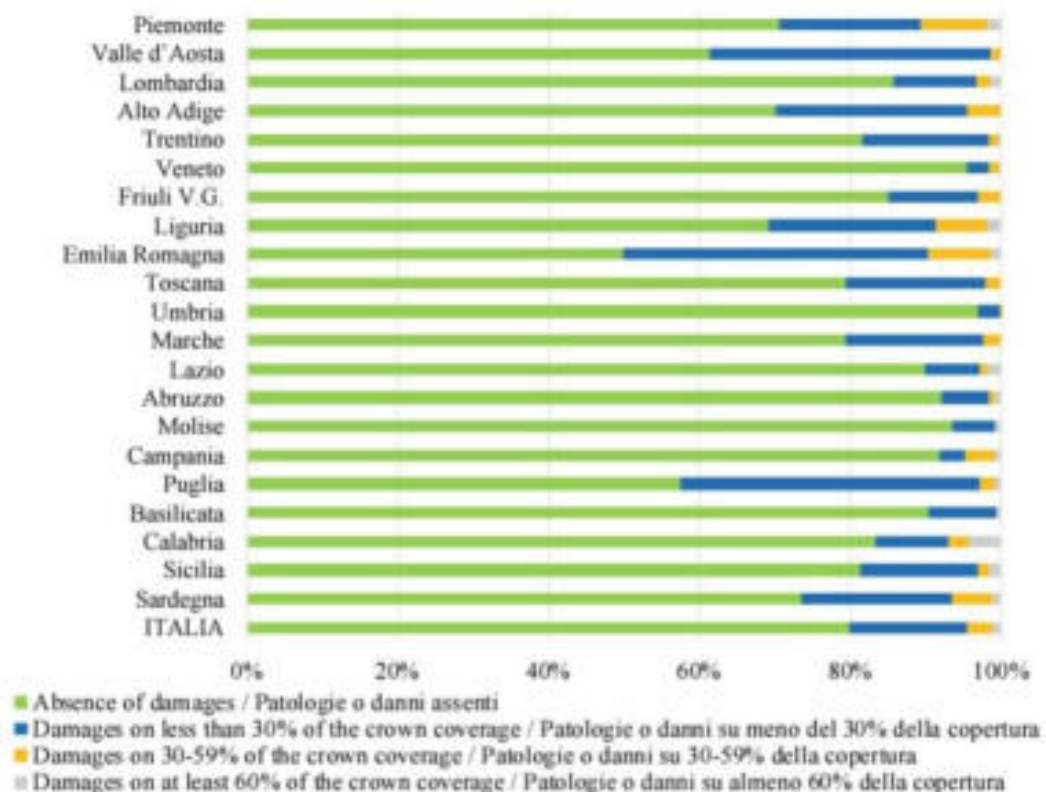


Figura 3-26: Ripartizione percentuale del Bosco per grado di diffusione di patologie o danni, a livello nazionale e regionale (INFC, 2015).

Funzioni e servizi ecosistemici

Le foreste e in generale le aree a copertura arborea, costituiscono, tra i diversi ambienti naturali e seminaturali, quelli che forniscono la maggior varietà di servizi ecosistemici quali la produzione di materie prime, la regolazione dei cicli naturali e molteplici benefici culturali. I servizi di approvvigionamento delle aree forestali sono quelli immediatamente associati all'offerta di prodotti, e consistono in beni e materiali quali le "3 F" (food - cibo, fiber - biomassa, feed - mangimi) e le risorse idriche. I servizi di regolazione e culturali riguardano la regolazione del clima, della qualità dell'acqua e dell'aria, l'assorbimento e stoccaggio del carbonio atmosferico, la difesa del suolo, il controllo dell'erosione e dei nutrienti, la protezione e la mitigazione dei fenomeni idrologici estremi, la conservazione della biodiversità nonché la funzione ricreativa, estetica, educativa, sportiva, spirituale. In riferimento all'assorbimento di anidride carbonica, come esempio quantitativo di servizi ecosistemici associati alle foreste, i dati dimostrano che i boschi italiani sono in grado di assorbire annualmente dall'atmosfera circa 34 Mt CO₂/anno (IT NIR, 2016), al netto dei prelievi legnosi applicati e delle perdite dovute a incendi e altri fattori biotici e abiotici, contribuendo in tal modo in maniera consistente agli impegni previsti per l'Italia in materia di mitigazione dei cambiamenti climatici nell'ambito del Protocollo di Kyoto.

Un indicatore di stato relativo all'assorbimento dell'anidride carbonica è il contributo delle foreste nazionali al ciclo globale del carbonio (annuario dei dati ambientali ISPRA https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/800). Tale indicatore fa riferimento allo stock di carbonio, ovvero la quantità di carbonio fissata in Italia nei diversi serbatoi forestali, e alla variazione di stock di carbonio

(carbon sink), che tiene conto del carbonio assorbito e alla quantità rilasciata (emissioni) per effetto di incendi, prelievi e mortalità naturale degli ecosistemi forestali nazionali. Il carbon stock e il carbon sink rappresentano indicatori efficaci per valutare lo stato delle risorse forestali di una nazione, essendo influenzati dalla produttività delle foreste e, in senso negativo, dai disturbi sia naturali sia antropici cui sono soggette (incendi, prelievi, parassiti e patogeni, mortalità naturale, ecc.). L'indicatore è di portata nazionale, ha una idonea copertura temporale, è basato su standard nazionali/internazionali, e la rilevazione è annuale.

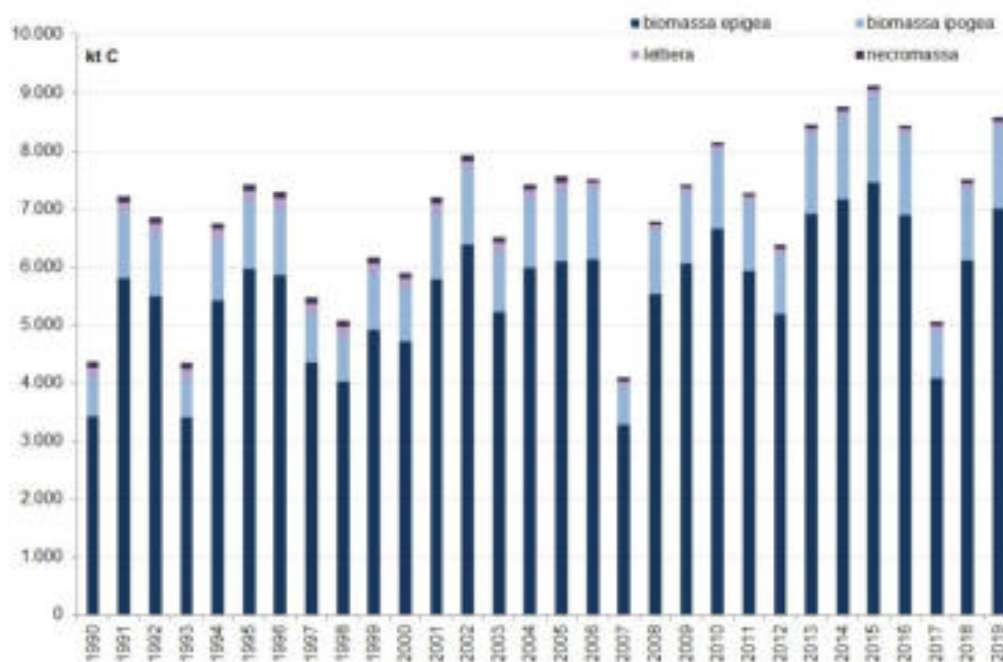


Figura 3-27: Variazione dello stock di carbonio (carbon sink) nei diversi serbatoi forestali in Italia

Le foreste costituiscono un elemento sostanziale delle aree naturali protette statali, regionali o locali, e delle aree sottoposte a tutela per accordi o iniziative internazionali (aree Ramsar, siti NATURA2000). Tali aree nel loro insieme ricoprono circa il 10% della superficie nazionale e includono più di un quarto (28%) della superficie forestale nazionale totale (INFC, 2005). I boschi delle aree naturali protette in Italia costituiscono un'importante fonte economica per il territorio e per il settore turistico nazionale: si stimano infatti oltre 22 milioni di presenze turistiche annue (pernottamenti), pari al 5,9% delle presenze turistiche italiane, 5,4 miliardi di euro di consumi totali, 2,9 miliardi di valore aggiunto e 102.000 posti di lavoro attivati (Unioncamere, 2012).

Interrelazioni fattori climatici e foreste

I disturbi di diversa natura (biotica o abiotica) e intensità rappresentano una parte integrante della dinamica degli ecosistemi forestali (Seidl et al., 2017). Modificando la struttura, la composizione e la funzione, i disturbi favoriscono l'alternarsi nel tempo e nello spazio di fasi giovanili, mature e stramature e creano eterogeneità favorendo la diversità biologica e il rinnovamento o la riorganizzazione dell'ecosistema (Thom et al., 2017; White & Pickett, 1985). Oltre un certo limite, tuttavia, i disturbi possono provocare ingenti danni sia di natura ecologica sia economica, che incidono sulle funzioni del bosco. Le principali minacce che possono alterare lo stato di salute delle foreste, provocandone la degradazione o limitando la loro funzionalità, sono riferibili sia a cause naturali di natura biotica o abiotica (parassiti vegetali o animali, presenza di selvaggina, incendi,

alluvioni, neve abbondante, ecc.) sia a profondi cambiamenti del territorio e dell'ambiente ad opera dell'uomo, dovuti per esempio all'inquinamento o all'eccessivo sfruttamento del bosco in termini di utilizzazioni forestali o per uso ricreativo.

La risposta degli ecosistemi forestali ai cambiamenti climatici (aumento generale della temperatura media e della siccità estiva e l'amplificazione, in intensità e frequenza, dei fenomeni estremi) si sta traducendo e si tradurrà in futuro in un'alterazione dei tassi di crescita e della produttività (Sabaté et al. 2002; Rodolfi et al. 2007; Giuggiola et al. 2010; Lindner et al. 2010; Bertini et al. 2011) e in cambiamenti nella distribuzione delle specie e shift altitudinali e latitudinali (Parolo and Rossi 2008) degli habitat forestali, influenzati spesso anche dall'uso del suolo, con conseguente perdita locale di biodiversità, aumento del rischio di incendio e di danni da insetti e altri patogeni, alterazione del ciclo dell'acqua e del carbonio.

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

L'offerta dell'ampio spettro di servizi pubblici forniti dalle foreste è attualmente minacciata dall'azione simultanea degli impatti dei cambiamenti climatici in atto e futuri e dei processi di abbandono gestionale, spesso associati a fenomeni di diminuzione della stabilità degli ecosistemi forestali e alla loro maggiore vulnerabilità agli incendi, agli eventi meteorologici avversi e agli attacchi parassitari. Infatti, secondo i dati dell'Inventario Forestale Nazionale (INFC 2015) solo il 15% circa dei boschi italiani (1,3 milioni di ettari) è sottoposto ad una pianificazione di dettaglio con la redazione di uno specifico Piano di Gestione e Assestamento Forestale (PGAF).

Incendi boschivi

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

Il fenomeno degli incendi boschivi, che tra l'altro contribuiscono all'emissione in atmosfera di quantità non trascurabili di anidride carbonica, presenta un andamento altalenante: si può osservare un periodo notevolmente critico a metà degli anni ottanta, cui sono seguiti anni in cui il livello del fenomeno si è mantenuto sempre complessivamente elevato. In Italia, negli ultimi quattro decenni si è registrato un valore medio di superficie territoriale percorsa dal fuoco pari a 107.289 ha. Le categorie di copertura del suolo che dimostrano maggiore suscettività a questo fenomeno sono le praterie discontinue e i boschi a prevalenza di pini mediterranei e cipressi, seguiti da macchia bassa e garighe, aree agroforestali e praterie continue; tra le formazioni forestali, altamente suscettibili a incendio risultano anche i boschi misti di conifere e latifoglie del piano basale e la macchia alta. 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 (Figura 3-28).

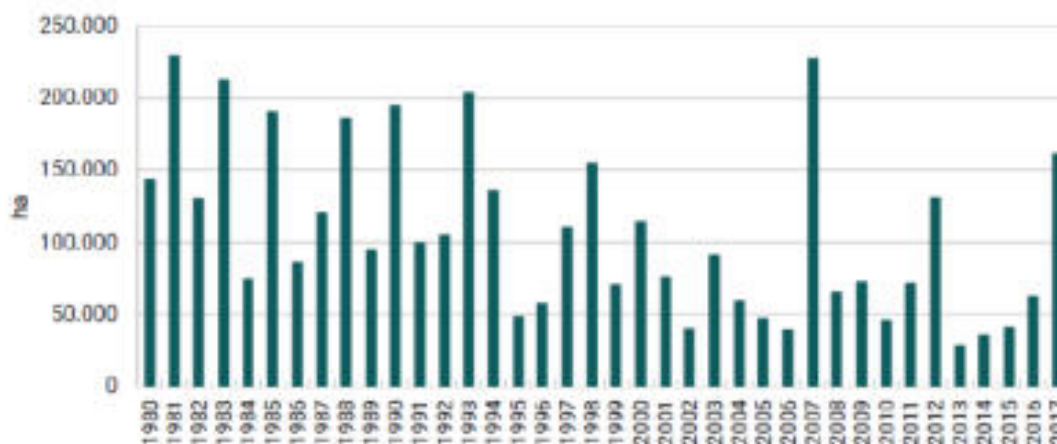


Figura 3-28: Superficie percorsa (ha) da incendi boschivi in Italia (1980-2017) (RaF, 2019).

I popolamenti forestali sono stati particolarmente colpiti in Calabria, Campania, Sicilia e Lazio. In Sicilia significativa rilevanza hanno avuto anche gli incendi in superfici non boscate (oltre 18.000 ha). Abruzzo, Piemonte e Lazio sono le Regioni in cui si sono verificati gli incendi boschivi di maggiori dimensioni medie, rispettivamente con circa 41, 33 e 28 ha; a livello nazionale la superficie mediamente percorsa dal fuoco in ciascun singolo evento è stata pari a oltre 14 ha, valore nettamente superiore a quello mediamente riscontrato negli ultimi due decenni, a testimonianza della particolare gravità assunta dal fenomeno nel 2017.

Dai dati dell'Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia (IUTI) risulta che dal 1990 al 2008 ben 127.238 ha di bosco sono transitati in altri usi delle terre. Sono dati relativi soprattutto ai disboscamenti, per circa 7.000 ha/anno. Questa superficie si riduce a 5.000 ha/anno non considerando le transizioni interne verso le altre terre boscate, dovute essenzialmente a fenomeni di regressione causate soprattutto da disturbi naturali (MARCHETTI et al. 2012); le prime stime al 2016 confermano l'esistenza del fenomeno, portando la transizione dei boschi ad altri usi del suolo (nell'intervallo dal 1990 al 2016) a circa 6.500 ha/anno. A questo dato può essere aggiunta l'informazione relativa alle transizioni che riguardano le altre terre boscate, che tra il 1990 e il 2016 hanno interessato circa 7.200 ha/anno. Possiamo concludere che i cambiamenti di copertura e uso del suolo delle aree forestali italiane riguardano quasi 14.000 ha/anno, su circa 360.000 ha totali di cambi di uso del suolo registrati nel periodo considerato (Munafò e Marinosci, 2018).

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.

Gli incendi, in relazione agli impatti dei CC, sono influenzati dalle variazioni dei regimi termopluviometrici, dall'incremento della ventosità e delle fulminazioni durante gli eventi estremi, oltre che dall'alterazione delle condizioni ecologiche delle foreste (aridità e disseccamento, accumulo di biomassa morta, alterazione dell'umidità della lettiera e dei suoli, ecc.).

La Figura 3-29 e la Figura 3-30 mostrano l'andamento dei valori annui del numero di incendi e della superficie percorsa dal fuoco (boscata, non boscata, totale e media), per la serie storica dal 1970 al 2019 (annuario dei dati ambientali di ISPRA - entità degli incendi boschivi https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/674) e la distribuzione percentuale degli incendi per tipo di causa. Tale indicatore può costituire uno strumento da impiegare, unitamente ad altri, nella valutazione dell'efficacia delle scelte operate in materia di prevenzione e repressione del fenomeno degli incendi boschivi e nella valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul comparto foreste.

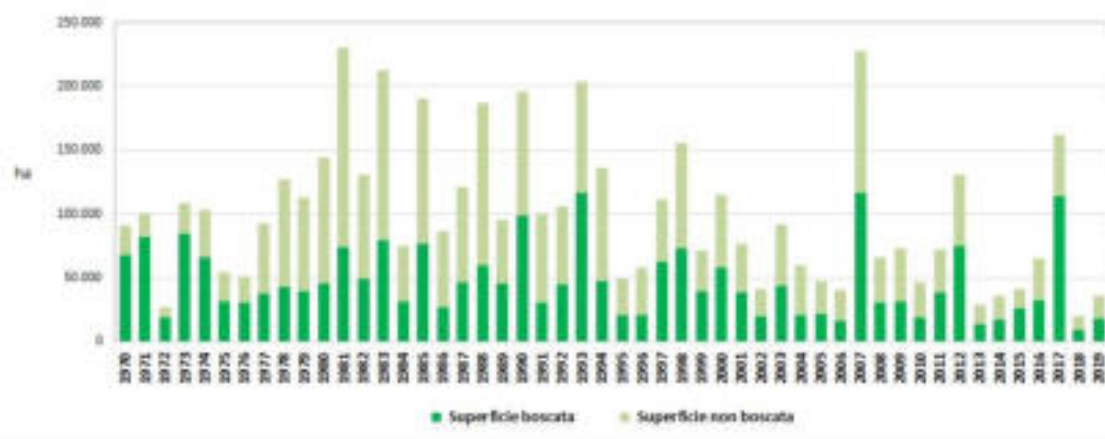


Figura 3-29: Superficie boscata e non boscata percorsa dal fuoco (fonte: CFS - Corpo Forestale dello Stato; CUFA - Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari dell'Arma dei Carabinieri)

Prendendo come riferimento il 2017, anno critico nell'ultimo decennio in termini di superficie percorsa da incendi e tra quelli con danni più gravi a partire dal 1980 (RaF Italia 2017-2018), nei due anni successivi il numero complessivo di incendi è diminuito considerevolmente, passando dal picco di 7.855 eventi del 2017 a 3.220 nel 2018 e 4.351 nel 2019. Anche la superficie percorsa da incendio si è ridotta, passando da 161.984 ettari nel 2017 a 19.481 nel 2018, ma risalendo poi a 36.034 ettari nel 2019. 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 (disponibili dal 1998 e riferiti alle sole regioni a statuto ordinario) confermano l'origine volontaria della maggior parte degli incendi (Figura 3-30). Gli eventi di origine volontaria sono oltre la metà di quelli totali registrati, arrivando anche a superare il 60% in alcuni anni.

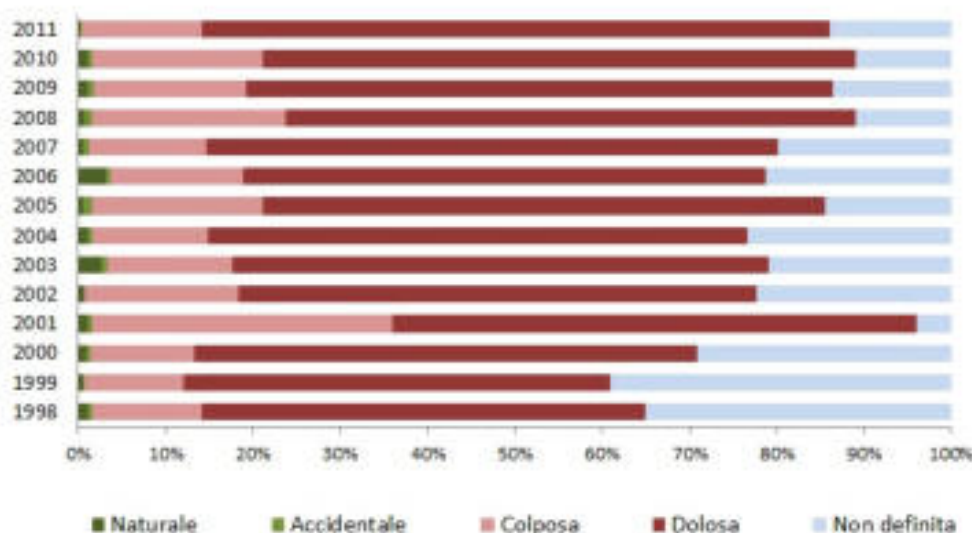


Figura 3-30: Distribuzione percentuale del numero d'incendi per causa, per le sole Regioni a statuto ordinario (fonte: CFS - Corpo Forestale dello Stato; CUFA - Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari dell'Arma dei Carabinieri)

Indicatore, sempre relativo agli incendi, e più direttamente correlato ai cambiamenti climatici, è il Fire Weather Index (FWI; Van Wagner, 1987). Esso rappresenta la pericolosità di incendio, intesa come un indicatore della facilità di ignizione della vegetazione, della difficoltà al controllo di un incendio e del danno potenziale associato all'incendio. Salis et al. (2014) e Lozano et al. (2016), focalizzando l'analisi a scala nazionale, identificano attraverso un nuovo approccio modellistico le aree che più di altre verranno interessate da una maggiore probabilità di occorrenza e con maggiore intensità potenziale. Nell'ambito di questo studio, la Sardegna si caratterizza per i valori più elevati di intensità potenziale, a causa della combinazione fra tipologie di combustibile di tipo arbustivo, che nel periodo estivo sono molto infiammabili e in grado di originare incendi di notevole intensità, e venti di forte intensità che alimentano la propagazione degli incendi e ne incrementano le lunghezze di fiamma.

Anche altri sotto-codici dell'indice FWI, che vengono utilizzati come indicatori dell'umidità del combustibile, indicano un forte impatto dei cambiamenti climatici sullo stato idrico della vegetazione (Herrera et al. 2013; Bedia et al. 2013; Pellizzaro et al. 2014). È altamente probabile che la stagione degli incendi si allunghi, soprattutto nel centro-sud Italia. Potenziali problemi di stress idrico o disseccamento possono influire sull'infiammabilità della vegetazione, che sarà quindi più suscettibile agli incendi di chioma e a sostenere incendi di grande intensità (Navarra and Tubiana 2013; Kovats et al. 2014).

Di seguito è riportato un quadro della potenziale pericolosità di incendio (calcolata attraverso l'indice FWI) in termini di anomalie medie stagionali. Nello specifico è stato considerato il periodo di riferimento (1981-2010) e il trentennio futuro 2021-2050, secondo i due scenari di concentrazione di gas climalteranti RCP4.5 e RCP8.5 (IPCC, 2013) e sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM a 8 km di risoluzione. Le stagioni sono indicate con la seguente nomenclatura: DJF per indicare l'inverno (December-January-February), MAM per indicare la primavera (March-April-May), JJA per indicare l'estate (June-July-August), e SON per indicare l'autunno (September-October-November). Le proiezioni di FWI secondo lo scenario RCP4.5 indicano un generale aumento dei valori dell'indice FWI, specialmente per il periodo primaverile ed estivo, ma con un'interessante dicotomia fra nord e sud del paese (Figura 3-31).

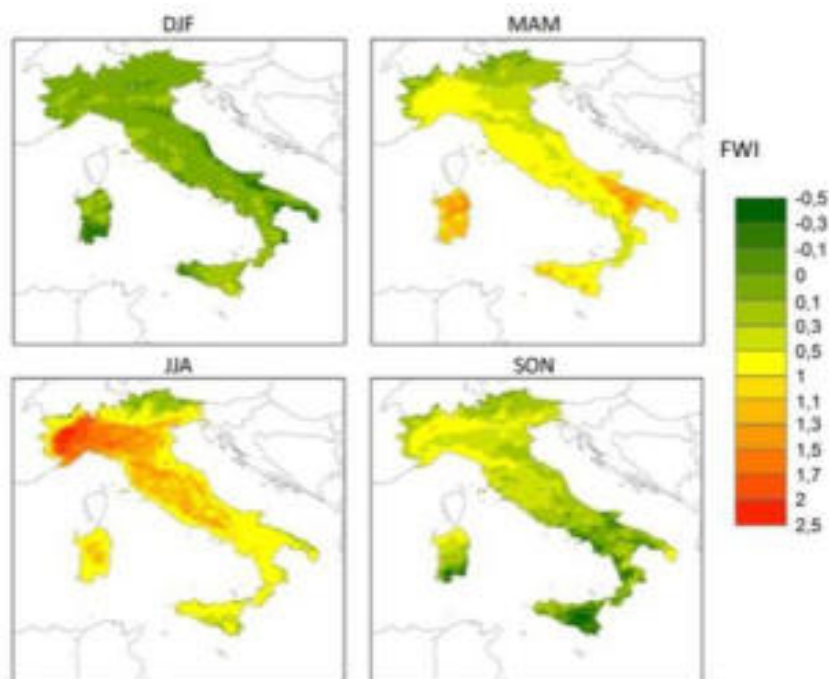


Figura 3-31: Differenza fra il valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 2021-2050 rispetto allo stesso valore per il periodo di riferimento 1981-2010, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione, per lo scenario RCP4.5.

Sulla base dello scenario RCP 8.5, il potenziale incremento dei valori medi stagionali rispetto al periodo di riferimento si osserva soprattutto durante il periodo primaverile e specialmente nel sud del paese (Puglia e Basilicata, Sicilia e versanti meridionali e orientali della Sardegna) (Figura 3-32). Per questa stagione i modelli climatici proiettano infatti una diminuzione delle precipitazioni sul Sud Italia fino al 40%. Tale andamento si riflette sui valori medi primaverili di FWI con un aumento di circa il 32% rispetto al periodo di riferimento 1981-2010. Durante il periodo estivo, l'incremento dei valori di FWI è meno marcato rispetto a quanto viene proiettato per lo scenario RCP4.5 e si concentra specialmente nelle Prealpi nord occidentali.

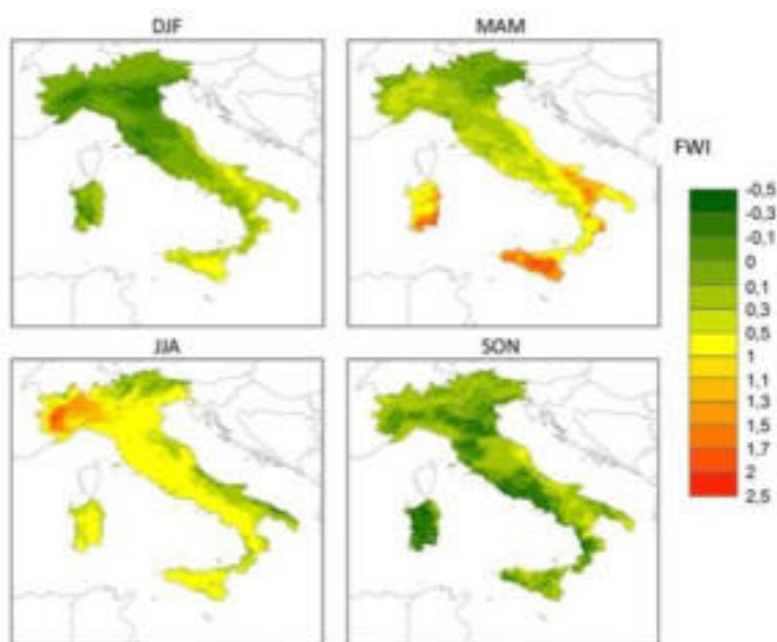


Figura 3-32: Differenza fra il valore medio stagionale dell'indice di pericolosità di incendi FWI per il periodo 2021-2050 rispetto allo stesso valore per il periodo di riferimento 1981-2010, sulla base delle proiezioni del modello climatico COSMO-CLM, 8 km di risoluzione, per lo scenario RCP8.5.

L'indicatore FWI non è ancora applicato a livello nazionale in Italia, anche se la copertura di dati sembra essere completa. È però utilizzato dalla regione Piemonte già da qualche anno, a partire dai dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra di Arpa Piemonte (temperatura, umidità, precipitazioni, vento). Per ulteriori informazioni su questo indicatore, si può fare riferimento alla Piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici (<http://climadat.isprambiente.it/dati-e-indicatori/indicatori-di-impatto-dei-cambiamenti-climatici/indice-meteorologico-pericolo-incendio/>).

3.3 Ambienti marini e costieri

I principali effetti sull'ambiente marino dovuti al cambiamento globale si osservano nell'aumento delle temperature superficiali e nella stratificazione più marcata e profonda delle masse d'acqua, con fenomeni di mortalità massive di organismi bentonici; con la possibile riduzione della connessione fra ambienti profondi e costieri e l'alterazione dei cicli biogeochimici associati a cambiamenti nel metabolismo microbico; con l'alterazione della distribuzione e degli effetti dei contaminanti e dei loro impatti; con l'alterazione della fenologia di specie animali e vegetali (aumento vulnerabilità e tassi di estinzione); con cambiamenti delle reti trofiche (modifiche processi di produzione/consumo); con cambiamenti della struttura e distribuzione

di comunità planctoniche e bentoniche. Si segnala inoltre la crescita della componente microbica con aumento dei fenomeni epidemiologici e condizioni favorevoli all'ingresso di specie non indigene (SNPA, 2021).

In particolare, il Mar Mediterraneo sembra essere una delle regioni 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. Il Mar Mediterraneo funge da potenziale riferimento per modelli a scala globale relativamente a ciò che potrebbe verificarsi sugli ecosistemi marini mondiali, nonché un naturale centro di interesse per la ricerca (Lejeune et al., 2010). Nonostante i dati sugli impatti dei cambiamenti climatici siano riportati principalmente per il Mediterraneo nord-occidentale, si prevede nel prossimo futuro che il clima dell'intero bacino diventi più caldo e più secco con un aumento della variabilità interannuale, a causa di eventi di caldo estremo e siccità (Giorgi & Lionello, 2008, Mannino et al, 2017). Secondo l'IPCC (2015) la regione mediterranea è altamente vulnerabile e subirà molteplici stress sistemici a causa dei cambiamenti climatici.

Man mano che gli oceani assorbono più calore, la temperatura della superficie del mare aumenta e cambiano i modelli di circolazione oceanica che trasportano acqua calda e fredda in tutto il mondo. I cambiamenti nella temperatura superficiale possono, ad esempio, influenzare la struttura e la distribuzione dei popolamenti animali e vegetali, alterare i modelli di migrazione e riproduzione, favorire l'eutrofizzazione. A lungo termine, l'aumento della temperatura superficiale del mare potrebbe anche ridurre i modelli di circolazione che portano i nutrienti dal mare profondo alle acque superficiali. I cambiamenti nell'habitat della barriera corallina e nella fornitura di nutrienti potrebbero alterare drasticamente gli ecosistemi oceanici e portare a un calo delle popolazioni ittiche, che a sua volta potrebbe colpire le popolazioni umane che dipendono dalla pesca (EPA, 2022; Ostrander et al., 2000; Pratchett et al, 2004; Pershing et al, 2018).

3.3.1 Variazione della Temperatura Superficiale del Mare

La temperatura superficiale del mare (Sea Surface Temperature, SST) è uno dei principali parametri utili all'analisi dell'evoluzione del clima sui mari. Nel sistema aria-acqua, infatti, la variazione della temperatura superficiale del mare è una diretta conseguenza delle variazioni climatiche. Tale variazione si manifesta anche al variare della profondità, generando una stratificazione più marcata e profonda delle masse d'acqua. Gli effetti negli ambienti marini riguardano mortalità massive di organismi bentonici, possibile riduzione della connessione fra ambienti profondi e costieri e alterazione di cicli biogeochimici, la variazione della distribuzione di contaminanti, l'aumento della vulnerabilità e dei tassi di estinzione di specie animali e vegetali, la crescita della componente microbica con aumento dei fenomeni epidemiologici e condizioni favorevoli all'ingresso di specie non indigene, la variazione volumetrica delle masse d'acqua. Il Copernicus Climate Change Service (C3S) stima un incremento di circa 0.6°C nelle ultime 4 decadi nel mondo (in maniera non uniforme)¹². Per quanto riguarda il Mar Mediterraneo, l'incremento delle temperature è marcato negli ultimi 50 anni ed è evidenziato dalla Figura 3-33.

¹² <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-surface-temperature>

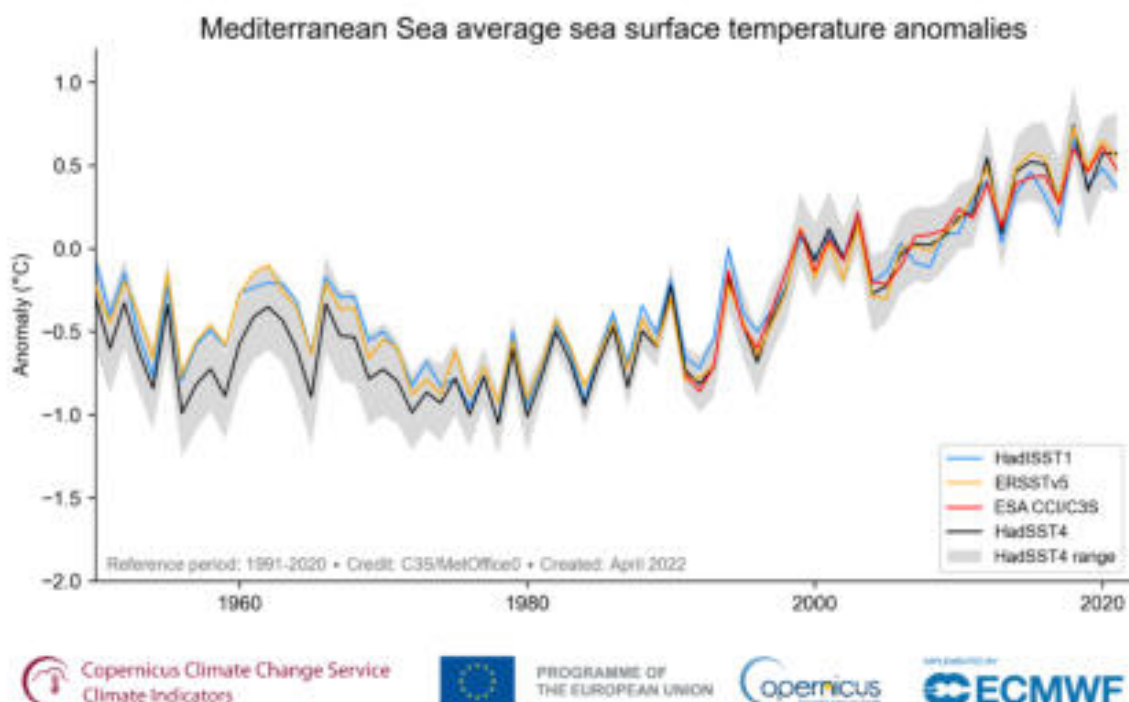


Figura 3-33: Media annuale delle anomalie delle temperature superficiali del mar Mediterraneo (in °C), relative alla media climatologica del periodo 1991–2020. Fonte di dati: ESA CCI/C3S SST Climate Data Record v2.1 (rosso), HadSST.4.0.1.0 (nero, con incertezza in grigio), ERSSTv5 (arancione) e HadISST1 (azzurro). Credit: C3S/MetOffice.

L'andamento delle temperature del mare nei mari italiani negli ultimi anni può essere ricostruito a partire dai prodotti Copernicus SST_MED_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_021¹³ e SST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004¹⁴, che riportano la stima della temperatura dello strato di acqua immediatamente a contatto con l'aria. Al fine di evitare gli effetti legati alla fluttuazione giornaliera di tale parametro, viene considerato il solo dato di temperatura corrispondente ai passaggi satellitari notturni. L'analisi dei trend cumulati nel periodo 1993-2021 (Figura 3-34) riporta incrementi marcati nel Mediterraneo Occidentale, Tirreno Occidentale e nel Mar Ligure (valori prossimi a 1.4 °C), in Adriatico (valori fino a circa 1.6° al largo di Puglia, Veneto e Friuli Venezia Giulia) e nel Mar Ionio Settentrionale (fino a 1.6°C) e valori attenuati, inferiori a 1°C, nel canale di Sicilia e nel basso Ionio.

Tali considerazioni sono confermate anche dal Report SNPA n. 21/2021¹⁵ e dall'Annuario dei dati ambientali, edizioni 2020 e 2021 (ISPRA)¹⁶, che riportano considerazioni relative alle sole osservazioni recenti del periodo 2008-2021.

¹³ https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_MED_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_021/

¹⁴ https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004/

¹⁵ https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2021/06/Rapporto-SNPA-21_2021.pdf

¹⁶ <https://annuario.isprambiente.it/>

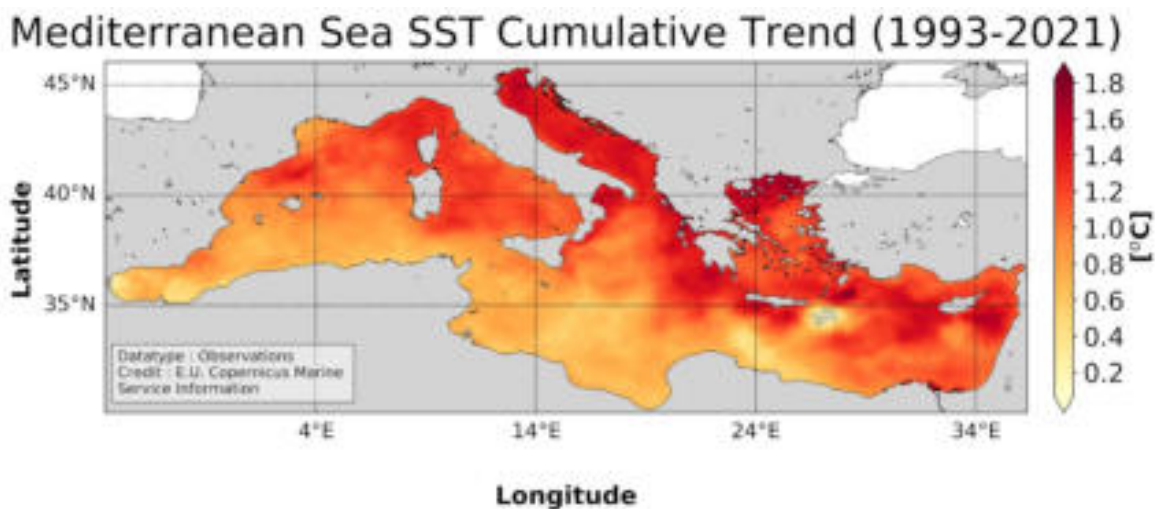


Figura 3-34: Trend dei valori di temperatura superficiale dei mari italiani, nel periodo 1993-2021. Fonte di dati: SST_MED_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_021 del Copernicus Marine Service.

Su scala globale, si prevede un incremento delle temperature superficiali in tutti i mari nel ventunesimo secolo, con valori stimati al 2100 compresi tra 0.9°C e 2.9°C in funzione della scelta dello scenario (da SSP1-2.6 a SSP5-8.5). Si stima che l'incremento delle temperature marine avvenga con un tasso circa del 30% più lento rispetto alla temperatura media dell'aria. Proiezioni quantitative nei mari europei non sono ancora disponibili a livello globale e solo poche iniziative sono state condotte a livello delle singole nazioni. Per i mari italiani, le proiezioni fornite dal CMCC nel PNACC prevedono incrementi nel periodo 2036-2065 comprese tra 1.5° e 2.6°C rispetto al periodo 1981-2010 in caso di accadimento dello scenario climatico RCP8.5 (condizione maggiormente cautelativa).

3.3.2 Variazione del livello medio del mare e *storm surges*

L'innalzamento del livello del mare rappresenta uno dei principali effetti dovuti ai cambiamenti climatici, in conseguenza del riscaldamento globale. Il fenomeno prende il nome di eustatismo e i fattori climatici che primariamente contribuiscono alla sua formazione sono riconducibili all'aumento della temperatura dell'atmosfera e degli oceani.

Questi fattori contribuiscono all'innalzamento del livello medio dei mari in maniera diretta, attraverso l'aumento del volume degli oceani causato dall'espansione termica, contribuendo al fenomeno per circa il 30%, e in maniera indiretta a causa del maggior apporto di massa d'acqua dovuto alla fusione delle calotte glaciali continentali (Groenlandia e Antartide su tutte) per il restante 70%.

Per stimare il trend di crescita del livello medio del mare ci si è riferiti ai valori elaborati a partire da osservazioni della superficie del mare effettuate attraverso altimetria satellitare (Copernicus Marine Environment Monitoring Service - CMEMS). Il dato viene estrapolato su una griglia (risoluzione 0.25° lat/lon) a scala globale e per ogni punto di griglia viene calcolato il trend nel periodo 1993-2021. Questo trentennio risulta sufficiente per caratterizzare in maniera esaustiva l'evoluzione del fenomeno in atto.

Nel periodo di osservazione, il livello medio del mare a scala globale è aumentato di 3.5 ± 0.4 mm/anno, valore che rappresenta una crescita totale superiore ai 9 cm dal 1993 al 2021 (CMEMS, 2022) (Figura 3-35).

Da evidenziare come nell'ultimo decennio il livello medio del mare mostri una velocità di crescita superiore rispetto al ventennio precedente.

Seppure dell'ordine di pochi millimetri l'anno, tali variazioni risultano però continue e appaiono, allo stato attuale, irreversibili.

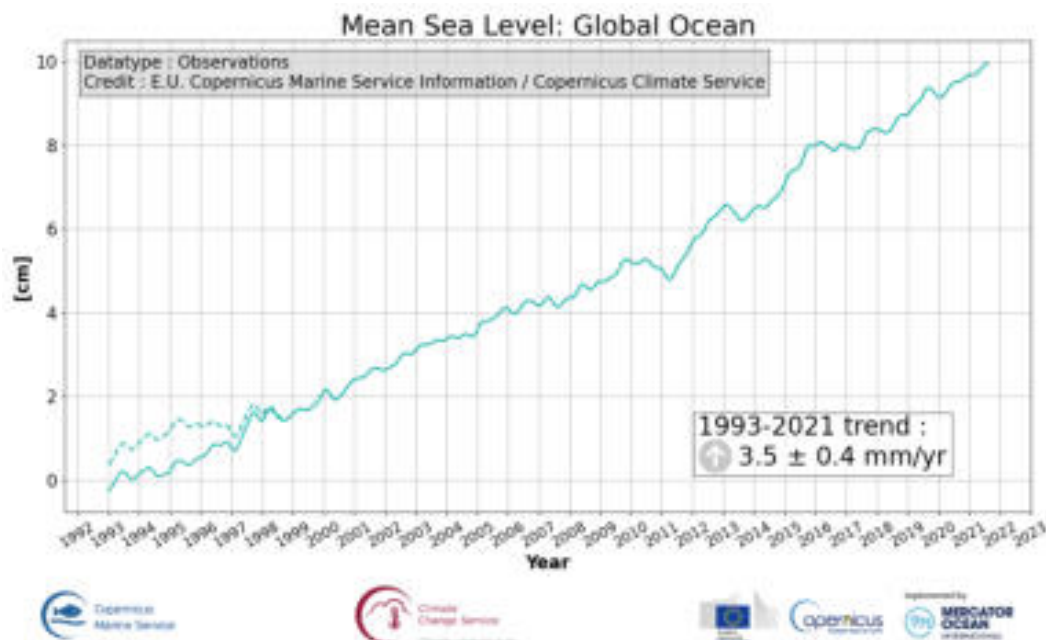


Figura 3-35: Andamento del livello medio del mare globale, con espresso in riquadro il relativo trend in mm/anno (1993-2021). Fonte: ISPRA su dati CMEMS

Le tendenze regionali medie del livello del mare possono deviare in maniera anche significativa dalla tendenza globale a causa dei vari processi geofisici e oceanici in gioco, a scala locale. Tra il 1993 e il 2021, nella maggior parte delle zone costiere d'Europa (Figura 3-36) si evidenzia un trend di circa 2-4 mm/anno, mentre solamente poche aree del Mediterraneo centrale non mostrano aumenti significativi o addirittura evidenziano una leggera diminuzione del fenomeno (<https://climate.copernicus.eu>).

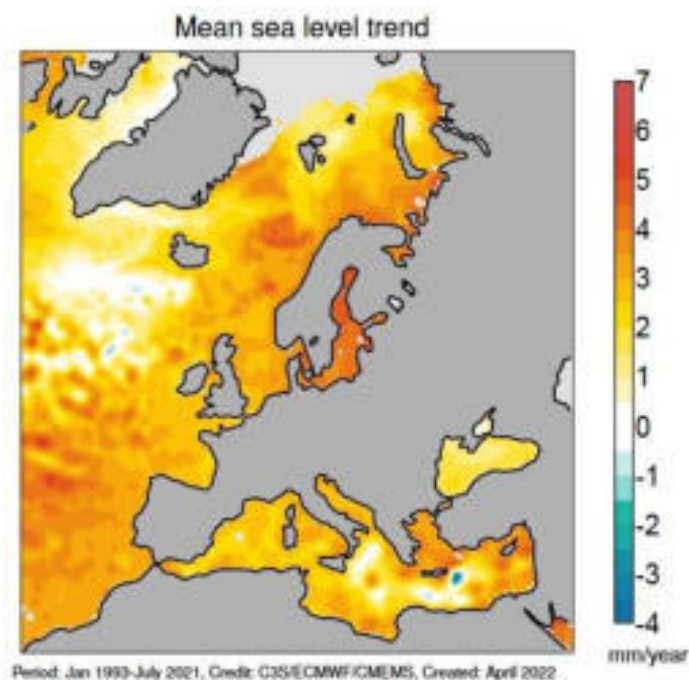


Figura 3-36: Trend di variazione del livello medio del mare in Europa in mm/anno (gen 1993 - lug 2021). Fonte: ISPRA su dati CMEMS

Gran parte dei mari italiani inoltre evidenzia valori medi del trend dell'ordine dei 2.5-2.7 mm/anno, con alterazioni marcate nel bacino Adriatico (circa 3 mm/anno) e valori attenuati o nulli nel Mar Ionio centrale.

Nello stesso periodo (1993-2021) è stato calcolato il livello medio del mare nel Mar Mediterraneo, confermando il trend di crescita di 2.7 ± 0.83 mm/anno (<https://marine.copernicus.eu>) (Figura 3-37).

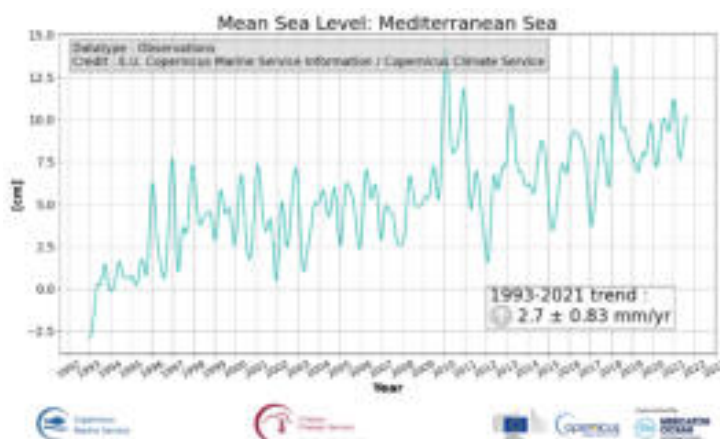


Figura 3-37: Andamento del livello medio del mare nel Mar Mediterraneo in mm/anno (1993 - 2021). Fonte: ISPRA su dati CMEMS

I risultati ottenuti dai dati satellitari trovano riscontro e validità nel confronto con le elaborazioni eseguite per il medesimo periodo sui dati mareografici registrati in situ. Il confronto è stato effettuato in particolare utilizzando la serie storica di Trieste (Molo Sartorio), una delle serie mareografiche più affidabili, complete e lunghe dell'intero bacino Mediterraneo insieme a Venezia (Punta della Salute), Genova (Ponte Morosini) e Marsiglia. In particolare, la serie mareografica registrata presso la stazione di Trieste (di proprietà del CNR-

ISMAR), grazie alla nota stabilità geologica dell'area rappresentata, consente di attribuire all'andamento del livello medio del mare una connotazione di movimento assoluto del livello marino (eustatismo).

Nel periodo di analisi (1993-2021), il mareografo di Trieste ha fatto registrare un trend di crescita di 3.0 mm/anno, esattamente in linea con quanto calcolato da altimetria satellitare.

Le variazioni positive del livello del mare, seppur lente e non direttamente apprezzabili dall'occhio umano, sono oggetto di attenzione e monitoraggio anche a causa delle potenziali conseguenze che potrebbero avere sulle zone costiere nel medio-lungo periodo. Particolare attenzione va posta in Italia, dove la forte antropizzazione delle aree costiere ha causato negli anni una forte crescita della numerosità di persone e attività aumentando l'esposizione al rischio rappresentato dal fenomeno in analisi.

La crescita del "medio mare" può infatti determinare un aumento delle aree potenzialmente soggette a inondazione, un aumento degli eventi estremi (*storm surge*) sia in termini di frequenza che di intensità, una maggiore erosione costiera, l'intrusione di acqua salata e il relativo aumento di salinità nella riserva di acqua dolce, la "marinizzazione" delle lagune costiere, l'aumento della vulnerabilità dei centri abitati, delle infrastrutture, dei beni culturali e delle attività antropiche costiere.

Quanto appena esposto coinvolge in maniera diversa tutte le terre emerse ed è particolarmente determinante nelle aree costiere caratterizzate da equilibri delicati tra terra e mare, in particolare se le aree sono soggettive 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 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, 2021).

Se nel trentennio 1993-2021 le misurazioni mareografiche a Trieste hanno registrato un trend di crescita di 3.0 mm/anno, nello stesso periodo a Venezia (Punta della Salute) è stato registrato un trend di 4.9 mm/anno. La vicinanza tra Trieste e Venezia (entrambe in alto Adriatico) permette infatti di assumere che nel periodo di riferimento i due siti siano sottoposti alle medesime forzanti meteo-climatiche; il valore di eustatismo è quindi pressoché paragonabile e, di conseguenza, la differenza tra i due trend esprime una misura indiretta del grado di subsidenza di Venezia e della sua laguna rispetto a Trieste (Baldin G., Crosato F., 2017).

Le analisi condotte e proposte forniscono una indicazione circa l'opportunità di considerare tutti i territori nazionali maggiormente esposti agli effetti dei cambiamenti climatici (come, ad esempio, l'arco costiero Nord Adriatico ed il territorio retrostante) come sistemi complessi unici ed integrati. Tali sistemi, essendo collocati sul livello medio del mare o al di sotto (possono includere lagune, litorali, fiumi, pianure, centri abitati e relative infrastrutture e beni culturali), risultano esposti al rischio di inondazione, sia da mare che da terra, al rischio di perdita di habitat e di riduzione della qualità delle acque. Il monitoraggio e lo studio degli effetti combinati di eustatismo e subsidenza giocano perciò un ruolo fondamentale nella definizione del quadro dei provvedimenti per la gestione e la sicurezza, previsto dalla Direttiva per la Gestione del Rischio Alluvioni 2007/60/CE, nonché per la gestione e la tutela delle acque e degli habitat di questi territori, prevista dalla Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE.

3.3.3 Salinità

La salinità, insieme alla temperatura, determina la densità dell'acqua e gioca un ruolo fondamentale nel regolare la circolazione marina che a sua volta può esercitare importanti effetti sul clima del nostro pianeta. La salinità media del Mediterraneo si aggira dal 36,2 al 39 ‰, varia in base alle stagioni che influenzano le

correnti (Figura 3-38). Il Mediterraneo sta subendo un costante riscaldamento delle acque e 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. Numerosi studi hanno rivelato che ogni anno la temperatura dello strato profondo del Mediterraneo aumenta di 0,002° C, mentre la salinità aumenta di 0,001 unità. Le cause di questo fenomeno sono da ricercare nell'aumento dell'evaporazione del bacino del Mediterraneo e nella diminuzione delle precipitazioni.

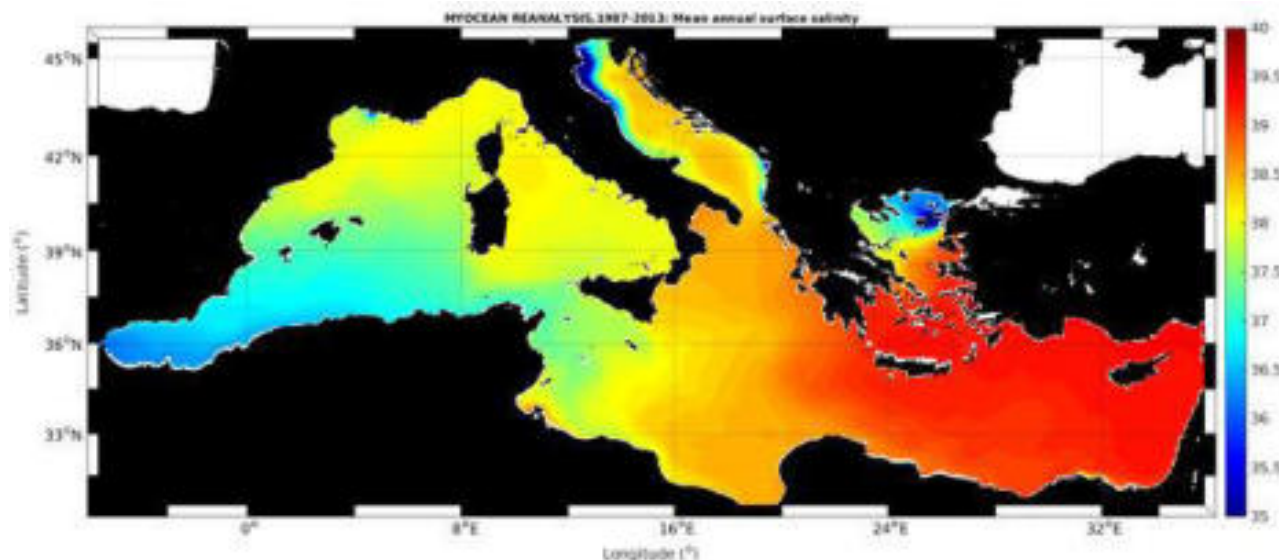


Figura 3-38: Media della salinità superficiale in Mediterraneo. I dati sono stati presi da Mediterranean Forecasting System rianalisi. Fonte: by Takvor. et al. 2017 <http://medforecast.bo.inq.vi.it/>.

La salinità varia in relazioni a tre fattori:

1. precipitazioni;
2. evaporazione;
3. mescolamento di acque diverse grazie alle correnti.

Le variazioni di precipitazioni e apporti di acqua dolce impattano direttamente sulla salinità del mare. Le alterazioni delle componenti climatiche possono generare modifiche delle precipitazioni e dei deflussi fluviali con conseguenti variazioni della salinità superficiale dei mari, incidendo sull'ubicazione dell'habitat di diverse specie.

L'elaborazione effettuata da ARPA Friuli Venezia Giulia (Figura 3-39) evidenzia i valori medi annuali e il trend di variazione annuo dell'indicatore per il Golfo di Trieste (dati ARPA FVG), il quale ha lo scopo di valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto acque dolci) (SNPA 2021).



Figura 3-39: Medie Annuali e tendenza della salinità superficiale del mare nel golfo di Trieste durante il periodo 1999-2020. Fonte: Arpa FVG (<https://cambiamenticlimatici.isprambiente.it/index.php/dati-e-indicatori>).

Tale risultato, con tendenza negativa, appare in contrasto con quanto riportato nella letteratura scientifica. Infatti, un aumento della salinità superficiale nel sistema del Nord Adriatico è stato già evidenziato analizzando serie storiche di dati a scala pluridecennale (Giani et al., 2012 e riferimenti), come conseguenza della riduzione degli apporti fluviali e del ricambio di acqua con l'Adriatico.

Per la costa ligure (dati Arpa Liguria) (Figura 3-40) i valori medi di salinità disponibili dal 2002 al 2018 sono compresi in un range tra 35 e 38.5 PSU. Si notano alcuni valori minimi nei mesi di febbraio, maggio e novembre corrispondenti rispettivamente agli anni 2014, 2004 e 2002. Data la numerosità della serie storica dei valori di salinità a disposizione e il loro andamento, al momento non è possibile ottenere un trend definito.

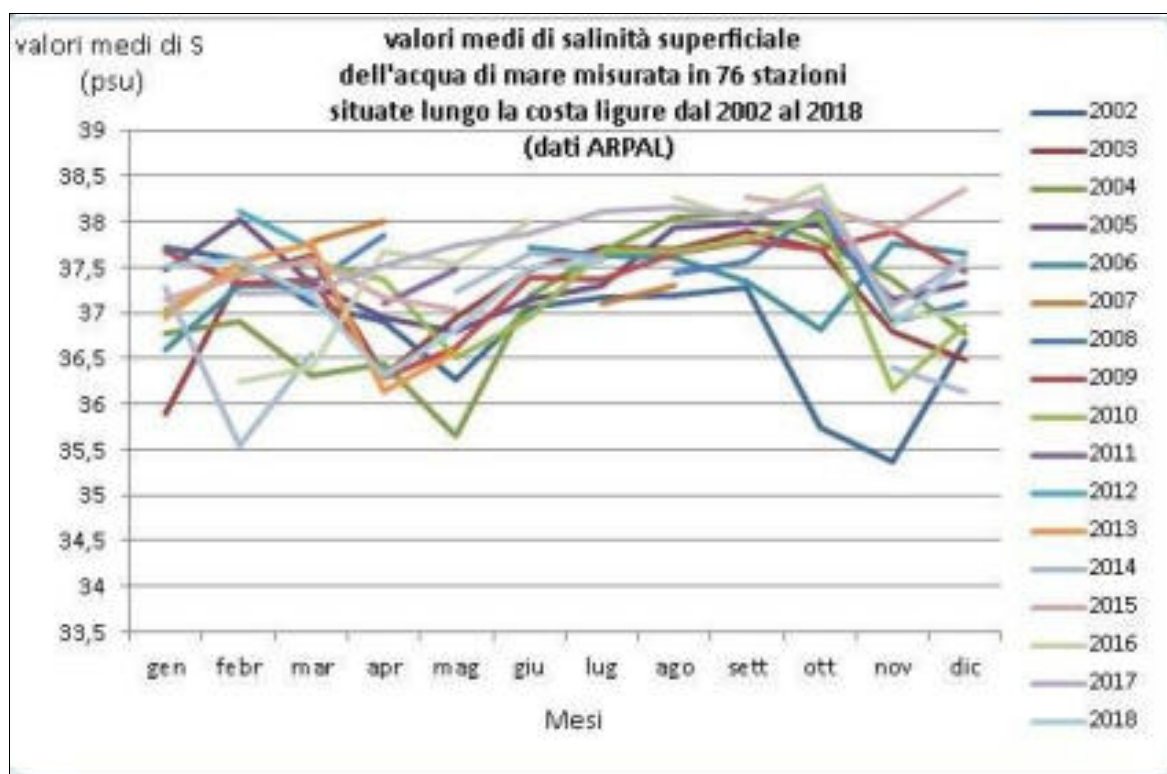


Figura 3-40: Valori medi di salinità superficiale dell'acqua di mare lungo la costa ligure. Fonte: Dati ARPA Liguria <https://cambiamenticlimatici.isprambiente.it/index.php/dati-e-indicatori>.

Da un confronto della salinità media annuale relativa al mar Ionio e Tirreno, da uno studio effettuato dall'Arpa Calabria (Figura 3-41 e Figura 3-42), è possibile notare la maggiore salinità dello Ionio, ben nota, dovuta alla circolazione termoalina del Mediterraneo, negli anni 2018 e 2019.

I dati elaborati tra il 2015 e il 2019 non sono tali da stabilire una risposta certa. Nelle 6 stazioni di riferimento regionali i monitoraggi eseguiti con cadenza bimestrale evidenziano una carenza di dati dei primi tre anni, che può portare alla fuorviante interpretazione che la salinità sia aumentata negli ultimi due.

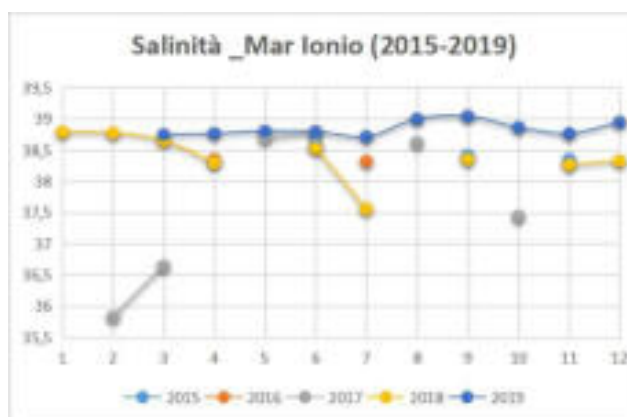


Figura 3-41: Valori medi di salinità superficiale dell'acqua di mare relativa al Mar Ionio (2015-2019). Fonte: Dati ARPA Calabria <https://cambiamenticlimatici.isprambiente.it/index.php/dati-e-indicatori>.

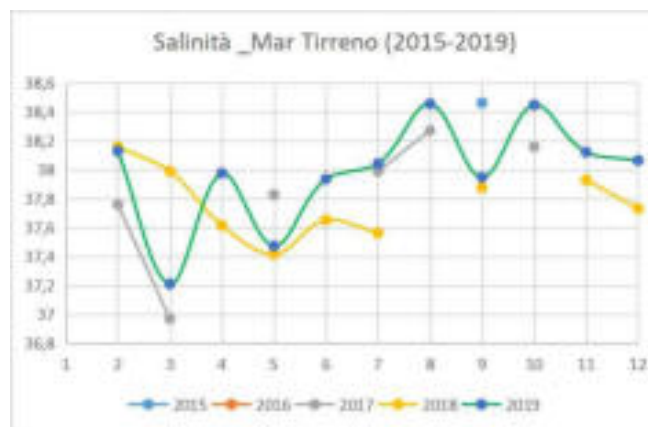


Figura 3-42: Valori medi di salinità superficiale dell'acqua di mare relativa al Mar Tirreno (2015-2019). Fonte: Dati ARPA Calabria <https://cambiamenticlimatici.isprambiente.it/index.php/dati-e-indicatori>.

3.3.4 Acidificazione

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 (Touratier and Goyet (2009)). I livelli di anidride carbonica (CO₂) nell'atmosfera sono aumentati negli ultimi anni da 280 ppm a oltre 420 ppm, un aumento che è quasi il 50% superiore rispetto all'inizio dell'era industriale (<https://www.co2.earth/>). Lo sviluppo delle fonti rinnovabili ha avuto un rilevante impulso ad una rapida diminuzione dei fattori di emissione di CO₂ per la generazione elettrica (rapporti ISPRA 317/2000). Questo aumento sostenuto di CO₂ rimasta nell'atmosfera, di cui solo la metà è rilasciata dalle attività umane, è stato assorbito tra il 1800 e il 1994 (circa 9,5 miliardi di tonnellate di CO₂ all'anno) dagli oceani (Gruber et al., 2019; Watson et al., 2020; Friedlingstein et al., 2020). Circa un terzo dell'anidride carbonica emessa nell'atmosfera viene infatti assorbita dall'acqua dei mari e degli oceani, e qui, attraverso alcune reazioni chimiche, si trasforma in acido carbonico e si dissocia rapidamente in ioni bicarbonati carbonati e H⁺ incrementando così l'acidità del mare. Il pH dell'acqua del mare, dunque, diventa sempre più basso man mano che aumentano le concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera. Le conseguenze di tale diminuzione di pH sono molto serie incidendo sulla struttura e sul funzionamento degli ecosistemi marini (Fauville et al. 2008; Gattuso e Hansson, 2011; Riebesell et al., 2013; IPCC, 2021). In tale contesto AEA's Ocean Acidification International Coordination Centre (OA-ICC; Home: Ocean Acidification International Coordination Centre (OA-ICC) (<https://www.iaea.org/services/oa-icc>) presenta un ruolo fondamentale supportando questa tematica sia da un punto di vista scientifico che tramite reti di monitoraggio informative sull'acidificazione degli oceani globali e regionali (l'Ocean Acidification Mediterranean-Hub - OA Med Hub). Studi recenti hanno dimostrato inoltre che nelle aree di superficie oceanica altamente inquinate dalla plastica, il degrado di questi rifiuti porterà a una diminuzione fino a 0,5 unità di pH. Valore paragonabile al calo di pH stimato nei peggiori scenari di emissioni antropogeniche per la fine del XXI secolo" (Romera-Castillo et al., 2023). Le principali indicazioni suggerite dalla comunità scientifica si concentrano sull'approfondimento ed implementazione delle ricerche concernenti la chimica del sistema carbonatico ed il suo ruolo come effetto tampone negli oceani. Determinanti al fine di capire e tamponare il processo di acidificazione sono i seguenti punti:

- approfondito controllo della qualità dei dati registrati fino ad oggi;
- incremento dello sforzo di monitoraggio per sopperire alla carenza di informazioni;
- studio del sequestro di CO₂ nelle aree di formazione di acque profonde e intermedie;

- contributo degli apporti di acqua dolce (ovvero gli scarichi fluviali e sotterranei) nel sistema carbonatico dell'acqua di mare (Ingrosso et al., 2016b; Hassoun et al., 2022).

Pertanto, sforzi significativi dovrebbero essere incanalati per spingere le istituzioni a contribuire a produrre ricerche dato il numero esiguo di riferimenti bibliografici (Figura 3-43). Tali dati dovrebbero soddisfare i principi di reperibilità, accessibilità, interoperabilità e riutilizzabilità a livello nazionale e regionale che possano essere archiviati in un'unica piattaforma che può essere utilizzata da biogeochimici e modellatori per confronti e proiezioni future.

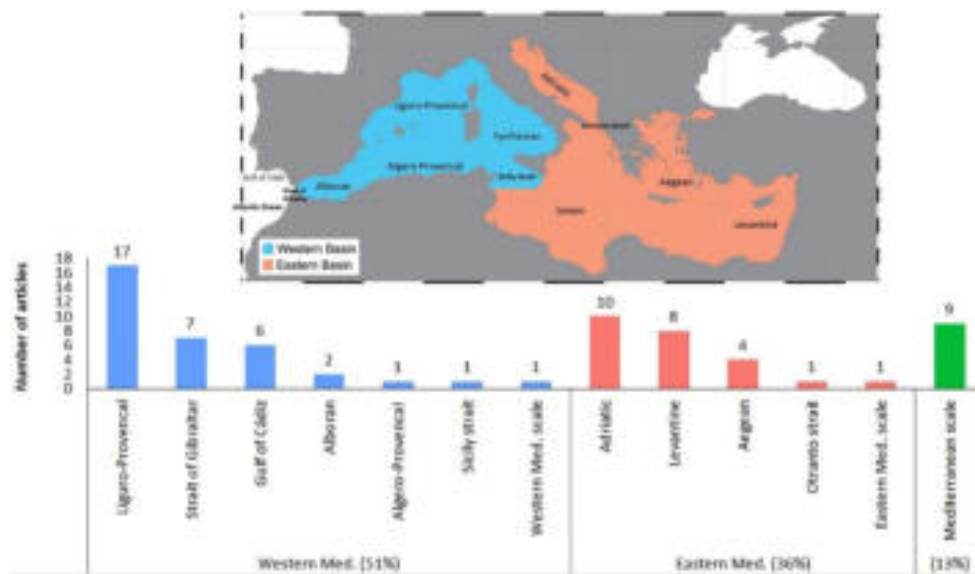


Figura 3-43: Articoli scientifici pubblicati nell'area mediterranea sulla acidificazione da Abed El Rahman Hassoun, Ashley Bantelman, Donata Canu, Steeve Comeau, Charles Galdies, et al.. Ocean acidification research in the Mediterranean Sea: Status, trends and next steps. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9, (10.3389/fmars.2022.892670). (hal-03795797).

Prospettive future e suggerimenti

Le prospettive future riguardano i seguenti punti:

- lo sviluppo di modelli a più alta risoluzione, integrati (fisici-biogeochimici-ecologici) che fornirebbero nuove prospettive su dove gli impatti relativi all'incremento della temperatura, l'innalzamento del livello del mare e l'acidificazione potrebbero essere più pronunciati. I modelli dovrebbero essere in grado di affrontare l'effetto cumulativo dell'Acidificazione degli oceani e di altri fattori di stress, considerando anche gli effetti sinergici e le interazioni non lineari. Questo è fondamentale per comprendere meglio i molteplici effetti dei cambiamenti climatici nei fattori di stress e per esplorare misure di adattamento/mitigazione che possono essere applicate a diverse scale spaziali e temporali (Zunino et al., 2021; Cappelletto et al., 2021).
- la previsione delle conseguenze dirette sulle specie che strutturano l'habitat e su altre specie ecologicamente rilevanti, nonché sulle conseguenze a cascata sulla rete dell'ecosistema, sul suo funzionamento e sui relativi servizi. Inoltre, sarebbe necessaria una valutazione quantitativa delle incertezze nella proiezione del modello, al fine di informare adeguatamente le priorità di ricerca e le scelte di gestione.
- gli aspetti biologici della ricerca dovrebbero riguardare le diverse combinazioni di parametri abiotici e biotici (ad esempio, temperatura, luce, salinità, nutrienti, pascolo, respirazione, ipossia, ecc.) sia in studi

in situ che sperimentali (Riebesell e Gattuso, 2015). La risposta dell'organismo ai cambiamenti climatici sia in relazione alla temperatura che all'acidificazione non è omogenea né facilmente prevedibile e sembra dipendere dai meccanismi biologici di coping per aiutare a compensare gli alti "costi" dei processi fisiologici (ad esempio la calcificazione in condizioni di pH ridotto). È quindi importante valutare molteplici fattori di stress in scenari futuri, come le naturali fluttuazioni diurne del pH, la disponibilità di cibo, inclusi ulteriori fattori potenziali (ad esempio, deossigenazione, riscaldamento, salinificazione, ecc.) (Boyd et al., 2018). Inoltre, poiché gli studi sui driver multipli sono relativamente scarsi, specialmente su larga scala o utilizzando organismi più grandi, la cooperazione tra i paesi del Mediterraneo nella condivisione e abilitazione di strutture del mesocosmo più grandi/più sviluppate sarebbe estremamente vantaggiosa ed economica. Infine, gli studi socio-economici nel Mediterraneo dovrebbero essere sviluppati per valutare meglio gli impatti prolungati di questi indicatori nel Mar Mediterraneo. Per fare ciò, è necessario investire nella ricerca in grado di affrontare le interazioni tra driver e processi a diverse scale spaziali e temporali. Tale ricerca dovrebbe incentrarsi su specie/habitat/ecosistemi di valore commerciale e culturale ed eventualmente essere supportata da modellizzazione e valutazione eseguite alle pertinenti (elevate) scale spaziali e temporali. La quantificazione delle incertezze su larga scala sarebbe molto importante (Solidoro, 2021).

Come possibili indicatori ambientali da tenere in considerazione in un prossimo futuro, significativi da sviluppare per analizzare/monitorare il fenomeno *Climate Change*, si potrebbero prendere in considerazione anche quelli riportati nella tabella seguente (Tabella 3-5), tra quelli non ancora utilizzati dall'Italia:

ESEMPI DI INDICATORI DI IMPATTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI UTILIZZATI IN ALCUNI PAESI EUROPEI E NEGLI STATI UNITI

Temperatura media superficiale del mare (EUROPA, STATI UNITI, FRANCIA, GERMANIA, ITALIA, SPAGNA)

Acidificazione degli oceani (EUROPA, STATI UNITI)

Contenuto di calore negli oceani (EUROPA, STATI UNITI)

Fenologia delle specie marine (EUROPA)

Distribuzione delle specie marine (EUROPA)

Concentrazione fitopigmenti nei sedimenti del Mar Adriatico (ITALIA)

Colore del mare (concentrazione della clorofilla A) (FRANCIA)

Salinità superficiale del mare (FRANCIA)

Tabella 3-5: Esempi di indicatori di impatto ai cambiamenti climatici in alcuni Paesi europei e negli Stati Uniti

Infine, in quest'ottica, è necessario valutare la perdita di servizi ecosistemici e valutare i costi/benefici delle misure di adattamento/mitigazione, facendo riferimento a scenari futuri, basati sui Percorsi Socioeconomici Condivisi (*Shared Socioeconomic Pathways (SSP)*). Gli SSP sono una raccolta di scenari climatici, che appaiono per la prima volta in un Rapporto di Valutazione dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change – principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici*), sul cambiamento climatico nell'AR6 (Sixt Assessment Report), pubblicato il 9 agosto 2021, che potrebbero essere utili a colmare lacune di conoscenza tutt'ora esistenti in quest'ambito.

3.3.5 Frequenza e intensità delle mareggiate

Le mareggiate sono eventi meteorologici che si osservano in mare e sono identificate attraverso la presenza di condizioni di mare gravoso per un lungo periodo di tempo. Un cambiamento climatico nell'area mediterranea comporterebbe inevitabilmente anche una variazione del *clima ondososo*. Infatti, le onde sono fortemente collegate al clima e ne sono pertanto una componente chiave per i mari italiani. In generale con il termine *clima marino* ci si riferisce alla descrizione statistica in termini di valori medi e di variabilità delle grandezze che sono considerate rilevanti a mare (ad esempio salinità, temperatura superficiale dell'acqua, livello, velocità del vento, temperatura atmosferica, etc.).

Il *clima ondoso* invece è descritto attraverso lo studio statistico delle onde del mare generate dal vento, e in particolare mediante la caratterizzazione delle probabilità o frequenze di occorrenza. Lo studio del regime medio del moto ondoso può essere effettuato sia con metodi diretti (misure) sia con metodi indiretti (modelli).

Le mareggiate, in letteratura, sono definite come una sequenza di stati di mare (onde) in cui l'altezza d'onda supera una soglia critica per un "intervallo di tempo considerevole"; un valore diffusamente adoperato come durata minima di una mareggiata nel Mediterraneo è 12 ore (Boccotti, 2000). Risulta ragionevole ritenere che una variazione nel clima (temperatura, livello, pressione atmosferica, etc.) possa causare una conseguente variazione delle onde e delle mareggiate. Le onde nel Mar Mediterraneo sono generate da venti di grande intensità quali il Maestrale (NO), la Tramontana (N), lo Scirocco (SE), il Libeccio (S-O) (Lionello et al., 2005). Le altezze d'onda più alte sono attese nei punti in cui vi sono grandi velocità di vento per lunghi periodi e su grandi estensioni spaziali (*fetch*). I valori più alti di altezze d'onda interessano il Mar Mediterraneo occidentale durante l'inverno e il Mar Mediterraneo orientale durante l'estate. Nel Mediterraneo, i valori massimi di altezza d'onda possono raggiungere o superare i 10 m, i valori medi annui superano di rado i 1.5 m; le onde più alte vengono osservate nel periodo autunnale ed invernale con valori medi stagionali più elevati.

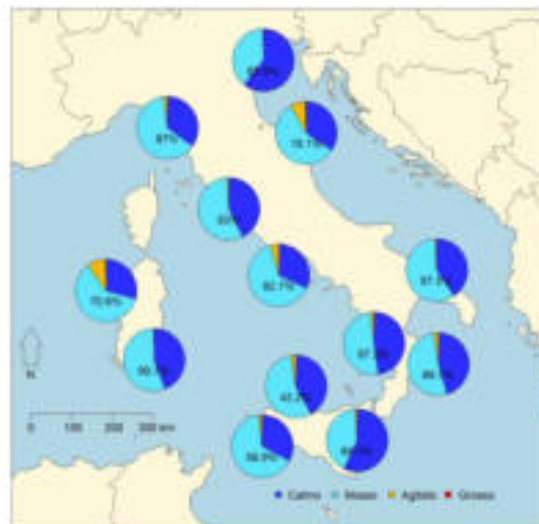


Figura 3-44: Mappa sintetica dello stato dei mari italiani, elaborato sulla base delle misure di altezza significativa d'onda rilevate dalle boe della Rete Ondametrica Nazionale.

I valori medi annui di altezza d'onda più alti (>1 m) si registrano nel Mediterraneo nord-occidentale (golfo del Leone e zona tra le isole Baleari e la Sardegna) e nel Mare Ionio (Lionello et al., 2006). Le medie più basse si registrano nei mari Tirreno (0.5÷1 m) e Adriatico (0.5÷0.8 m). Le aree del Canale di Sicilia e del Mar Ionio sono caratterizzate da elevati valori medi di altezza d'onda principalmente durante i mesi invernali. Nei mari italiani il clima ondoso quindi è molto eterogeneo. Le analisi effettuate sui dati misurati dalla Rete Ondametrica Nazionale (RON) nel passato (ISPRA, 2015) evidenziano chiaramente un carattere di stagionalità delle mareggiate.

Le boe nel Tirreno e quelle di Alghero e di Mazara del Vallo hanno registrato un numero maggior di mareggiate e, mediamente, eventi più intensi rispetto al bacino Adriatico, come è ragionevole attendersi per i diversi fetch dei bacini. Un altro parametro che caratterizza il clima ondoso locale è la *potenza* o *flusso di energia*, che dipende sia dall'altezza delle onde che dalla loro lunghezza. Le coste occidentali della Sardegna e della Sicilia possiedono i valori medi annui più alti di flusso di energia del moto ondoso, con potenze rispettivamente pari a 12 kW/m e 9 kW/m (Liberti et al., 2013).

Gli scenari futuri sono strettamente legati alle tendenze evolutive dei principali parametri meteorologici nel bacino del Mediterraneo. Le variazioni nelle condizioni estreme dello stato del mare determinano impatti sugli habitat, influiscono sulla utilizzazione della fascia costiera, e possono causare rischi crescenti per la popolazione esposta. L'aumento della frequenza degli eventi estremi in mare può essere valutato attraverso la variazione della frequenza degli stati di mare più grandi.

Le aree di mare più colpite da una variazione dei regimi di moto ondoso possono essere individuate analizzando i valori di altezza d'onda al di sopra una prefissata soglia. A tal fine può essere utile adottare come valore di soglia 2.5 m. Tale valore corrisponde alla condizione di *mare agitato* secondo la scala di *Douglas*. In Figura 3-45 è mostrato l'andamento della frequenza di accadimento di eventi che superano tale soglia.

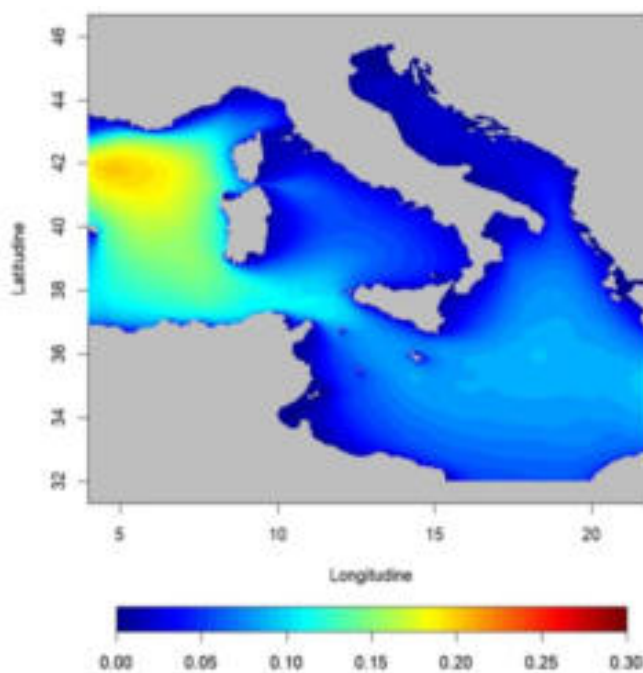


Figura 3-45: Valori medi di frequenza di mare agitato e grosso (2006-2020). Fonte ISPRA da dati CMEMS

Le frequenze mostrate in Figura 3-46 sono state calcolate usando i dati di altezza d'onda forniti dal *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). I parametri d'onda sono calcolati attraverso un modello spettrale su una griglia di 0.04° per tutto il periodo 2006-2018.

Per ogni punto del grigliato, inoltre, è stato calcolato il *trend* sull'intero periodo dei valori di altezza d'onda che superano 2.5 m (Figura 3-46). Come è possibile osservare (Figura 3-46) ad eccezione della Sardegna meridionale e del canale di Sicilia, non sono presenti trend significativi collegati a variazioni di onde di mare agitato.

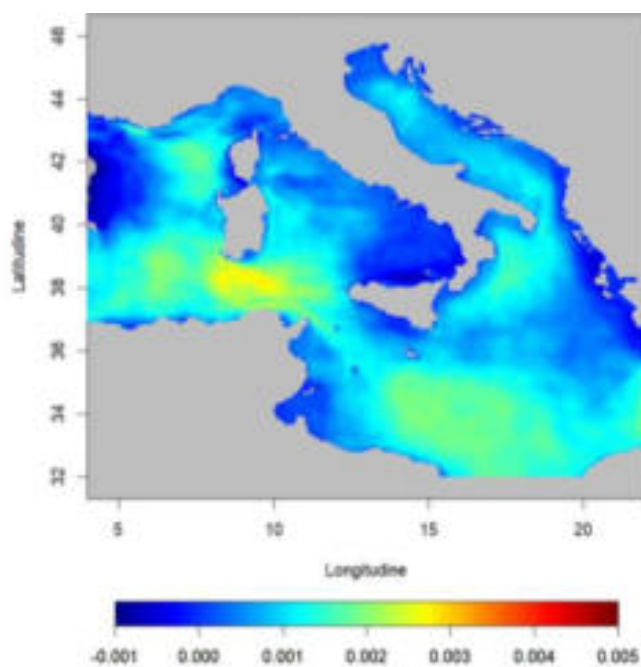


Figura 3-46: Trend di frequenza di mare agitato e grosso (2006-2020). Fonte ISPRA da dati CMEMS

3.3.6 Erosione costiera

Lo spazio fisico (sia terrestre che marino) è una risorsa chiave necessaria per produrre o sostenere altre risorse naturali e molti servizi ecosistemici. In ambito marino-costiero, molte delle direttive comunitarie (Water Framework Directory WFD 2000/60/EC, Marine Strategy Framework Directory MSFD 2008/56/EC, Floods Directory FD 2007/60/CE, Maritime Spatial Planning MSP 2014/89/UE) nascono proprio per gestire e pianificare l'utilizzo di tale spazio di confine in un'ottica integrata e sostenibile. In questa interpretazione, la zona costiera è però una "risorsa" limitata a causa della sua circoscritta estensione spaziale. Ne consegue che l'attuale flusso di servizi ecosistemici costieri (es. cibo, materie prime, mitigazione del clima) sia strettamente vincolato a tale concetto di spazio e alle sue modificazioni nel tempo. L'evoluzione recente dei litorali ci ha mostrato che proprio la compromissione di tali funzionalità spesso si è tradotta in competizione settoriale e degrado ambientale.

Il sistema fisico costiero italiano

La costa italiana ha una lunghezza di circa 8.300 km. La costa naturale è pari a circa 7.500 km. Circa 2.600 km sono coste alte, mentre oltre 4.700 km sono coste basse, per lo più litorali sabbiosi o ghiaiosi, con alcuni tratti deltizi importanti e altri estesi ambienti lagunari (ISPRA, Stato dell'ambiente, 2011).

La dinamica sedimentaria sulle coste viene determinata principalmente dall'azione congiunta delle onde, principalmente durante le tempeste, e delle correnti litorali che vengono modificate dalle variazioni dei livelli marini imposti dalle maree astronomiche e meteorologiche (*storm surge*). La fonte del sedimento di norma viene garantita naturalmente dall'apporto fluviale di materiale detritico proveniente dai bacini idrografici. Il bilancio sedimentario è quindi in uno stato di continua evoluzione ma, in una condizione naturale, a scale di tempo non geologiche, si troverebbe in uno stato di equilibrio dinamico. Con sempre maggior frequenza, la naturale evoluzione dinamica delle coste viene pesantemente alterata dagli interventi antropici, tanto nelle zone dei bacini interni (costruzione di dighe che interrompono il trasporto sedimentario verso il mare) che nelle zone costiere (costruzioni di porti e antropizzazione dei litorali *in primis*).

L'erosione costiera si traduce tipicamente in un arretramento della linea di costa verso terra. Questo può aumentare il rischio di inondazioni costiere e causare la perdita di terreno e danni a edifici, infrastrutture e terreni agricoli.

Gli impatti del CC sul sistema costiero

Gli impatti dei cambiamenti climatici sul sistema fisico costiero sono relazionati principalmente a due fenomeni:

1. L'innalzamento del livello marino;
2. L'aumento della frequenza degli eventi estremi.

L'erosione costiera e l'inondazione temporanea dovuta alle tempeste sono piuttosto comuni lungo le coste italiane, in particolare nelle aree con spiagge basse (CMCC, 2021). Tali fenomeni, agendo su scale temporali sensibilmente differenti, impatteranno il sistema costiero con velocità e ampiezze differenti. In azione congiunta essi indurranno un generale e progressivo aumento delle aree vulnerabili via via in porzioni più interne rispetto all'attuale linea di costa. L'aumento del livello del mare indurrà principalmente l'aumento del livello di base con cui tutti i processi idrodinamici, morfo-sedimentari ed ecologici 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;
- c) un incremento dell'intrusione del cuneo salino;

Tali modificazioni indurranno quindi a cascata un'alterazione dei processi ambientali ed ecologici delle zone costiere e di transizione, influenzandone la biodiversità e la capacità di fornitura di molti servizi ecosistemici.

Considerando l'attuale grado di infrastrutturazione costiera tale sollevamento influenzerà anche:

- d) la funzionalità delle infrastrutture idrauliche (ad es. delle reti fognarie);
- e) l'efficienza delle infrastrutture di difesa costiera;
- f) la continuità degli habitat dunari, della Posidonia e delle zone intermareali.

L'aumento del numero di eventi estremi che avranno un impatto sulla costa, ma anche la nuova dinamica delle tempeste, comprometterà l'attuale equilibrio sedimentario, già fortemente compromesso, in termini di meccanismi di redistribuzione del sedimento lungo costa. L'intensificazione di tali eventi, e l'elevata frequenza con cui impatteranno la costa, produrrà condizioni energetiche in grado di mobilitare grandi quantitativi di sedimenti che se non opportunamente re-introdotti lungo costa (a causa dell'attuale tendenza di diminuzione del trasporto solido fluviale ad opera delle regimazioni idrauliche) indurranno un'intensificazione degli squilibri sedimentari attuali.

Le criticità più probabili si tradurranno in un generalizzato aumento dei settori litoranei sottoalimentati, in una diminuzione della resilienza dei sistemi litoranei naturali, in un aumento delle porzioni costiere soggette a fenomeni di sommersioni temporanee più frequenti e prolungate, nella diminuzione dell'efficienza delle attuali infrastrutture di difesa (in quanto maggiormente sollecitate e dimensionate secondo forzanti non coerenti con il mutato quadro meteo-climatico), in un ulteriore indebolimento delle funzionalità "difensive" dei sistemi spiagge/dune e di transizione (attualmente già fortemente compromessi).

La situazione in Italia

Il recepimento italiano delle direttive comunitarie inerenti alla gestione e pianificazione della fascia costiera ha seguito un percorso differenziato in quanto alla responsabilità dei singoli enti regionali, ne consegue quindi un panorama legislativo e gestionale non omogeneo.

Il consumo di suolo nella fascia costiera italiana ha valori nettamente superiori rispetto al resto del territorio nazionale. A livello nazionale più di un quinto della fascia compresa entro i 300 metri dal mare è ormai consumato (ISPRA, ADA 2021).

Nel periodo compreso tra il 2007 e il 2019 il 37,6% dei litorali ha subito variazioni superiori a 5 metri. In tutte le regioni costiere si registra una tendenza generale al peggioramento della stabilità dei litorali, in altri termini tutte le aree costiere del Paese sono gravate da importanti processi di erosione a esclusione di alcune zone costiere, dove si possono osservare gli effetti dei numerosi sforzi compiuti negli anni per mitigare il dissesto costiero (ISPRA, Rapporti 356/2021).

La Calabria, la Sicilia, la Sardegna e la Puglia (Figura 3-47) sono nell'ordine le regioni con il maggior numero di chilometri di costa in arretramento (ISPRA, ADA 2021). È da considerare che i maggiori fenomeni erosivi sono intervenuti negli ultimi decenni e quindi con una tendenza annua verosimilmente e significativamente più elevata di quanto calcolato su una media quarantennale. Una stima effettuata dal CMCC per il 2050 indica un retrocesso medio delle coste spiagge di circa 17 metri al 2050 in uno scenario di emissioni medie (CMCC, 2021).



Figura 3-47: Costa regionale e percentuale delle variazioni nel periodo 2007-2019 per erosione e avanzamento (ISPRA, RAPPORTI 356/2021).

3.3.7 Effetti del cuneo salino alle foci e riflessi sulla disponibilità delle risorse idriche

Con il termine cuneo salino si indica la risalita dell'acqua di mare sul fondo dell'alveo di un fiume in prossimità del suo tratto di foce. Quando si presenta questo fenomeno l'acqua dolce, più leggera, scorre verso il mare al di sopra dell'acqua salata, che tende invece ad avanzare verso terra secondo una dinamica che dipende da diversi fattori.

È un evento che si verifica naturalmente alle foci dei fiumi e non rappresenta di norma un problema in condizioni di equilibrio, ma può diventare particolarmente complesso da gestire nelle situazioni in cui l'intrusione di acqua salata penetri per molti km all'interno della costa.

Esso fa parte della più ampia tematica dell'espansione salina all'interno dei territori costieri, in cui rientra anche il fenomeno della salinizzazione delle falde acquifere sotterranee in vicinanza della linea di costa.

I fattori che determinano l'intrusione salina possono essere di origine naturale, antropica o una combinazione dei due, e agiscono su diverse scale temporali e spaziali. Tra i fattori naturali si possono citare: le variazioni del livello del mare, gli *storm surge*, gli uragani, le fluttuazioni climatiche, la siccità e la subsidenza. Tra i fattori antropici, i più importanti sono invece: la bonifica dei comprensori al di sotto del livello del mare, lo sfruttamento delle falde acquifere costiere, la riduzione della portata fluviale per gli usi idroelettrici ed irrigui, le deviazioni inter-bacino o particolari infrastrutture idrauliche, i mutamenti nell'uso del suolo all'interno del bacino idrografico, nonché l'approfondimento dei letti di magra fluviali per prelievo di inerti (Colombo e Tosini, 2010).

La risalita del cuneo salino può provocare gravi danni ambientali e ha notevoli ricadute sulla gestione delle risorse idriche.

Da un punto di vista ambientale, la presenza del cuneo salino può infatti comportare l'inaridimento delle zone litoranee e le microdesertificazioni, legate alla perdita di habitat e alle modifiche locali all'ecosistema. Per quanto riguarda la disponibilità delle risorse idriche, l'intrusione salina può causare l'interruzione delle derivazioni irrigue (non è possibile, infatti, irrigare quando la salinità supera il 2‰), l'interruzione degli approvvigionamenti acquedottistici (le centrali di potabilizzazione di norma non sono provviste di dissalatori), la salinizzazione delle falde sotterranee e la conseguente impossibilità di utilizzarle per gli usi antropici (Bellafiore et al, 2021).

L'effetto dei cambiamenti climatici su questo fenomeno si può esplicitare in base a due potenziali impatti: da un lato il previsto innalzamento del livello del mare potrà provocare naturalmente una maggiore intrusione salina verso terra, dall'altro l'alterazione del regime delle precipitazioni, che secondo i modelli climatici comporterebbe quasi ovunque in Italia delle estati più siccitose, potrà favorire una diminuzione delle portate fluviali di magra, che saranno sempre meno in grado di contrastare efficacemente la risalita salina dal mare.

Osservando lo stato attuale del fenomeno a scala nazionale si può evidenziare come, pur trattandosi di un problema con una rilevanza sempre maggiore, la disponibilità di dati sia ancora carente e frammentata.

Nonostante siano molti i fiumi potenzialmente interessati dall'intrusione salina, è possibile reperire dati di una certa consistenza solamente per quanto riguarda il fiume Po e pochi altri corsi d'acqua della Pianura Padana che riversano le loro acque nell'arco costiero alto Adriatico.

Le misure effettuate sul maggior fiume italiano 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 (Figura 3-48). 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 (Bellafiore et al, 2021).



Figura 3-48: Intrusione salina alle foci del Po e dell'Adige. Da sinistra a destra: negli anni '50-'60, negli anni '70-'80, negli anni 2000 e durante l'estate del 2022.

Avvicinandoci al presente, durante l'estate 2022 il Po a Pontelagoscuro ha raggiunto la portata minima storica di circa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ con una media mensile di circa $160 \text{ m}^3/\text{s}$ a luglio, quando il cuneo salino è arrivato fino a 40 km dalla foce (Fonte: ANBI). Un dato significativo se confrontato con la risalita del cuneo in condizioni di magra ordinaria ($650 \text{ m}^3/\text{s}$) fornita dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (Figura 3-49). Ciò ha comportato l'interruzione totale degli approvvigionamenti idrici a scopi irrigui, varie forme di razionamenti e di turnazioni in molte aree del Delta.

Nome ramo delta	Portata ripartita (m^3/s)	Alta Marea (km)	Bassa Marea (km)
Grocca	109.8	6.9	4.4
Goro	61.8	10.6	5.6
Tolle	80.5	7.7	5.9
Maistra	26.5	8.4	4.4
Pila	371.3	10.8	6.6

Figura 3-49: Intrusione salina alla foce del Po in base ai dati del Piano di Gestione delle Acque 2015 messo a punto dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, considerando la portata di magra ordinaria a Pontelagoscuro di $650 \text{ m}^3/\text{s}$.

Delle problematiche analoghe si sono verificate anche per il tratto terminale dell'Adige, dove è stata registrata una portata a Boara Pisani di circa $30 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre quella necessaria per gestire il fenomeno è valutata dall'Osservatorio Permanente sugli utilizzi idrici presso l'Autorità di distretto Alpi Orientali in circa $60-80 \text{ m}^3/\text{s}$. Anche alla foce del Livenza le scarse portate hanno causato il razionamento dei prelievi idrici a scopi irrigui e potabili nei comuni rivieraschi.

Un dato significativo è anche quello del Fiume Sile, un fiume di risorgiva caratterizzato da portate generalmente costanti anche d'estate, che durante l'evento siccitoso del 2022 ha visto un cuneo salino espandersi fino a 10 km verso l'entroterra, ossia con una estensione doppia rispetto ad analoghi periodi del passato (Fonte: progetto Life Lagoon Refresh).

I Piani di Gestione delle Acque secondo la Direttiva 2000/60/CE, recentemente giunti al secondo ciclo di aggiornamento, forniscono per il rimanente territorio nazionale solo un'idea qualitativa del fenomeno

attraverso l'indicazione dello stato dei corpi idrici analizzati (Figura 3-50). Ciò è dovuto anche alle criticità insite nella misurazione del cuneo stesso, che per essere monitorato quantitativamente richiede strumentazione e mezzi da utilizzare in concomitanza delle condizioni idrologiche più sfavorevoli, come quelle di magra spinta.



Figura 3-50: Intrusione salina: criticità alle foci dei fiumi o negli acquiferi sotterranei costieri in base ai Piani di Gestione delle Acque (Direttiva 2000/60/CE).

Per il distretto dell'Appennino Settentrionale l'intrusione salina è valutata principalmente dal punto di vista della salinizzazione degli acquiferi sotterranei, mettendo in evidenza forti impatti per le coste della Versilia, la foce dell'Arno, le aree costiere di Cecina, Grosseto e Orbetello. Per il distretto dell'Appennino Centrale, sono segnalati come affetti da questo fenomeno la Piana del Foro, la Piana del Pescara, la Piana del Trigno e quella del Vomano. Per il distretto dell'Appennino Meridionale, risultano formalmente individuate la Piana di Lesina, di Carpino, di Manfredonia e gli acquiferi carsici costieri della Murgia e del Salento. Per la Sicilia vengono evidenziate problematiche legate all'intrusione salina negli acquiferi sotterranei della Piana e Monti di Bagheria, di Monte Castellaccio e di Pizzo Vuturo-Monte Pellegrino, mentre per i bacini della Sardegna sono segnalati impatti per i corpi idrici di Muravera, di Simius, di Portoscuso, di Arborea e di San Antioco.

Alla luce dei dati disponibili per lo stato attuale, il fenomeno sembra stia ormai assumendo dei caratteri prossimi all'irreversibilità. A suffragare questa tesi, in un'ottica di cambiamento climatico e relativamente allo specifico sistema del Delta del Po, una delle proiezioni più recenti porta a stimare che, ipotizzando lo scenario emissivo RCP8.5, 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 del Delta del Po. 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 (Bellafiore et al, 2021).

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).

3.3.8 Ecosistemi marini e costieri

Il cambiamento climatico globale sta interessando in modo crescente l'ambiente marino determinando una serie di mutamenti chimico-fisici delle caratteristiche dei bacini e delle acque con dirette conseguenze su ecosistemi, habitat e specie. Tali effetti, di per sé già molto gravi, interagiscono con altre fonti di stress di origine antropica (*multiple stressors*) determinando effetti sinergici, con conseguenze poco prevedibili e difficili da gestire (Claudet and Fraschetti, 2010). La pressione crescente che i cambiamenti climatici e le altre fonti di stress esercitano sull'ambiente marino ne sta causando instabilità e profondi mutamenti sia in termini di composizione (biodiversità, specie aliene, composizione delle comunità) sia in termini funzionali (alterazione cicli bio-geochimici, cambiamento delle reti trofiche) con un aumento della vulnerabilità e dei tassi di estinzione dei suoi componenti. La perdita di capitale naturale comporta inoltre la perdita dei beni e della ricchezza (servizi ecosistemici) che gli ecosistemi garantiscono all'uomo con conseguenti implicazioni sociali ed economiche. In particolare nel Mediterraneo, per la sua modesta estensione e la caratteristica di essere un mare semi-chiuso, i cambiamenti indotti dal riscaldamento globale possono provocare risposte a livello biologico più rapide rispetto a quanto riscontrato in altri sistemi su scala globale.

In questo contesto, è quindi indispensabile definire opportune strategie per contrastare l'azione dei cambiamenti climatici e minimizzarne gli effetti, migliorando lo stato di conservazione e la resilienza dei sistemi marini e degli assetti socio-economici associati.

3.3.8.1 Habitat e specie

La Direttiva Habitat (92/43/CEE) richiede che ogni Stato Membro preveda la conduzione delle attività di monitoraggio necessarie a valutare, a scala nazionale, lo stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario elencati negli allegati II, IV, V e I (Art. 11). Il monitoraggio, che deve consentire anche di verificare l'efficacia delle misure di gestione e conservazione applicate, deve essere condotto sia all'interno che all'esterno della Rete Natura 2000.

I risultati delle attività di monitoraggio sono trasmessi alla Commissione Europea ogni sei anni con la redazione di un Rapporto Nazionale (Art. 17).

Il presente paragrafo è un estratto del capitolo 4 presente in: "Rapporti Direttive Natura (2013-2018). Sintesi dello stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario e delle azioni di contrasto alle specie esotiche di rilevanza unionale in Italia" di Ercole et al., 2021. Esso fornisce una sintesi dei risultati del IV Rapporto Nazionale (2013-2018), relativi a 27 specie e 8 habitat marini della Direttiva Habitat presenti nelle acque italiane, ed è focalizzato sui seguenti aspetti:

- distribuzione della ricchezza di specie ed habitat di cui alla Direttiva nei mari italiani
- stato di conservazione di specie ed habitat marini emerso nel IV Rapporto e confronto con i dati relativi al III Rapporto (2007-2012)
- pressioni e minacce che insistono sulle specie e gli habitat marini di cui alla Direttiva.

I risultati del IV Rapporto Nazionale, sebbene abbiano mostrato un notevole progresso delle conoscenze rispetto al precedente ciclo di reporting, hanno evidenziato la necessità di definire un Piano Nazionale di monitoraggio delle specie e degli habitat, fondato sull'applicazione di metodologie standardizzate (La Mesa et al., 2019).

Specie

Le mappe di distribuzione della ricchezza di specie marine di interesse comunitario (espressa come numero di specie presenti in celle 10x10km della griglia standard europea, comprendente l'intero territorio marino

nazionale) (Figura 3-51), si riferiscono, complessivamente, a 20 specie appartenenti a tre gruppi tassonomici: invertebrati (6 specie), rettili (3 specie) e mammiferi (11 specie).

Il maggior numero di invertebrati per i quali sono disponibili i dati di monitoraggio si riscontra in Mar Ligure, nel Mar Tirreno meridionale e lungo le coste della penisola salentina. A questo proposito va rilevato che le specie considerate dalla Direttiva Habitat sono prevalentemente costiere e che i dati sulla distribuzione di alcune di esse, come il riccio diadema (*Centrostephanus longispinus*) e la magnosa (*Scyllarides latus*), devono tuttavia essere considerati parziali, a causa della mancanza di attività di monitoraggio condotte ad ampia scala.



Figura 3-51: Mappa della distribuzione nei mari italiani della ricchezza di specie di invertebrati di interesse comunitario (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

La mappa relativa ai rettili (Figura 3-52, a) è fortemente caratterizzata dalla distribuzione della tartaruga comune (*Caretta caretta*), specie presente in tutti i mari italiani con un'elevata densità. La maggiore ricchezza di questo gruppo di specie si verifica in alcuni siti costieri caratterizzati anche dalle segnalazioni della tartaruga verde (*Chelonia mydas*) e della tartaruga liuto (*Dermochelys coriacea*), relative, prevalentemente, ad individui spiaggiati.

La distribuzione illustrata per i mammiferi (Figura 3-52, b) riflette le principali abitudini delle due specie più comuni, il tursiope (*Tursiops truncatus*) e la stenella (*Stenella coeruleoalba*), che prediligono, rispettivamente, le zone costiere e quelle di alto mare. La presenza delle altre specie è meno uniforme e si concentra principalmente in Mar Ligure (Santuario Pelagos), lungo le coste della Sardegna, nel Canale di Sicilia e nella parte più settentrionale dell'Adriatico.

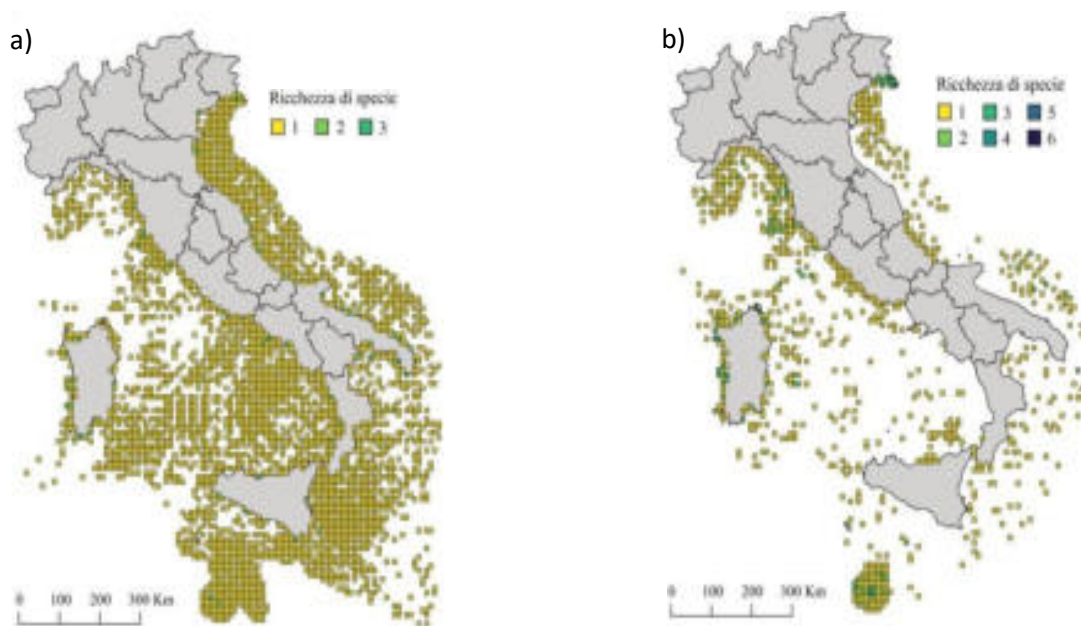


Figura 3-52: Mappe della distribuzione nei mari italiani della ricchezza di specie di a) rettili e b) mammiferi di interesse comunitario (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

Habitat

La Figura 3-53 mostra la distribuzione degli 8 habitat marini di interesse comunitario presenti in Italia, la maggior parte dei quali è presente nelle acque costiere. La ricchezza è espressa come numero di habitat presenti in ciascuna cella 10x10km della griglia standard europea comprendente l'intero territorio marino nazionale. La maggior ricchezza di habitat si osserva lungo il versante tirrenico, lungo le coste della Sardegna e nell'alto Adriatico.



Figura 3-53: Mappa della distribuzione nei mari italiani della ricchezza di habitat di interesse comunitario (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

3.3.8.2 Stato di conservazione delle specie e degli habitat marini

Specie

Lo stato di conservazione di una specie è definito sulla base di quattro categorie: favorevole (FV), inadeguato (U1), cattivo (U2) o sconosciuto (XX).

La valutazione complessiva, relativa all'intera regione biogeografica (la "Regione Marina Mediterranea"), deve essere formulata combinando le valutazioni espresse considerando ciascuno dei seguenti parametri: areale di distribuzione, popolazione, habitat per la specie e prospettive future.

La Figura 3-54 mostra lo stato di conservazione delle 18 specie (2 alghe, 6 invertebrati, 1 rettile e 6 mammiferi), regolarmente presenti nelle acque italiane.

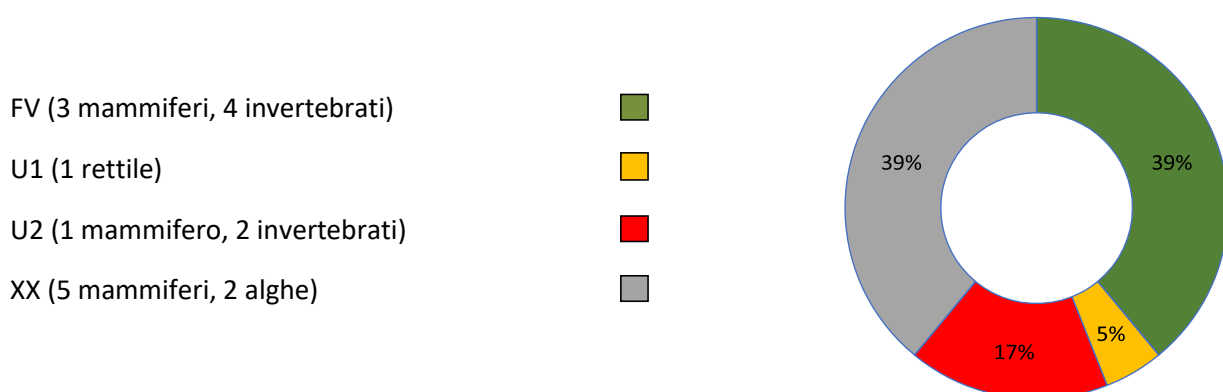


Figura 3-54: Percentuali di valutazioni delle specie nei diversi stati di conservazione (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

Le percentuali più elevate riguardano le specie considerate in uno stato di conservazione favorevole (39%) o sconosciuto (39%), a causa della mancanza di informazioni sufficienti per esprimere una valutazione. Risulta invece sfavorevole lo stato di conservazione della tartaruga comune (*C. caretta*) (U1 inadeguato) e, soprattutto, quello dei due invertebrati (la grande nacchera - *Pinna nobilis* e la magnosa - *Scyllarides latus*) e di un mammifero, la foca monaca (*Monachus monachus*) valutato come U2, cattivo.

Confrontando le valutazioni effettuate negli ultimi due periodi di reporting (2007-2012 e 2013-2018) (Figura 3-55), lo stato di conservazione è cambiato per un terzo delle specie, grazie in alcuni casi (3 mammiferi, passati da uno stato sconosciuto ad uno favorevole) ad un aumento delle conoscenze. In due specie di invertebrati è stato registrato un miglioramento mentre per la grande nacchera si è osservato un peggioramento dovuto però ad una moria generalizzata, causata dall'arrivo di un patogeno specie-specifico, che ha colpito la specie in tutto il Mediterraneo. Nelle rimanenti specie, lo stato di conservazione è rimasto stabile (28%) o non è stato possibile effettuare confronti (39%) (ad esempio per le due specie di alghe, considerate solo con il IV Rapporto).

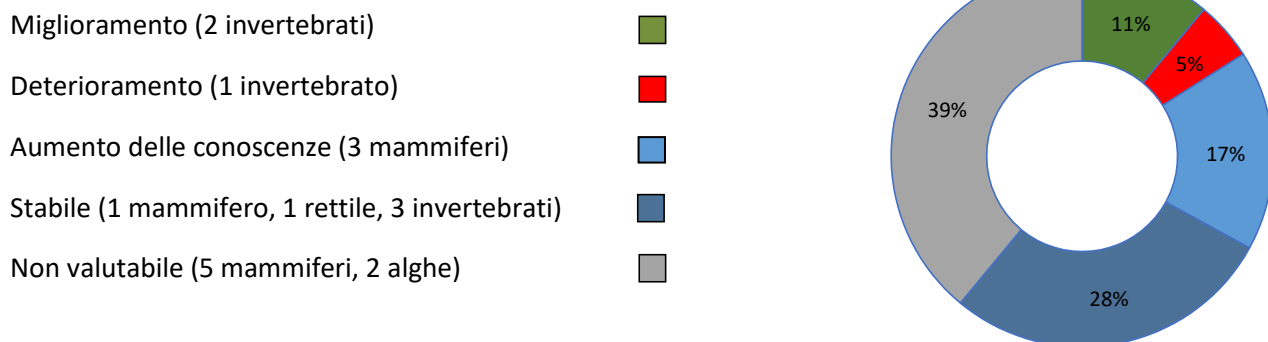


Figura 3-55: Confronto dello stato di conservazione delle specie di interesse comunitario tra il III e il IV Report (2007-2012 / 2013-2018) (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

Informazioni più dettagliate sulle valutazioni relative allo stato di conservazione delle singole specie nei due periodi e ai cambiamenti osservati sono riportate nella tabella a chiusura del paragrafo (Tabella 3-6).

Habitat

Lo stato di conservazione degli habitat deve essere valutato facendo riferimento alle stesse categorie applicate per le specie: favorevole (FV), inadeguato (U1), cattivo (U2) o sconosciuto (XX). La valutazione complessiva, unica per l'intera regione biogeografica (la "Regione Marina Mediterranea"), si ottiene combinando le valutazioni relative a 4 parametri: areale di distribuzione, area coperta dall'habitat, struttura e funzioni e prospettive future.

Nel IV Report è emerso che tutti gli habitat per i quali si dispone di informazioni adeguate sono in uno stato favorevole di conservazione (63%), tuttavia ancora elevata è la percentuale (37%) di quelli per i quali le conoscenze non sono adeguate ad esprimere una valutazione (Figura 3-56).



Figura 3-56: Percentuali di valutazioni degli habitat nei diversi stati di conservazione. In parentesi sono riportati i codici degli habitat compresi nella categoria (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

La comparazione con le valutazioni riportate nel III ciclo di reporting (2007-2012) indica un cambiamento positivo per tre habitat, passati da uno stato sconosciuto (1130) o inadeguato (1120 e 1160) ad uno favorevole. La condizione è rimasta stabile nel 25% degli habitat, mentre non è stato possibile fare un confronto tra i due periodi nel 37,5% dei casi (Figura 3-57).

Miglioramento (1120, 1160)	■
Aumento delle conoscenze (1130)	■
Stabile (1170, 8330)	■
Non valutabile (1110, 1140, 1180)	■

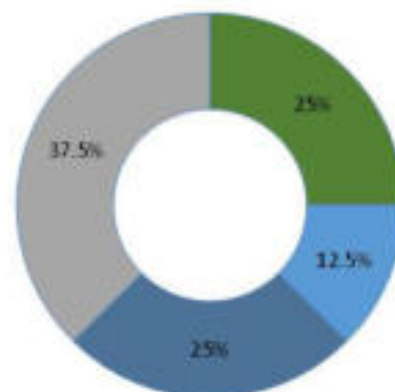


Figura 3-57: Confronto dello stato di conservazione degli habitat di interesse comunitario tra il III e il IV Report (2007-2012 / 2013-2018). In parentesi sono riportati i codici degli habitat compresi nella categoria (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

3.3.8.3 Pressioni e minacce

Per pressioni e minacce si intendono quelle azioni e quei fattori che possono avere effetti negativi, diretti o indiretti, sullo stato di salute e sulla sopravvivenza delle specie e degli habitat.

Facendo riferimento ad una distinzione di orizzonte temporale, mentre le pressioni hanno agito in passato (nel corso dei 6 anni relativi al IV ciclo di reporting 2013-2018) e/o sono tuttora in atto, le minacce si ritiene possano agire in futuro (nei 12 anni successivi al IV ciclo). La stessa azione o fattore può quindi costituire sia una pressione che una minaccia, nel caso in cui gli effetti riscontrati in passato e/o ancora in atto possano verificarsi anche in futuro.

Specie

Le pressioni e minacce più rilevanti che interessano le specie di alghe, invertebrati, rettili e mammiferi sono ascrivibili alle 8 macrocategorie riportate in Figura 3-58.

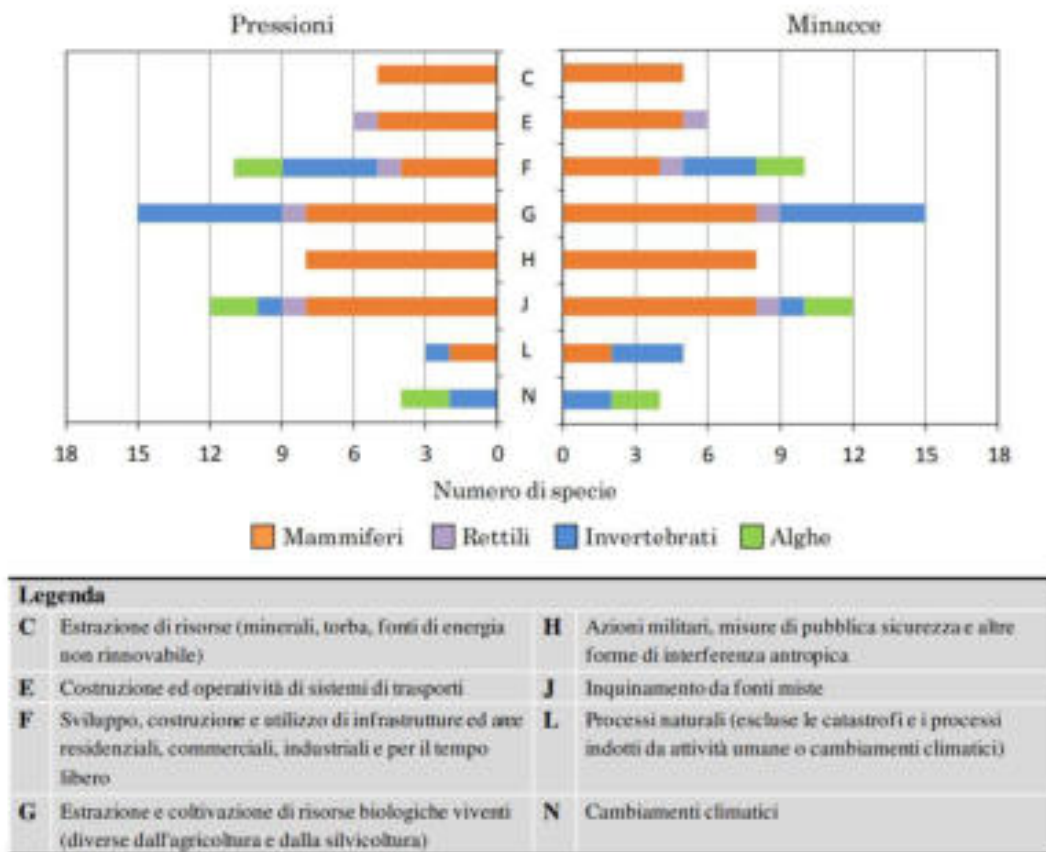


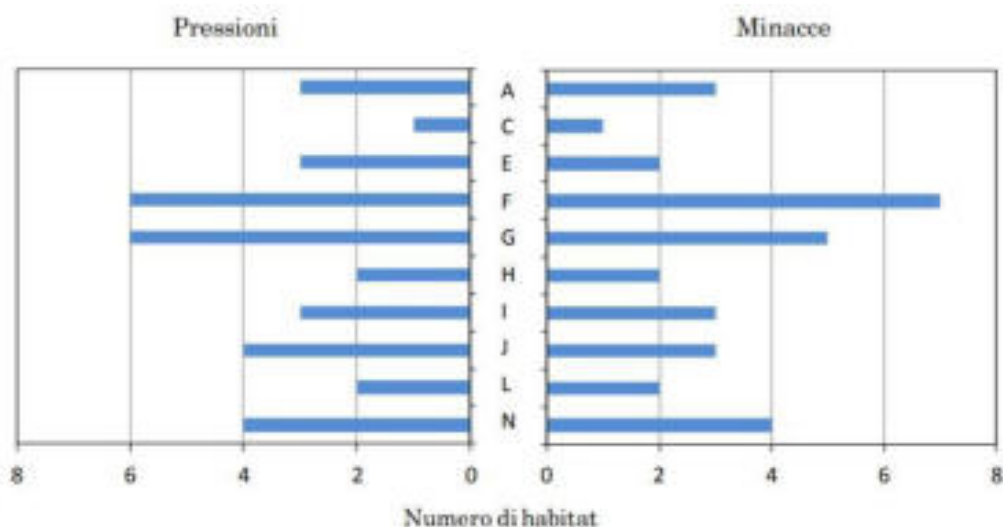
Figura 3-58: Categorie di pressioni e minacce che agiscono sulle specie di mammiferi, rettili, invertebrati ed alghe (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

I mammiferi ed i rettili marini sono particolarmente soggetti alle catture accidentali da parte di attrezzi da pesca, all'inquinamento marino e al disturbo antropico causato dalle attività militari, dalla costruzione ed utilizzo di infrastrutture industriali e turistiche, dai trasporti marittimi.

Gli impatti sugli invertebrati derivano principalmente dal prelievo e dalla raccolta illegale, dalla costruzione ed utilizzo di infrastrutture e dai cambiamenti climatici. Infine, le maggiori fonti di disturbo per le specie algali sono l'inquinamento marino, la costruzione di infrastrutture e i cambiamenti climatici.

Habitat

Le pressioni e minacce principali cui sono sottoposti gli habitat marini italiani rientrano in 9 macrocategorie; le più rilevanti, in termini di numero di habitat interessati, sono legate alla costruzione ed utilizzo di infrastrutture industriali e turistiche, e alle attività di prelievo delle risorse condotte con attrezzi che interagiscono fisicamente con i fondali (Figura 3-59). Seguono in ordine decrescente di importanza le pressioni e le minacce rappresentate dai cambiamenti climatici, dalla diffusione di specie alloctone, dall'inquinamento costiero, dalle attività militari ed estrattive.



Legenda	
A Agricoltura	H Azioni militari, misure di pubblica sicurezza e altre forme di interferenza antropica
C Estrazione di risorse (minerali, torba, fonti di energia non rinnovabile)	I Specie alloctone e problematiche
E Costruzione ed operatività di sistemi di trasporti	J Inquinamento da fonti miste
F Sviluppo, costruzione e utilizzo di infrastrutture ed aree residenziali, commerciali, industriali e per il tempo libero	L Processi naturali (escluse le catastrofi e i processi indotti da attività umane o cambiamenti climatici)
G Estrazione e coltivazione di risorse biologiche viventi (diverse dall'agricoltura e dalla silvicoltura)	N Cambiamenti climatici

Figura 3-59: Categorie di pressioni e minacce che agiscono sugli habitat (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

TABELLE DI RIEPILOGO

Legenda	
Presenza	Tipo di presenza all'interno della regione biogeografica: PRE = presente DCC = occasionale MAR = marginale
Overall assessment	Stato di conservazione complessivo: FV favorevole U1 inadeguato U2 cattivo XX sconosciuto nv non valutato
Cambiamenti	Confronto tra stato di conservazione nel III e IV Report: ↘ deterioramento ↗ miglioramento → stabile (invariato) >> aumento delle conoscenze nv non valutabile

Tabella 3-6: Confronto III – IV Report specie marine (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

Allegato	III REPORT (2007-2012)				IV REPORT (2013-2018)				CAMBIAMENTI
	Codice	Specie	Presenza	Overall assessment	Codice	Specie	Presenza	Overall assessment	
MAMMIFERI									
IV	1345	Megaptera novaeangliae	OCC	XX	1345	Megaptera novaeangliae	OCC	nv	
II/IV	1349	Tursiops truncatus	PRE	XX	1349	Tursiops truncatus	PRE	FV	>>
IV	1350	Delphinus delphis	PRE	XX	1350	Delphinus delphis	PRE	XX	nv
II*/IV	1366	Monachus monachus	PRE	U1	1366	Monachus monachus	PRE	U1	→
IV	2027	Orcinus orca	OCC	XX	2027	Orcinus orca	OCC	nv	
IV	2028	Pseudorca crassidens	OCC	XX	2028	Pseudorca crassidens	OCC	nv	
IV	2029	Globicephala melas	PRE	XX	2029	Globicephala melas	PRE	XX	nv
IV	2030	Grampus griseus	PRE	XX	2030	Grampus griseus	PRE	XX	nv
IV	2033	Steno bredanensis	OCC	XX	2033	Steno bredanensis	MAR	nv	
IV	2034	Stenella coeruleoalba	PRE	XX	2034	Stenella coeruleoalba	PRE	FV	>>
IV	2035	Ziphius cavirostris	PRE	XX	2035	Ziphius cavirostris	PRE	XX	nv
IV	2618	Balaenoptera acutorostrata	OCC	XX	2618	Balaenoptera acutorostrata	OCC	nv	
IV	2621	Balaenoptera physalus	PRE	XX	2621	Balaenoptera physalus	PRE	FV	>>
IV	5031	Physeter macrocephalus	PRE	XX	2624	Physeter macrocephalus	PRE	XX	nv
RETTILI									
II*/IV	1224	Caretta caretta	PRE	U1	1224	Caretta caretta	PRE	U1	→
II*/IV	1227	Chelonia mydas	OCC	XX	1227	Chelonia mydas	MAR	nv	
IV	1223	Demochelys coriacea	OCC	nv	1223	Demochelys coriacea	MAR	nv	
IV	1225	Eretmochelys imbricata	OCC	nv	1225	Eretmochelys imbricata	OCC	nv	
IV	1226	Lepidochelys kempi	OCC	nv	1226	Lepidochelys kempi	OCC	nv	
INVERTEBRATI									
V	1001	Corallium rubrum	PRE	FV	1001	Corallium rubrum	PRE	FV	→
IV	1008	Centrostephanus longispinus	PRE	FV	1008	Centrostephanus longispinus	PRE	FV	→
IV	1012	Patella ferruginea	PRE	U1	1012	Patella ferruginea	PRE	FV	⚠
IV	1027	Lithophaga lithophaga	PRE	U1	1027	Lithophaga lithophaga	PRE	FV	⚠
IV	1028	Pinna nobilis	PRE	U1	1028	Pinna nobilis	PRE	U1	⚠
V	1090	Scyllarides latus	PRE	U1	1090	Scyllarides latus	PRE	U1	→
ALGHE									
					1376	Lithothamnion corallicoides	PRE	XX	nv
					1377	Phymathothlon calcorum	PRE	XX	nv

* Specie prioritarie

Tabella 3-7: Confronto III – IV Report habitat marini (ISPRA, Serie Rapporti 349/2021)

Codice	Habitat	III REPORT (2007-2012)		IV REPORT (2013-2018)		CAMBIAMENTI
		Presenza	Overall assessment	Presenza	Overall assessment	
HABITAT COSTIERI E VEGETAZIONE ALGHE						
1110	Banchi di sabbia a debole copertura	PRE	U1	PRE	XX	nv
1120	Praterie di posidonie (Posidonion oceanicae)	PRE	U1	PRE	FV	⚠
1130	Estuari	PRE	XX	PRE	FV	>>
1140	Distese fangose o sabbiose emergenti durante la bassa marea	PRE	XX	PRE	XX	nv
1160	Grandi cale e baie poco profonde	PRE	U1	PRE	FV	⚠
1170	Scogliere	PRE	FV	PRE	FV	→
1180	Strutture sottomarine causate da emissioni di gas	PRE	XX	PRE	XX	nv
HABITAT ROCCIOSI E GROTTE						
8130	Grotte marine sommerse o semisommerse	PRE	FV	PRE	FV	→

3.3.8.4 Aree marine protette

Le aree protette hanno lo scopo di garantire e promuovere la conservazione e la valorizzazione del patrimonio naturale attraverso la tutela della biodiversità e l'applicazione di esperienze di gestione sostenibile delle attività umane.

In Italia la superficie terrestre protetta è costantemente aumentata a partire dalla metà degli anni '70 e, ad oggi, supera i 3 milioni di ettari, pari a circa il 10,5% della superficie nazionale, a cui vanno aggiunte le aree tutelate nell'ambito della Rete Natura 2000. Ci sono, complessivamente, 843 aree protette terrestri (e terrestri con parte a mare) di cui: 25 parchi nazionali, 148 riserve naturali statali, 134 parchi naturali regionali, 365 riserve naturali regionali e 171 altre aree protette di diverse classificazioni e denominazioni.

In mare sono presenti diverse tipologie di aree protette:

- ben 281 siti afferenti alla Rete europea Natura 2000 (N2k) che interessano una superficie complessiva di 9047,13 kmq;
- 31 aree marine protette nazionali (AMP) che, considerando anche le estensioni a mare dei Parchi Nazionali (Arcipelago Toscano e Arcipelago di La Maddalena) e alcune altre aree regionali, interessano complessivamente ulteriori 3076,14 kmq;
- il Santuario Pelagos per i mammiferi marini;

alle quali si affiancano altre misure di tutela quale, ad esempio, quelle previste dalle disposizioni in materia di ricerca ed estrazione degli idrocarburi (D.L. Prestigiacomo (22/06/2012 n° 83 e il nuovo D.L. 18/11/2022, n. 176). Sulla base di tutti questi elementi (non considerando quindi il nuovo D.L. 18/11/2022, n. 176), nel 2019 l'Italia, nel suo rapporto alla CBD (*Convention on Biological Diversity*), ha dichiarato di proteggere il 19,1% delle sue superfici marine.

Le aree marine protette (AMP), il cui obiettivo è di conservare la biodiversità marina e di garantire l'uso sostenibile in zone di importanza ecologica, scientifica e culturale, sono lo strumento che consente la tutela su base spaziale, delle specie e degli habitat marini maggiormente vulnerabili. Le AMP italiane sono organizzate sulla base di una zonazione con diversi livelli di protezione (Zone di Riserva parziale, generale ed integrale). Le AMP permettono la ricostituzione dei popolamenti ittici nelle loro acque, favoriscono il ripopolamento dei tratti di mare vicini, riducono le conflittualità tra attività potenzialmente in competizione per gli stessi spazi, come pesca professionale e subacquea ricreativa, costituendo una straordinaria opportunità per i cittadini di conoscere e apprezzare la biodiversità marina.

Nonostante il ruolo cruciale svolto negli ultimi decenni dalle aree protette, gli attuali tassi di perdita di biodiversità impongono l'ampliamento della rete di zone tutelate e la realizzazione di ulteriori e coraggiose azioni di conservazione. In Europa, infatti, i nuovi obiettivi strategici per il 2030 prevedono che si migliori e si estenda la rete di aree protette, arrivando a tutelare almeno il 30 % della superficie terrestre dell'UE e il 30 % dei suoi mari e che almeno un terzo di tali zone, sia a mare che a terra, sia rigorosamente protetto. Spetta quindi all'Italia e agli altri Stati membri, designare nuove zone protette e attuare misure di conservazione efficaci; a questo proposito, per quanto riguarda i mari italiani, è già prevista per legge l'istituzione di ulteriori 23 nuove AMP (Figura 3-60). Tuttavia, la dichiarazione della Zona Economica Esclusiva avviata dall'Italia nel 2021, che implica una notevole aumento delle superfici marine afferenti al nostro paese, richiederà un ulteriore importante impegno per raggiungere gli obiettivi della Strategia Europea al 2030.



Figura 3-60: Aree marine protette istituite e aree di reperimento (previste dalla normativa nazionale ma non ancora istituite).

Per rafforzare il sistema delle aree protette italiane e la loro efficacia gestionale, è dunque necessario ampliarne l'estensione, ma anche dare impulso alle procedure di sviluppo e applicazione dei loro strumenti di gestione. È necessario, inoltre, agire sulle politiche di settore (agricoltura e pesca in primis), puntando ad arrestare il consumo di suolo, la perdita di biodiversità e a ridurre impatti quali l'inquinamento e la diffusione delle specie aliene.

Inoltre, oggi, si ritiene che le aree marine protette siano uno strumento importante per la mitigazione dei cambiamenti climatici e l'adattamento dei sistemi socio-ecologici. La conservazione dell'ambiente marino può, infatti, migliorare significativamente il sequestro del carbonio, la protezione delle coste, la biodiversità e la capacità riproduttiva degli organismi marini. La maggior parte di questi benefici si ottiene solo nelle aree completamente o altamente protette e aumenta con l'anzianità delle AMP che costituiscono, quindi, una soluzione efficace per la mitigazione e l'adattamento al cambiamento climatico delle componenti interconnesse dei sistemi socio-ecologici (Jacquemont et al., 2022). Oltre a ciò, le aree marine protette sono le prime realtà a risentire negativamente dei cambiamenti climatici.

Diverse AMP del Mediterraneo stanno già registrando importanti alterazioni funzionali e della biodiversità a causa dei cambiamenti climatici, mentre altre probabilmente le affronteranno nei prossimi decenni. È,

quindi, urgente mitigare questi rischi e considerare le opzioni di adattamento in collaborazione con le comunità locali, i decisori politici, le organizzazioni della società civile, gli enti di ricerca e altri attori socio-economici a livello locale, nazionale e regionale (Garrabou et al., 2018). A questo proposito, nel corso del progetto internazionale “MPA-ADAPT, Interreg Med Programme” sono stati sviluppati una serie di protocolli standard utili a tracciare gli impatti legati al clima nelle Aree Marine Protette (AMP) del Mediterraneo e non solo. I principi guida e l'architettura di questi strumenti rispondono ai requisiti dell'Approccio Ecosistemico intrapreso dalla Convenzione UNEP/MAP di Barcellona, con l'obiettivo finale di raggiungere il Buono Stato Ambientale (GES) del Mare e delle Coste del Mediterraneo. Questi strumenti si ispirano al concetto di “Variabili Climatiche Essenziali” e in questa fase si concentrano su un insieme ristretto di semplici misurazioni per cogliere dimensioni maggiori del cambiamento ambientale. Gli indicatori sono stati scelti in base alla loro rilevanza scientifica, alla fattibilità e all'efficacia dei costi. Il coinvolgimento degli stakeholder locali è un altro ingrediente chiave di alcune di queste metodologie. L'adozione da parte delle AMP di questi protocolli consente alle realtà partecipanti di aderire a una strategia comune e consolidata per monitorare gli effetti del cambiamento climatico. Le AMP del Mediterraneo, infatti, essendo realtà che opereranno a lungo termine, possono svolgere un ruolo primario nel fornire un sistema di osservazione sistematico e armonizzato. I risultati che ne deriveranno forniranno informazioni fondamentali per sostenere strategie di mitigazione e piani di adattamento efficaci.

3.3.8.5 Vulnerabilità degli ecosistemi marini e costieri

Come già descritto, la temperatura del mare si va innalzando. Sono numerosi e profondi i cambiamenti che questo fenomeno genera nelle caratteristiche ambientali dei bacini e nella struttura e funzionamento degli ecosistemi marini. Fenomeni quali la stratificazione della colonna d'acqua, il cambiamento delle correnti e l'alterazione dei cicli bio-geochimici inducono ricadute dirette su tutti i livelli dell'organizzazione ecologica tanto che si osservano cambiamenti nei singoli individui, nelle popolazioni, nelle comunità oltre che nella struttura e funzionamento degli ecosistemi (McCarty 2001). A livello di popolazione le alterazioni possono riguardare un ampliamento o una riduzione dei periodi di presenza (specie stagionali) o una variazione di attività/dormienza nelle specie perenni; anche la distribuzione geografica può subire cambiamenti dal momento che le specie ricercano sempre condizioni termiche di confort. A livello di comunità può verificarsi variazione nella struttura, con specie che riducono o aumentano la propria presenza a seconda di una maggiore o minore affinità con le condizioni termiche. Nel medio e lungo periodo tale fenomeno può portare alla scomparsa di specie endemiche e l'ingresso di specie aliene che segna un cambiamento profondo degli ecosistemi marini.

Parallelamente all'aumento della temperatura delle acque, l'aumento della temperatura atmosferica induce anche un aumento in frequenza ed intensità degli eventi estremi, quali ondate di calore marine, tempeste, precipitazioni intense, che hanno indubbe ripercussioni sull'ambiente fisico marino e marino-costiero.

Le ondate di calore marine¹⁷ consistono nel superamento delle temperature delle acque di una soglia estrema protratto per più di cinque giorni consecutivi; pertanto, dal punto di vista delle temperature, sono esse stesse in grado di determinare consistenti impatti, andando ad interferire con i limiti di tolleranza fisiologica di una specie (Portner and Peck 2010). L'incremento della frequenza ed intensità delle mareggiate, con conseguenti allagamenti ed erosione dei territori costieri potrebbe determinare, come precedentemente descritto, una sottrazione di spazi agli ecosistemi costieri, oltre ad un incremento degli impatti meccanici sugli ecosistemi esposti (bassi fondali, zone intertidali, ecc). L'aumento degli episodi di precipitazioni intense può comportare sbilanciamenti negli apporti solidi, chimici e biochimici del reticolo idrografico, soprattutto nelle aree

¹⁷ <https://www.cmcc.it/it/articolo/ondate-di-calore-nel-mediterraneo-osservazioni-e-previsioni>

costiere. Lo squilibrio termoalino complessivo associato potrebbe determinare inoltre perturbazioni nel funzionamento dei c.d. “motori freddi” (si veda più avanti).

L'acidificazione delle acque marine va ad incidere profondamente sulla struttura e sul funzionamento degli ecosistemi marini. L'abbassamento del pH ambientale agisce con effetti diretti sul metabolismo e sulla capacità degli organismi di usare l'energia per accrescimento e riproduzione (Jager, 2012). Esso può interferire con la chimica dei carbonati, strettamente interrelata col pH, e dunque sulla formazione delle strutture carbonatiche sia in organismi planctonici, sia in un'ampia gamma di organismi bentonici; inoltre, secondo alcuni Autori, potrebbe innescare un processo di dissoluzione della protezione carbonatica se il pH dovesse scendere al di sotto di 7.5 (Gazeau et al., 2007; Kuffner et al., 2008; Woods 2008), alterando le dinamiche biogeochimiche (Passow, 2004). Gli studi condotti fino ad oggi hanno rivelato un'ampia diversità intraspecifica nella risposta all'acidificazione, altre ricerche mostrano una risposta evolutiva nelle specie, che porta all'adattamento a condizioni di CO₂ elevate anche nel giro di poche centinaia di generazioni (Lohbeck et al. 2012).

Il riscaldamento complessivo comporta inoltre una diminuzione del contenuto di O₂ disciolto. Le acque si arricchiscono di ossigeno in superficie, grazie ai diretti scambi con l'atmosfera, e alle attività fotosintetiche che, come noto, sono possibili solo nella zona eufotica, ossia lo strato più superficiale in cui le condizioni di luce permettono la fotosintesi. Le acque superficiali, ricche di ossigeno, successivamente si raffreddano, aumentando di densità, e si approfondiscono, provocando a loro volta la risalita di acque più profonde, con il loro contenuto di nutrienti (c.d. “motori freddi”). I motori freddi dunque sono essenziali per garantire un'adeguata ossigenazione alle masse acquee più profonde. Gli inverni più caldi, causati dai Cambiamenti Climatici, potrebbero non garantire il necessario raffreddamento delle acque superficiali e dunque pregiudicare il funzionamento dei motori freddi. Lo stesso dicasi a proposito delle precipitazioni molto intense, come già accennato in precedenza. Gli scenari più drammatici prefigurano una forte riduzione degli apporti di ossigeno in profondità al di sotto dei 500 m, con estese zone d'ipossia (Boero et al., 2008, Boero, 2014). La carenza di ossigeno, o la riduzione della sua solubilità, possono avere conseguenze di carattere biogeochimico importanti, con interferenze dirette sui cicli del carbonio, azoto e altri importanti elementi. Le conseguenze di tutto ciò sono necessariamente specie-specifiche, dipendendo dalle particolari necessità fisiologiche della specie stessa e dalle concentrazioni di ossigeno alle quali attualmente essa è adattata.

L'innalzamento del livello del mare avrà le sue conseguenze sulla biodiversità in particolare nelle zone costiere: molti ecosistemi, il cui funzionamento è strettamente associato alla linea di costa e alle sue dinamiche, avranno necessità di adattarsi a queste variazioni, in taluni casi andando ad occupare nuove aree, se disponibili (si pensi ad es. agli apparati dunari). Le ricadute complessive sono difficilmente definibili, potendo andare, ad es., da cambiamenti nelle strutture delle comunità all'estinzione di singole specie.

Eventi di mortalità di massa

Come detto, i cambiamenti climatici stanno causando un aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore in mare (*marine heat waves* - MHWs); tali fenomeni originano a loro volta eventi di mortalità di massa (*mass mortality events* MMEs) degli organismi marini.

Negli ultimi 20 anni, le MHW sono globalmente raddoppiate in frequenza e sono diventate più durature, più intense e più estese (Collins et al., 2019) aumentando gli eventi di mortalità di massa (MME) in tutto il mondo (Garrabou et al., 2009; Hughes et al., 2017; Thomson et al., 2015; Wernberg et al., 2016) così come in Mar Mediterraneo (Cramer et al., 2018; Marbà et al., 2015; Rivetti et al., 2014). Per quanto riguarda il Mar Mediterraneo, gli eventi più drammatici in termini di estensione geografica e numero di specie colpite si sono verificati nel 1999 e nel 2003 nella parte nord-occidentale (Cerrano et al., 2000; Garrabou et al., 2009; Perez

et al., 2000) colpendo più di 40 specie di taxa diversi (per esempio, Porifera, Cnidaria, Bivalvia, Bryozoa, Ascidiacea), lungo migliaia di chilometri di costa. La maggior parte degli studi sulle MMEs in Mediterraneo si sono concentrati sulle specie che formano habitat come, ad esempio, le gorgonie e le alghe (Chimienti et al., 2021; Garrabou et al., 2019; Verdura et al., 2021) e, nelle popolazioni studiate, alcune specie hanno mostrato tassi di mortalità fino all'80% (Cerrano, 2000; Garrabou et al., 2009) con conseguenze importanti per la struttura ed il funzionamento degli ecosistemi bentonici (Gómez-Gras et al., 2021; Verdura et al., 2019).

Uno studio recente (Garrabou et al., 2022) ha evidenziato che anche il Mar Mediterraneo sta sperimentando un'accelerazione degli impatti ecologici dovuti alle MHWs: una minaccia senza precedenti per la salute ed il funzionamento dei suoi ecosistemi. Ogni località del Mar Mediterraneo ha, infatti, registrato un notevole aumento delle temperature medie annuali negli ultimi decenni e, nell'intero bacino del Mediterraneo, il periodo 2015-2019 è stato quello più caldo. Non tutti i taxa e i phyla sono stati, però, ugualmente colpiti dagli eventi di MMEs che si sono verificati in quegli anni. Tra questi gli cnidari sono stati molto più colpiti rispetto agli altri gruppi, con 14 taxa colpiti e con oltre il 54% delle MMEs complessivamente registrate. Dopo gli Cnidari, i Briozoi (8 taxa e il 10,6% delle MMEs registrate) sono stati il secondo gruppo tassonomico più colpito, seguiti dalle alghe Rhodophyta (3 taxa e 8,3% MMEs registrate).

Da questo studio risulta che tutti i principali habitat costieri del Mediterraneo sono stati colpiti da MMEs e che la maggior parte di queste è stata associata a substrati duri, con 44 taxa colpiti, registrando l'88% di eventi di MMEs; anche le fanerogame (6 taxa e il 10% dei record di MME) e i substrati mobili (6 taxa e il 2% dei record di MMEs) sono stati gravemente colpiti (6 taxa e 2% delle MMEs registrate). In particolare, la maggior parte delle MMEs associate a substrati duri si sono verificate in zone poco profonde (0-25 m di profondità; 69%) e hanno coinvolto specie animali del coralligeno (49%), una delle comunità a più elevata biodiversità del Mediterraneo (Ballesteros, 2006). Tra gli habitat citati, quello a coralligeno è di interesse comunitario e la sua conservazione rientra nella Direttiva Habitat 92/43/CE Allegato I (codice Habitat: 1170 Scogliere/Reef). Esso, inoltre, è oggetto di monitoraggio da parte dei programmi della Strategia Marina (Art. 11, D.Lgs. 190/2010). Per quanto riguarda le specie, il corallo rosso, *Corallium rubrum* (Linnaeus, 1758), parte integrante dell'habitat a coralligeno, è anch'esso oggetto di protezione da parte della Direttiva Habitat 92/43/CE Allegato V.

Una gamma simile di habitat impattati è stata segnalata anche durante le MMEs del 1999 e del 2003 (Garrabou et al., 2019), mentre i rapporti sulle MMEs legate al clima provenienti da altre regioni oceaniche (temperate e tropicali) di solito coinvolgono solo uno o due grandi tipi di habitat (ad esempio, barriere coralline, foreste di alghe e/o fanerogame) (Smith et al., 2021).

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., 2004; Bianchi et al., 2014; Harvey et al., 2022; Loya et al., 2001; Moulllec et al., 2019).

Questo potrebbe essere il caso, ad esempio, delle gorgonie mediterranee (ad esempio, *P. clavata*, *Corallium rubrum*, *Eunicella cavolini* ed *Eunicella singularis*) che sono risultate essere tra gli organismi più colpiti nello studio di Garrabou et al. (2022), comprendendo circa il 30% delle MMEs osservate. Queste gorgonie, che dominano comunità diverse e abbondanti del coralligeno, sono considerate funzionalmente uniche nel Mar Mediterraneo, in quanto, con le loro strutture arborescenti, creano habitat tridimensionali, altamente complessi dal punto di vista strutturale, necessari per la prosperità di molte altre specie associate (Gómez-Gras et al., 2021; Ponti et al., 2014, 2018; Verdura et al., 2019). Questo risultato suggerisce che le gorgonie mediterranee, probabilmente, subiranno un ulteriore declino nell'intervallo superiore della loro distribuzione

batimetrica con l'avanzare dei cambiamenti climatici, che potrebbe avere conseguenze significative sul funzionamento degli ecosistemi bentonici mediterranei (Gómez-Gras et al., 2021) e, di conseguenza, sulla fornitura di servizi associati alle società umane poiché studi recenti hanno dimostrato che le risposte ecologiche alle MHWs possono avere implicazioni socioeconomiche, come, ad esempio, 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., 2021).

La gravità delle MMEs, suddivisa in tre classi (severa ($> 60\%$), moderata ($\geq 30\% < 60\%$), bassa ($\leq 10\% < 30\%$)) ha mostrato un gradiente geografico, risultando più alta nelle ecoregioni orientali (Levantino, Egeo, e altopiano tunisino), con più del 90% di eventi di mortalità registrati corrispondenti, quindi, ad un impatto grave e più bassa nel Mare di Alboran, dove più del 50% degli eventi di mortalità registrati corrisponde ad un impatto basso. Le ecoregioni occidentali e centrali hanno mostrato, invece, percentuali simili (33%) nelle tre classi di gravità.

Le conclusioni a cui sono giunti gli autori sono:

- a) il Mar Mediterraneo sta sperimentando un'accelerazione degli impatti dovuti ai cambiamenti climatici, ma le implicazioni per i sistemi socio-ecologici sono poco conosciute
- b) le gorgonie mediterranee (ad esempio, *P. clavata*, *Corallium rubrum*, *Eunicella cavolinii* ed *Eunicella singularis*), specie tipiche dell'habitat a coralligeno, sono tra gli organismi più colpiti.

Infine, i risultati ottenuti, hanno messo in evidenza che, insieme ai due eventi consecutivi di sbiancamento osservati anche nella Grande Barriera Corallina (Cheung et al., 2021; Hughes et al., 2021), i focolai di mortalità di massa su larga scala avvenuti in Mar Mediterraneo potrebbero essere non più, purtroppo, un'eccezione, ma la nuova normalità.

Gli impatti sui servizi ecosistemici sostenuti dalla biodiversità

È possibile descrivere gli impatti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità ricorrendo all'approccio relativo alla fornitura di beni e servizi ecosistemici da essa sostenuti. Questa chiave è particolarmente significativa nella zona costiera, dove sono più strette e sensibili le interazioni tra la componente naturale e quella antropica.

Servizi ecosistemici di supporto e fornitura¹⁸

I servizi ecosistemici di supporto sono alla base di qualunque altra forma di bene e servizio che un ecosistema possa fornire, poiché essi sono, appunto, il supporto alla riproduzione e all'alimentazione. Nell'ambito marino, questa tipologia di servizio è fondamentalmente rappresentata dalla presenza, il mantenimento e l'equilibrio di stock di sostanze nutritive nei mari (ossia, il ciclo dei nutrienti) e dalla produzione primaria.

L'efficienza del ciclo dei nutrienti dipende essenzialmente dagli apporti di origine continentale e dalle caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente costiero. Il primo aspetto potrebbe subire variazioni in funzione di modifiche delle dinamiche socio-economiche (p.e. aumento della popolazione e relative attività agricole e industriali) o climatiche (variazioni nelle precipitazioni e dunque nei recapiti fluviali al mare). Per quanto riguarda il secondo aspetto, i cambiamenti climatici inducono un'alterazione delle caratteristiche fisiche dei mari: in particolare, il riscaldamento e la variazione nella stratificazione termica delle masse di acqua,

¹⁸ La classificazione cui si fa riferimento è quella del "Millenium Ecosystem Assessment", MEA (2005) Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington

possono generare fenomeni di eutrofizzazione o aree anossiche e modificare la presenza e disponibilità dei nutrienti di base con ricadute sui livelli trofici superiori.

Un secondo servizio di supporto fondamentale è rappresentato dalla produzione primaria, che è alla base dello sviluppo di forme di vita più complesse. Ogni alterazione (qualitativa e/o quantitativa) del processo di produzione primaria comporta inesorabilmente variazioni significative anche in altri servizi. I processi di riscaldamento globale impattanti sulle aree marine (ad es. aumento di temperatura e variazione nelle caratteristiche spazio-temporali della stratificazione verticale del mare) avrebbero significative conseguenze sulla dinamica spaziale e temporale dei processi di produzione primaria. Anche in questo caso, come per il ciclo dei nutrienti, sono ipotizzabili sinergie tra gli impatti dei cambiamenti climatici e quelli antropici: le aree marino-costiere, le più produttive dal punto di vista della produzione primaria, sono anche quelle più esposte agli impatti delle attività antropiche.

I servizi ecosistemici di fornitura rappresentano i beni veri e propri che gli ecosistemi possono garantire, in particolare cibo (attraverso pesca e acquacoltura). Essi risultano direttamente connessi al servizio di supporto della produzione primaria e quindi risentono di alterazioni di questa funzione. Inoltre, la letteratura (p.e., Roessig et al., 2004) descrive anche possibili effetti sulla distribuzione delle popolazioni derivanti direttamente da alterazioni del contesto fisico delle acque come variazioni della temperatura, della concentrazione di ossigeno e del pH, così come (p.e., MacNeil et al., 2010) viene suggerita la possibilità della scomparsa di specie commercialmente importanti e variazioni qualitative e quantitative nella struttura delle popolazioni ittiche causate dalle ingressioni in acque temperate di specie maggiormente adattate ad alte temperature. Contemporaneamente si potranno evidenziare alterazioni dovute alle aumentate concentrazioni di anidride carbonica (CO₂) disciolta nell'oceano (Orr et al., 2005); principalmente tutti gli organismi marini caratterizzati da strutture di supporto e difesa costituite da elementi calcarei risulteranno particolarmente a rischio. Gli impatti sui servizi di fornitura legati all'acidificazione dei mari risulteranno amplificati nelle acque marino-costiere per l'apporto di acque fluviali maggiormente acide dell'acqua di mare, o l'ossidazione di sostanza organica di origine continentale (Hofmann et al., 2010).

Gli effetti descritti potranno incidere in modo anche profondo nella composizione e distribuzione delle popolazioni ittiche e degli organismi con strutture calcaree e dunque sulle attività socio-economiche da questi dipendenti. Ad oggi una valutazione quantitativa dell'ampiezza di questi processi di cambiamento è ancora incerta; tuttavia, la direzione del cambiamento appare abbastanza chiara: le variazioni nella distribuzione e nella disponibilità delle risorse ittiche marine e, in particolare, marino-costiere determineranno impatti di natura economica e sociale.

Servizi di regolazione

Clima

Le masse acquee oceaniche svolgono un'importante azione di regolazione climatica attraverso l'assorbimento, il rilascio e la redistribuzione del calore e dei gas atmosferici, svolgendo al contempo un ruolo di modulazione nei confronti delle modifiche climatiche indotte dall'uomo. La porzione costiera di questo sistema, caratterizzata da elevati livelli di produzione primaria, provvede a questa azione regolativa scambiando grandi quantitativi di CO₂ con l'atmosfera. Le zone costiere inoltre possono anche essere considerate come "fruitrici" dell'effetto di regolazione esercitato dall'oceano sul clima che ne delinea e definisce in maniera sostanziale i servizi cosiddetti "culturali".

Trattamento dei rifiuti

Le acque costiere effettuano un servizio di rimozione di sostanze inquinanti attraverso biorimediazione, sequestrando e riciclando composti inquinanti in una misura che dipende dalla struttura chimica, fisica ed ecologica degli ecosistemi e dal tipo di inquinanti. Al momento dell'immissione nell'ambiente marino la concentrazione d'inquinanti è ridotta da processi di diluizione, di trasporto avvevivo, di detossicazione (decomposizione microbica di inquinanti organici) e di sequestro (incorporazione nei sedimenti).

Regolazione dei rischi

Questo servizio si riferisce alla capacità di alcune strutture naturali di mitigare fenomeni quali, ad esempio, l'azione erosiva del mare o alcuni effetti dell'aumento del livello del mare (MEA 2005b; Beaumont et al. 2007). Un esempio in tal senso può essere rappresentato dalle dune: si tratta infatti di strutture che possono costituire una barriera morfologica alle inondazioni costiere, o fornire sabbia al litorale durante una crisi erosiva. Inoltre, come è noto, le falde di acqua dolce eventualmente presenti negli apparati dunari possono contrastare l'intrusione del cuneo salino.

Servizi culturali

Servizi estetici

Il valore estetico del paesaggio costiero è il risultato di un lungo processo durante il quale dinamiche naturali e socio-economiche si sono integrate fra loro. Il ruolo di tale servizio riveste grande importanza, anche in funzione della sua forte e diretta connessione con il servizio di tipo ricreativo e turistico.

Servizi Ricreativi e turistici

I servizi ricreativi e turistici dipendono fortemente dal valore estetico delle zone costiere e dalla qualità ambientale e salubrità delle acque. In questo caso la loro importanza può essere più facilmente quantificata, essendo il turismo una voce importante dell'economia nazionale. La qualità del servizio e il suo valore economico dipendono, oltre che dalla qualità del servizio estetico, anche dalla qualità di altri servizi, sia di supporto che di fornitura che complessivamente determinano la fruibilità delle zone costiere. Entrambi questi servizi "culturali" sono sensibili ai cambiamenti climatici, poiché la perdita di valore estetico e/o di fruibilità (e il conseguente danno economico) può essere determinato sia da alterazioni ambientali che da azioni di adattamento (sostituzione artificiale di servizi ecosistemici naturali).

Indicatori

Il monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici e della relativa pianificazione sulla biodiversità nel suo insieme non è semplice: si tratta di sistemi complessi estremamente articolati. Quanto si rinviene in letteratura si riferisce solitamente al monitoraggio di specie o di singoli ecosistemi. Inoltre, risulta molto complicato riuscire a differenziare, nell'evoluzione di un determinato fenomeno rappresentato da un certo indicatore, quanto sia ascrivibile al cambiamento climatico s.s. rispetto, ad es., alle variate pressioni antropiche.

Vi sono varie direttive che interessano l'ambiente marino e marino-costiero e che per la loro attuazione hanno richiesto la definizione ed il conseguente monitoraggio di indicatori che si riferiscono alla biodiversità: ad esempio, la Direttiva Acque prevede la valutazione dell'indice PREI, finalizzato a definire lo stato di salute della prateria di *Posidonia oceanica*, a sua volta necessario per definire la qualità dei corpi idrici marino-costieri; la Direttiva Strategia Marina, la cui attuazione prevede l'elaborazione, tra gli altri, del Descrittore 1 – Biodiversità, a sua volta articolato in criteri e indicatori. Altri indicatori sono concepiti nell'ambito della

Strategia Nazionale per la Biodiversità al 2030. Alcuni degli indicatori riferiti alle Direttive sono poi finalizzati a valutare gli esiti delle azioni e delle misure previste nell'ambito delle direttive citate. Tutti questi possibili indicatori vanno analizzati ed eventualmente utilizzati avendo ben chiare le finalità e gli ambiti nei quali gli stessi sono stati concepiti, e dunque eventualmente adattati al contesto del PNACC.

3.3.8.6 Qualità delle acque di balneazione

L'utilizzo ricreativo delle acque in aree costiere e interne è ampiamente diffuso a livello globale e rappresenta una importante risorsa economica, soprattutto per i Paesi a vocazione turistica come l'Italia. Le attività ricreative includono numerose discipline e attività (es. nuoto, surfing, wakeboard, sci d'acqua, canottaggio, attività subacquee) con l'acqua e questo ha benefici significativi per la salute e il benessere della persona. Per tali ragioni è necessario mantenere bassi livelli di fattori di contaminazione e di pericolo che potrebbero essere dannosi per la salute pubblica. Nelle linee guida dell'OMS (WHO, 2003) si riporta una disamina completa di tutti i pericoli correlati con l'attività balneare: l'annegamento, gli sbalzi di temperatura, la contaminazione fecale, gli organismi patogeni presenti nell'ambiente, alghe potenzialmente tossiche, materiali in sospensione, agenti chimico, fisici e organismi acquatici pericolosi. Tutti questi fattori si configurano all'interno di diversi scenari di esposizione, che possono anche variare secondo la tipologia di sito, le condizioni ambientali e climatiche transienti, la natura e la durata dell'esposizione degli utilizzatori, determinando differenti livelli di rischio.

L'Unione Europea ha adottato, nel corso degli anni, una serie di normative per la tutela e la gestione delle acque, a protezione della salute umana e delle risorse idriche. In particolare, la prima Direttiva sulle acque di balneazione (76/160/CEE) e a seguire la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), che ha introdotto un approccio più olistico alla gestione delle risorse idriche, basata sugli ecosistemi, per garantire che l'uso umano dell'acqua sia compatibile con le esigenze dell'ambiente. Questa direttiva si concentra sulle molteplici relazioni tra le diverse cause di inquinamento e i loro vari impatti sull'acqua in un bacino idrografico, fornendo le basi per una legislazione di settore più mirata.

In linea con queste finalità è stata emanata una nuova direttiva, Direttiva 2006/7/CE, per la gestione delle acque di balneazione. La Direttiva 2006/7/CE ha la finalità di proteggere la salute umana da eventuali pericoli derivanti dalla scarsa qualità delle acque di balneazione, raccomandando un approccio integrato basato da un lato sull'attività di monitoraggio (indicatori di contaminazione fecale) e dall'altro da un'analisi e valutazione dello stato dell'ambiente circostante: il profilo dell'acqua di balneazione.

Questo va inteso come un vero e proprio strumento di supporto per un'efficace gestione delle acque di balneazione, perché contiene informazioni, a scala di bacino idrografico, sulle principali attività antropiche (fonti di contaminazione) presenti nel territorio e sulla loro incidenza sulla qualità delle acque, in termini di natura, estensione e durata.

Il profilo delle acque di balneazione è anche ispirato ai *Water Safety Plans*, definiti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per la tutela delle acque potabili e prossimamente adottati anche per le acque di balneazione.

I *Water Safety Plans* rappresentano un'analisi di rischio integrata, multisetoriale e multidisciplinare secondo criteri di prevenzione, in una visione One Health, che tenga conto anche del cambiamento climatico.

L'impatto dei cambiamenti climatici nella qualità delle acque di balneazione

Il cambiamento climatico sta colpendo in modo sostanziale l'Europa: eventi estremi come ondate di calore, forti piogge e siccità sono in aumento in molte regioni d'Europa. Questi cambiamenti del clima comporteranno sfide per la gestione delle acque di balneazione. Per prevenire o ridurre al minimo i danni alle infrastrutture, alle spiagge e agli insediamenti bisognerà tenere conto dell'aumento del rischio di inondazioni e di forti temporali.

Tali eventi atmosferici sono causa di una particolare forma di inquinamento definita dalla direttiva acque di balneazione "inquinamento di breve durata": è una forma di inquinamento microbiologico che ha un impatto sulla qualità dell'acqua limitato a 72 ore massimo ma che nello stesso tempo può recapitare nei corpi idrici anche una grande quantità di altri contaminanti come i rifiuti e sostanze chimiche di diversa origine.

Negli ultimi anni in tutta Europa sono stati segnalati più di 3 000 eventi di inquinamento di breve durata, tale numero è destinato ad aumentare; pertanto, gli Stati Membri dovranno cominciare a pensare a efficaci misure di gestione al fine di ridurre tutti i rischi che questa forma di inquinamento comporta.

Pertanto, l'OMS ha emanato specifiche linee guida "*Guidelines On Recreational Water Quality Volume 1 Coastal and Fresh Waters*" (WHO, 2021)", che richiamano l'attenzione sia sul rischio microbiologico, derivante da nuovi patogeni, sia sui rischi dovuti da agenti chimici e tossine algali presenti in colonna d'acqua ma anche nei sedimenti.

Le principali pressioni per la qualità delle acque di balneazione sono i sistemi di trattamento delle acque reflue e l'uso del suolo adiacente l'acqua di balneazione.

In particolare, il loro impatto diventa maggiormente significativo in occasione di eventi meteo estremi, che modificando l'intensità, la frequenza e la durata delle precipitazioni, possono influenzare di conseguenza la portata degli scarichi, dei fiumi e dilavare i suoli. Inoltre, la crescente urbanizzazione determina una maggiore impermeabilizzazione delle superfici del terreno che potrebbe aggravare il problema e comportare ancora più deflussi e un maggiore rischio di tracimazioni d'acqua di origine meteorica o reflui non depurati. Questo comporta un'introduzione nell'ambiente acquatico di sostanze contaminanti di natura sia chimica sia biologica che potrebbero essere pericolose. Il destino di tali sostanze può dipendere dalla natura del contaminante e dalle condizioni ambientali sito specifiche, ad esempio molte sostanze potrebbero legarsi ai sedimenti ed essere rimesse in sospensione in particolari condizioni.

Si prevede che il cambiamento climatico aumenterà la frequenza degli eventi meteorologici gravi (ad esempio precipitazioni estreme, inondazioni, uragani, siccità) e causerà l'innalzamento del livello del mare. Queste condizioni possono danneggiare le infrastrutture fognarie e gli impianti di trattamento delle acque reflue, con conseguente bypass del trattamento.

Il comportamento dei contaminanti all'interno dei corpi idrici dipende molto dai flussi fluviali, dall'azione di onde e correnti, che possono concentrare o diluire le varie sostanze immesse nel corpo idrico. Ad esempio, i fiumi e i laghi di pianura essendo a flusso lento, possono essere più suscettibili alla contaminazione e fornire bassi livelli di diluizione o dispersione. Pertanto, corpi idrici soggetti a scarichi continui o intermittenti potrebbero accumulare sedimenti contaminati, che se erosi, ad esempio dall'azione delle onde, vengono dilavati con conseguente rilascio nell'acqua di numerose sostanze, tra cui i batteri.

Una volta introdotti, i microrganismi possono persistere e potenzialmente moltiplicarsi nell'area di balneazione in risposta a fattori ambientali, inclusa la disponibilità di umidità, luce solare e sostanze nutritive. In particolare, la temperatura influenza la sopravvivenza dei batteri nella sabbia: le concentrazioni possono aumentare in intervalli di temperatura da 4 a 44,5 °C (Byappanahalli *et al.*, 2003). Inoltre, la persistenza e la proliferazione di microrganismi nelle spiagge può essere facilitata dalla formazione di biofilm (Piggot *et al.*, 2012), dovuti a secrezioni batteriche. I biofilm creano microambienti che possono avvantaggiare i microrganismi fornendo accesso ai nutrienti e protezione da agenti chimici e biologici dannosi. Anche i fattori

fisici e geomorfologici sono molto importanti, infatti, le onde e i fenomeni di marea influiscono sulle concentrazioni di batteri, più alte nelle spiagge con onde a bassa energia (Gao, Falconer & Lin, 2015; Feng *et al.*, 2016). Pertanto, le spiagge chiuse generalmente accumulano più microrganismi nella sabbia rispetto alle spiagge affacciate direttamente sull'oceano.

Oltre ai batteri un altro fattore di rischio è rappresentato dalle fioriture algali potenzialmente nocive.

Quelle degli ambienti marino costieri sono illustrate nel paragrafo successivo.

Per quanto riguarda le acque di balneazione soprattutto lacustri, fioriture algali potenzialmente nocive molto ricorrenti sono quelle dei cianobatteri, noti anche come alghe blu-verdi, che possono essere nocivi sia per ingestione sia a livello cutaneo. Queste alghe proliferano quando le condizioni ambientali sono favorevoli: alte concentrazioni di nutrienti, la colonna d'acqua è molto stabile, le temperature e la luce sono favorevoli e le condizioni sono di calma e senza vento (Sanseverino, *et al.*, 2017). Negli ultimi anni, sia a causa di fenomeni di eutrofizzazione sia del cambiamento climatico, la loro diffusione negli ambienti acquatici è sempre più crescente. Ci sono, infatti, evidenze scientifiche di come, attraverso un'azione sinergica tra l'aumento dell'apporto di nutrienti, derivanti da attività antropiche perlopiù connesse all'uso del suolo, e la modificazione di alcune variabili climatiche, venga favorita l'espansione di alcune specie di cianobatteri capaci di meglio adattarsi alle mutate condizioni dell'ambiente acquatico (Kosten *et al.*, 2011). Pur non essendo attualmente possibile identificare un nesso causale definito tra cambiamenti climatici e insorgenza di fioriture, tuttavia ci sono evidenze convergenti delle relazioni intercorrenti tra i due fenomeni. Infatti, le possibili cause dei blooms possono essere di natura biotica ed abiotica, a seconda delle diverse specie all'interno della comunità, e sono generalmente sito specifiche, soprattutto in aree urbane densamente popolate. Le variazioni, in termini di intensità e frequenza, nelle precipitazioni (lunghi periodi di siccità seguiti da precipitazioni di breve durata ma molto intense), uniti alle caratteristiche idrologiche e all'uso del suolo, determinano dei cambiamenti dei parametri acquatici (temperatura, salinità, nutrienti, intensità luminosa) influenzando lo sviluppo dei cianobatteri (Shaw *et al.*, 2001). In alcuni casi, i processi di eutrofizzazione favoriscono lo sviluppo della loro biomassa rispetto alle altre specie fitoplanctoniche, a causa della loro maggiore affinità per alcuni nutrienti (Chorus e Bartram, 1999) e per la loro capacità di meglio regolare il livello di galleggiamento, potendo così sfruttare un più ampio range di risorse (luce, carbonio inorganico e nutrienti) (Paerl *et al.*, 2011; Wagner and Adrian, 2009).

Negli ultimi anni si stanno registrando fioriture anomale anche di nuove specie in alcuni laghi italiani e questo, nonostante sia un fenomeno ancora da indagare bene, lascia ipotizzare un forte contributo da parte del cambiamento climatico, in particolare l'aumento della temperatura.

Particolarmente importante è l'inquinamento chimico dovuto ai metalli pesanti, come il mercurio, che possono entrare nelle acque di balneazione o essere depositati sulle coste. Comprendere la probabilità, l'estensione e la frequenza di esposizione è fondamentale quando si valuta questa tipologia di rischio. Infatti, il destino dei contaminanti accumulati nel sedimento dipende molto dai processi che il sedimento subisce; se questo rimane indisturbato, il rischio è relativamente basso; se il sedimento è mosso, a seguito di onde o mareggiate, alcuni tipi di sostanze possono migrare dal sedimento all'acqua e provocare un contatto diretto con il bagnante. Anche i residui farmaceutici e le microplastiche rappresentano un'ulteriore minaccia, in quanto la maggior parte degli impianti di trattamento non sono progettati per trattenerli o eliminarli. Le microplastiche sono materie plastiche con un diametro inferiore a 5 mm che sono prodotte per l'uso in cosmetici, detersivi per il viso o si formano a seguito della degradazione di oggetti di plastica più grandi. Le microplastiche possono entrare nelle fonti d'acqua attraverso gli scarichi degli impianti di trattamento delle acque reflue, il percolato di discarica e i fanghi di depurazione, nonché attraverso la degradazione fisica e chimica dei rifiuti di plastica e dei rifiuti.

È evidente che, alla luce del cambiamento climatico, la sola classificazione dell'acqua di balneazione non fornisce le garanzie necessarie per una completa tutela della salute del bagnante; pertanto, è necessario un'analisi ambientale del territorio cui l'acqua di balneazione appartiene, in relazione alle attività antropiche presenti e ai loro effetti valutati anche nell'ottica del cambiamento climatico.

Aspetti Sanitari

L'impatto dei contaminanti presenti lungo le coste ed in particolare nelle aree di balneazione dipenderà principalmente dal tipo e dalla concentrazione dei contaminanti ma anche dalle caratteristiche e dal clima dell'area.

Si è visto che modifiche dei movimenti del mare e della temperatura stanno favorendo lo sviluppo di nuovi virus e batteri patogeni, sia nell'acqua sia nel sedimento, anche a seguito dell'aumento della temperatura e di modifiche dei movimenti del mare.

In particolare, le temperature elevate dell'acqua marina accelerano il tasso di crescita di alcuni agenti patogeni, come i *Vibrio* batteri, che possono causare infezioni, malattie diarroiche acute e focolai di intossicazione alimentare da frutti di mare infetti.

I microrganismi sono abitanti naturali delle spiagge di sabbia ma i livelli di microrganismi patogeni nelle spiagge possono aumentare attraverso la deposizione diretta da parte di esseri umani e animali (ad es. cani, uccelli, fauna selvatica).

Questi batteri patogeni oltre a provocare nuove malattie potrebbero trasferire all'uomo caratteristiche particolari come la resistenza agli antibiotici.

La resistenza antimicrobica sta diventando una minaccia sempre più grave per la salute pubblica globale. Le infezioni da batteri e funghi che esprimono geni di resistenza possono essere difficili o addirittura impossibili da trattare. Tali geni possono trasferirsi rapidamente tra i batteri e i loro batteriofagi negli ambienti acquatici. Agenti antimicrobici, detergenti, disinfettanti e residui di processi industriali possono essere presenti nelle acque di balneazione causando l'evoluzione e la diffusione della resistenza. Le principali fonti di microrganismi resistenti agli antimicrobici includono le acque reflue e fanghi provenienti da impianti di trattamento municipali, ospedali, dilavamenti di suoli agricoli e siti di produzione farmaceutica.

Ad oggi la letteratura su questa problematica è ancora molto carente ma le evidenze mostrano che sulle spiagge e nelle acque di balneazione si possono rinvenire ceppi resistenti agli antibiotici di batteri eterotrofi, di *Enterococcus* ed *Escherichia coli*. Altri tipi di agenti patogeni ormai ubiquitari nelle spiagge sono i funghi del genere *Candida*, ad esempio la *Candida auris* che è sia multi-resistente sia molto tollerante alla salinità.

Anche gli effetti sulla salute umana dovuti ai metalli pesanti possono essere di diversa entità, ovvero possono essere responsabili di processi infiammatori, irritativi e a lungo termine originare anche tumori.

Le tossine prodotte dai cianobatteri, cianotossine, a contatto con la pelle e per ingestione di acqua durante il bagno, possono causare casi di avvelenamento umano, con sintomi che di solito variano da forte mal di testa a febbre, paralisi respiratoria, nausea, vomito, febbre e, in rari casi, morte (Sanseverino, et al., 2017). Da un punto di vista tossicologico e a livello sanitario, le cianotossine, differenti per proprietà chimiche e attività biologica, presentano diversi meccanismi di tossicità e, a seconda dell'organo bersaglio, possono essere suddivise in quattro diversi gruppi: epatotossine, neurotossine, citotossine e dermatotossine.

Proposte indicatore

L'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) della World Meteorological Organization delle Nazioni Unite ha definito una metodologia per la misurazione di eventi estremi meteo-climatici e un core set di 27 Indici di estremi di temperatura e precipitazione. Questi indici forniscono informazioni statistiche su frequenza, intensità e durata di eventi meteorologici. Ugualmente sarebbe utile identificare degli indicatori che consentano di tenere sotto controllo come i cambiamenti fattori meteorologici influiscono sulle matrici ambientali e di conseguenza sulla salute umana.

Sulla base delle informazioni ad oggi disponibili per valutare l'impatto del cambiamento climatico sulle acque di balneazione sarebbe utile individuare degli indicatori specifici per lo studio delle proliferazioni algali, con particolare attenzione a quelle in cui le specie tossiche sono predominanti, e per determinare la frequenza degli inquinamenti di breve durata. Per quanto riguarda la distribuzione delle specie cianobatteri, nei laghi balneabili italiani non si ha un quadro a livello nazionale, pertanto un indicatore specifico, elaborato su scala nazionale, consentirebbe di individuare eventuali modifiche a livello di specie indotto proprio da mutazioni dei fattori climatici. In particolare, per gli inquinamenti di breve durata nel "Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici" (SNPA 112/21) è già presente un indicatore che riporta il numero di eventi che si verificano durante la stagione balneare, tuttavia questo potrebbe essere migliorato se associato a variabili climatiche quali i volumi di pioggia, che nella maggior parte dei casi ne sono la causa. Le informazioni che ne deriverebbero potrebbero aiutare a sviluppare sistemi modellistici capaci di prevedere alcune forme di impatto.

3.3.8.7 Harmful Algal Blooms (HABs) negli ecosistemi marino costieri

I cambiamenti climatici stanno trasformando gli ecosistemi acquatici, infatti le acque costiere stanno subendo un progressivo riscaldamento, acidificazione e deossigenazione, incidendo sulla salute pubblica, sulle attività ricreative, turismo, pesca, l'acquacoltura (Gobler 2020); inoltre le pressioni antropiche agiscono sinergicamente per accelerare i cambiamenti indotti dal clima negli ecosistemi costieri (Meroni *et al.*, 2018). Negli ultimi anni è stata messa in risalto anche una relazione delle proliferazioni algali con i fattori climatici (Tester *et al.*, 2020).

Le proliferazioni di alcune specie algali, nelle acque marino costiere, sono chiamate *Harmful Algal Blooms* (HAB), quando hanno effetti nocivi sugli organismi marini e/o sulla salute umana anche senza manifestazioni evidenti o colorazioni anomale delle acque (Zingone & Enevoldsen, 2000). Negli ultimi decenni gli HAB, 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.*, 2012; Zingone, 2010). Tuttavia, la misura in cui il cambiamento climatico stia intensificando questi HAB non è del tutto chiara, nonostante le numerose ricerche sull'argomento.

Si prevede che le temperature superficiali del mare negli oceani del mondo aumenteranno tra 0,4 e 1,4 °C entro la metà del ventunesimo secolo, causando la proliferazione di molti generi di dinoflagellati tossici tropicali e subtropicali come Gambierdiscus, Fukuyoa e Ostreopsis (HABs) con tassi di crescita più elevati. (Tester *et al.*, 2020).

Man mano che le acque superficiali si riscaldano, ci si aspetta una migrazione verso habitat più profondi oppure verso latitudini che offrano gli stessi requisiti specifici dell'habitat della specie (ad esempio, temperatura, substrato adatto, bassa turbolenza, luce, salinità, pH). Vi sono poche informazioni sui fattori ambientali che controllano la distribuzione in habitat su piccola scala (Tester *et al.*, 2020).

L'aumento della pressione antropica dovuto all'aumento della popolazione, alla maggiore richiesta di cibo, carburante, acqua e servizi igienico-sanitari, nelle aree costiere, provocherà aumento di apporti di nutrienti (P, N, Si, vitamine) che sono necessari per la crescita microalgale; alcuni taxa come le diatomee o i

dinoflagellati possono proliferare in modo esponenziale a causa del cambiamento della stechiometria dei nutrienti e delle forme di nutrienti, temperatura, stratificazione e pH oceanico. La modellistica previsionale che cerca di descrivere questi fenomeni non è però sufficiente perché c'è ancora molto da capire, in termini di fisiologia, biogeochimica e trofodinamica e come i taxa dannosi e non dannosi possono modificarsi a seguito delle attività antropiche. Le risposte allo stato di pressione sono insufficienti per capire quando e perché specifici HAB rispondono ai nutrienti e come queste risposte cambiano con altre condizioni ambientali (Glibert, 2020).

L'IPCC Special Report delle Nazioni Unite "Oceano e Criosfera in un clima che cambia" (2019) per la prima volta ha legato direttamente gli HAB ai cambiamenti climatici.

Nella Sintesi per i responsabili delle politiche, il rapporto stabilisce che le fioriture algali dannose mostrano un'espansione dell'areale e un aumento della frequenza nelle aree costiere a partire dagli anni '80, in risposta ai cambiamenti climatici e non climatici, come l'aumento del deflusso di nutrienti dai fiumi; queste tendenze sono attribuite in parte agli effetti del riscaldamento degli oceani, delle ondate di calore, perdita di ossigeno, eutrofizzazione e inquinamento; infine le fioriture algali dannose hanno avuto un impatto negativo sulla sicurezza alimentare, sul turismo, sull'economia locale e sulla salute umana (Gobler 2020).

Se da un lato esistono tendenze globali ben documentate che vedono gli HAB promossi dall'attività umana, compresi i cambiamenti climatici, dall'altro i singoli eventi sono determinati da fattori locali, regionali e globali, per cui è fondamentale valutare attentamente le condizioni e le risposte su scala appropriata (Gobler 2020).

A livello locale l'aumento delle opere costiere (porti, moli e barriere) può ostacolare la circolazione e il ricambio delle masse d'acqua e pertanto favorisce l'accumulo di microalghe (Garcés *et al.*, 2000; Vila *et al.*, 2001). Un ulteriore fattore dell'espansione delle specie algali tossiche è l'introduzione di specie non indigene tramite il trasporto marittimo (*biofouling* e acque di zavorra delle navi) e molluschi importati negli impianti di acquacoltura (Anderson *et al.*, 2012).

Le alghe sono produttori primari, si trovano alla base della catena trofica marina e producono ossigeno, pertanto, le fioriture svolgono un ruolo fondamentale per l'ecosistema marino. Tuttavia, in determinate condizioni chimico-fisiche e idrodinamiche delle acque marine come ad esempio la stratificazione estiva, lo sviluppo eccessivo di microalghe può portare a fenomeni di ipossia, anossia e sviluppo di idrogeno solforato per la decomposizione delle cellule con conseguente moria di organismi bentonici e di pesci. Inoltre, la produzione di tossine algali specifiche può determinare danni fisici e/o morie a organismi bentonici e pesci (banchi naturali o di allevamento).

Aspetti sanitari

Alcune fioriture algali hanno rilevanza dal punto di vista sanitario, data la capacità di alcune microalghe di produrre tossine (*paralytic shellfish poisoning toxins*, *amnesic shellfish poisoning toxins*, alcune tossine liposolubili, ecc.), che possono accumularsi in molluschi, crostacei, pesci e in altri animali marini abitualmente consumati dall'uomo. Il rischio potenziale per la salute umana impone la messa in atto di procedure di controllo per la sicurezza degli alimenti di origine marina (ISTISAN 14/19). Inoltre, l'aerosol marino può veicolare microalghe marine e/o tossine da esse prodotte, causando disturbi alle vie respiratorie e sintomi vari (Fleming *et al.*, 2005)

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* 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.

Ostreopsis ovata è un microrganismo, unicellulare di forma ovale dotato di flagelli. È una specie bentonica (che vive a contatto con il fondo marino) potenzialmente tossica, tipica delle aree tropicali e subtropicali che è rinvenuta negli ultimi anni anche in zone temperate e in molti paesi del Mediterraneo. L'origine di *Ostreopsis* in Mar Mediterraneo è ancora da chiarire.

Ostreopsis cf. ovata si sviluppa in particolare in aree caratterizzate da scarso idrodinamismo e acque poco profonde (es. baie chiuse) preferenzialmente con fondali rocciosi o ciottolosi e cresce su qualsiasi substrato bentonico (rocce, ciottoli, macroalghe, angiosperme). In condizioni ambientali ottimali e con temperature generalmente >25°C il numero delle cellule può aumentare rapidamente fino a raggiungere concentrazioni molto elevate dando origine alle ormai note fioriture (HABs) principalmente nella stagione estiva o inizio autunno (ISPRA, 2020). Nelle fasi avanzate della fioritura è possibile osservare anche la presenza di patine brunastre mucillaginose sui substrati di crescita, flocculi o schiume in colonna e in superficie dovuti al distacco di aggregati cellulari dovuto al moto ondoso o azioni meccaniche. La concentrazione delle cellule nella colonna è dunque direttamente correlata all'abbondanza delle cellule sui substrati bentonici ed a fenomeni di idrodinamismo (Totti *et al.*, 2010; Mangialajo *et al.*, 2011).

La microalga è in grado produrre biotossine denominate genericamente palitossine (PLTX), tuttavia nel Mar Mediterraneo sembra produrre quasi esclusivamente ovatossine (OVTXa – g), e palitossine solo in tracce (Ciminiello *et al.*, 2012; 2013).

A tutt'oggi, non sono ancora chiari i meccanismi di azione delle tossine di *O. ovata*, e come i fattori ambientali, quali la temperatura, l'ossigeno disciolto o la fase della fioritura, possono influenzare tali meccanismi e gli effetti sugli organismi possono variare in funzione del ceppo di *Ostreopsis ovata*, della popolazione o del periodo e non sono prevedibili considerando solamente la concentrazione algale nell'acqua (Gorbi *et al.*, 2012).

L'esposizione umana a *Ostreopsis ovata* e alle sue biotossine durante gli HABs può avvenire attraverso la via orale, inalatoria, cutanea e/o oculare (ISTISAN 14/19).

La *via orale* prevede l'ingestione di acqua marina durante attività di balneazione o il consumo di prodotti ittici contaminati. In alcune zone tropicali e subtropicali si sono verificati casi di intossicazioni umane, anche letali, per consumo di pesci e crostacei contaminati da PLTX ma, ad oggi, mai nel Mediterraneo.

La *via inalatoria* prevede l'inalazione di aerosol contenente eventuali frammenti di *Ostreopsis* e/o composti PLTX-simili in grado di causare una sintomatologia simil-influenzale chiamata "sindrome algale". I sintomi accertati sono: tosse, irritazione delle prime vie aeree, dolori muscolari/articolari, congiuntivite, rinorrea, e febbre che tuttavia scompaiono spontaneamente nelle 24-72 ore successive alla comparsa. In Italia, segnalazioni di malesseri nei bagnanti si sono avute a partire dagli anni 2000. L'episodio più eclatante è stato quello che si è verificato a Genova a luglio 2005, in cui si registrarono 225 casi di una sindrome febbrile-respiratoria in bagnanti o persone che avevano frequentato il litorale. L'esposizione per *via cutanea e/o oculare* avviene per contatto diretto con acque contaminate da composti palitossino-simili e provoca congiuntivite e dermatite (Gallitelli *et al.*, 2005; Durando *et al.*, 2007; Barroso García *et al.*, 2008; Kermarec *et al.*, 2008; Tichadou *et al.*, 2010; Honsell, 2011).

Per quanto riguarda l'esposizione degli organismi marini può avvenire attraverso l'ingestione delle microalghe (Faimali *et al.*, 2012) o il contatto diretto con le branchie o con il loro corpo (Gorbi *et al.*, 2013) con *Ostreopsis ovata* e sue biotossine, in concomitanza di fioriture massive.

I danni maggiori, anomalie o mortalità, sono stati riscontrati a carico degli organismi bentonici quali mitili, ricci, stelle marine e macroalghe (ISPRA, 2020).

Indicatori e monitoraggio

Dal 2007 è iniziata una attività di monitoraggio nazionale, condotta dalle Agenzie Regionali (ARPA), per la sorveglianza delle alghe tossiche (D.Lgs 152/99, DM 30 marzo 2010). Le concentrazioni rilevate dal monitoraggio e le condizioni meteomarine favorevoli alla formazione di aerosol e spruzzi determinano l'applicazione di misure di gestione a tutela dei bagnanti e dei cittadini (D.M. 19 aprile 2018 che modifica il D.M. 30 marzo 2010).

Infine, mentre si studiano i fattori associati al cambiamento climatico, gli spostamenti nei domini biogeografici occupati dalle specie HABs e si quantificano i rischi che esse comportano sarebbe opportuno un monitoraggio strategico e continuo incentrato su siti sentinella (Tester *et al.*, 2020); infatti se da un lato risulta ragionevole incorporare il rilevamento delle tossine nei protocolli di monitoraggio, dall'altro la capacità di gestire il rischio per la salute umana e per l'ambiente proviene dalle informazioni fornite sul campo dai programmi di monitoraggio che assumono un ruolo fondamentale per la previsione di tali rischi (Tester *et al.*, 2020). Questi sforzi rilevano le condizioni ambientali che sono favorevoli alle fioriture e consentono di pianificare e intensificare il campionamento prima che le tossine si accumulino nell'ambiente marino. Pertanto, i programmi di monitoraggio devono essere localizzati strategicamente e mantenuti costantemente (Tester *et al.*, 2020).

3.3.9 Ambienti di transizione

3.3.9.1 Acque di transizione in Italia

Le zone umide e le lagune costiere sono ambienti preziosi e sensibili e il loro ruolo importante è stato ampiamente riconosciuto a livello internazionale, in particolare nell'ambito della Convenzione sulle zone umide (Ramsar, Iran, 1971) – la cosiddetta “Convenzione di Ramsar” – e la Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD) firmata alla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (UNCED) (Rio de Janeiro, Brasile, 1992). 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, 57 siti sono riconosciuti di importanza internazionale ai sensi della Convenzione di Ramsar. 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.

Le acque di transizione comprendono diverse tipologie di ambienti, quali lagune, i laghi costieri e le foci dei fiumi, che si collocano in aree costiere di interfaccia tra ambiente marino e terrestre o fluviale. Il termine Acque di transizione è stato formalizzato dalla Direttiva Quadro sulle Acque (Direttiva 2000/60/CE, DQA), che le definisce come “Corpi idrici superficiali in prossimità di una foce di un fiume, che sono parzialmente di natura salina a causa della loro vicinanza alle acque costiere, ma sostanzialmente influenzati dai flussi di acqua dolce”.

A livello geografico le acque di transizione italiane possono essere suddivise in 3 comparti.

Acque di transizione dell'Alto Adriatico

L'area costiera nord adriatica di Friuli Venezia Giulia, Veneto ed Emilia Romagna risulta quella maggiormente ricca di acque di transizione, sia per quanto riguarda l'estensione (oltre 1.000 km², corrispondenti ad oltre il 75% della superficie complessiva presente a livello nazionale), che la varietà (sono presenti lagune microtidali di grandi dimensioni, come quelle di Venezia e Grado Marano; lagune, stagni, sacche e le circostanti aree fluviali salmastre deltizie del fiume Po). In questo comparto la tipologia lagunare prevalente è di tipo microtidale aperta, tra cui parte dei corpi idrici delle lagune di Venezia e di Grado Marano, la laguna di Caorle, alcune lagune del Delta del Po come Caleri, Scardovari e Goro. Le rimanenti lagune (Comacchio, valli, pialasse del Ravennate, piccole lagune del Delta del Po) sono da considerarsi chiuse (Figura 3-61).

Gli ambienti di transizione dell'alto adriatico sono caratterizzati dalla presenza di gradienti salini, sedimentologici, idrologici e biologici influenzati dalle diverse componenti presenti che conferisce loro caratteristiche ecologiche peculiari e una intrinseca eterogeneità, rappresentata dalla variabilità spazio-temporale dei parametri chimico-fisici, quali salinità, temperatura, concentrazioni di nutrienti, delle condizioni idrodinamiche e delle caratteristiche idro-morfologiche.

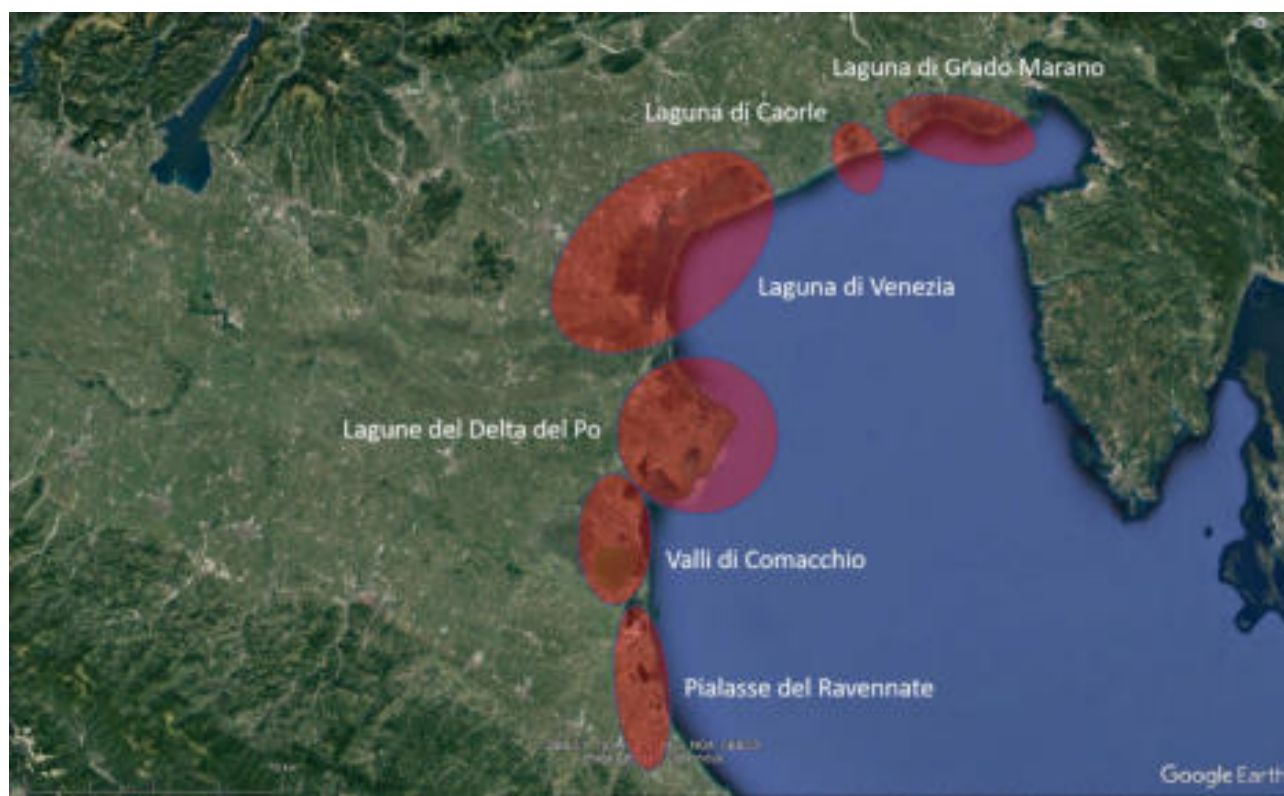


Figura 3-61: Lagune del comparto Alto Adriatico

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

Questo comparto include le lagune chiuse pugliesi (Lesina e Varano), il Mar Piccolo di Taranto e le lagune tirreniche chiuse della Toscana (Laguna di Orbetello) e laziali (lagune e stagni costieri del Circeo) e, con superfici meno rappresentative, i laghi costieri campani (Figura 3-62). La superficie complessiva di lagune > 5 km² nel comparto è pari a circa 164 km², di cui 120,2 km² in Puglia e 43,9 km² sul Tirreno (PNACC 2018, allegato 3). Le lagune di maggiori dimensioni nel comparto sono Varano (60,5 km²), Lesina (51,0 km²) ed Orbetello (27,0 km²).



Figura 3-62. Lagune principali del Basso Adriatico, dello Ionio e delle coste peninsulari del Tirreno

Lagune non tidali e stagni costieri della Sardegna e della Sicilia.

In questo comparto la superficie complessiva di lagune > 5 km² è pari a circa 160 km², di cui 143,7 km² in Sardegna e 22,4 km² in Sicilia (PNACC 2018, allegato 3).

In Sardegna (Figura 3-63) i bacini insulari sono particolarmente abbondanti e diversificati, sono state identificate 97 acque di transizione (stagni costieri, lagune, saline), ma solo 6 hanno dimensioni significative (>5 km²): gli stagni di Cabras (22,2 km²), Cagliari (15,4 km²), Santa Giusta (8,0 km²) e Marceddi (6,7 km²), il bacino del Molentargius (5,5 km²) e lo stagno di Santa Caterina (5,1 km²). Tra i vari bacini c'è un'estrema variabilità trofica ed ecologica, ma generalmente quelli di maggiori dimensioni, localizzati in prossimità di aree urbane ed industriali, presentano un basso ricambio idrico ed elevate concentrazioni di nutrienti, soprattutto fosforo, che innescano frequenti crisi ipo-anossiche (Cabras, Santa Giusta, S'Ena Arrubia, San Teodoro), mentre quelli di piccole dimensioni presentano condizioni di tipo oligotrofico.

Tutti questi piccoli bacini presentano condizioni ecologiche quasi integre che potrebbero facilmente risentire dei previsti cambiamenti climatici, sia per l'innalzamento della temperatura, che per un aumento dell'evaporazione.

In Sicilia il numero di lagune e stagni costieri è minore (Figura 3-64). I più importanti sono: lo Stagnone di Marsala, laguna oligotrofica di circa 20 km²; e altri di dimensioni minori (< 1 km²) come le Saline di Trapani, i laghi di Faro e Ganzirri, i laghetti di Marinello e i pantani di Vendicari, Porto Palo e Capo Passero. Questi bacini comunicano col mare attraverso piccoli canali e sono già fortemente influenzati dalle condizioni meteorologiche con elevate fluttuazioni di salinità e temperatura.



Figura 3-63. Principali lagune e stagni costieri della Sardegna.



Figura 3-64. Stagni e laghi costieri della Sicilia.

La salinità negli ambienti di transizione può variare da condizioni oligoaline ad iperaline in relazione agli input di acqua dolce, alla pioggia, all'evaporazione e all'arrivo di nuove acque marine durante le tempeste, alla temporanea inondazione del mare durante l'inverno o lo scambio durante la marea.

La notevole diversità di forme degli ecosistemi di transizione, unitamente all'ampia variabilità dei parametri chimico-fisici, favorisce l'esistenza di numerosi habitat, popolati da una grande varietà di forme di vita che si sono adattate alla frequente mutabilità delle condizioni: gli ecosistemi lagunari sono pertanto caratterizzati da un'elevatissima biodiversità e la loro tutela è riconosciuta come priorità a livello internazionale. La maggior parte degli ambienti di transizione italiani rientrano in aree della Rete Natura 2000, che si compone di ambiti territoriali designati come Siti di Importanza Comunitaria (S.I.C.) e Zone di Protezione Speciale (Z.P.S.), per la presenza e rappresentatività sul territorio di habitat e specie animali e vegetali indicati dalla Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e di numerose specie ornitiche di cui alla Direttiva 79/409/CEE "Uccelli".

Le acque di transizione comprendono un elevato numero di habitat: alcuni di questi sono identificabili prevalentemente su base geomorfologica in accordo con Allegato I della Direttiva 92/43/CEE, quali l'habitat 1130 "estuari", l'habitat 1140 "distese fangose o sabbiose emergenti con la bassa marea", assimilabili nella loro definizione alle velme e l'habitat prioritario 1150* "Lagune costiere", assimilabile ai bassofondali subtidali. Negli ambienti acquatici di transizione italiani, in particolare nelle grandi lagune microtidali dell'Alto Adriatico, sono presenti numerosi habitat barenali, caratterizzati da specifiche comunità vegetali alofile, quali: le formazioni composte da vegetazione annua pioniera a *Salicornia* (1310), le praterie a *Spartina maritima* (1320), i pascoli inondati mediterranei a *Juncus maritimus* (1410), le praterie e fruticeti alofili mediterranei a *Sarcocornia fruticosa* (1420) e, tra gli habitat prioritari, le praterie steppe salate mediterranee a *Limonium* (1510) (AA.VV., 2004)¹⁹.

Come riportato nel Report secondo l'Art. 17 della Direttiva Habitat per il periodo 2013-2018 (<https://nature-art17.eionet.europa.eu/article17>), in Italia l'habitat 1150* "Lagune costiere" copre una superficie di circa 814 km² e rappresenta l'habitat di maggiore estensione tra quelli caratteristici degli ambienti acquatici di transizione. La sua distribuzione è diffusa nella maggior parte delle Regioni costiere (Figura 3-65), con una netta prevalenza, in termini di superficie, nelle lagune microtidali dell'Alto Adriatico (Laguna Veneta, laguna di Marano-Grado, laguna di Caorle, lagune del delta del Po). Importanti sistemi lagunari non tidali sono presenti lungo la costa adriatica pugliese (Laghi di Lesina, Varano e Alimini), nell'arco ionico tarantino (Mar Piccolo di Taranto), lungo le coste del Lazio (Laghi di Fogliano e Caprolace) e la costa tirrenica della Toscana (Laguna di Orbetello). Numerosi stagni costieri sono presenti in Sicilia e in Sardegna, tra i quali particolarmente rappresentativi, in termini di superficie, sono lo Stagnone di Marsala (Sicilia) e lo Stagno di Cabras (Sardegna). Lo stato di conservazione di tale habitat risulta complessivamente favorevole.

L'habitat 1150* "Lagune costiere" è definito, sulla base della frase diagnostica del Manuale italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/EEC (Biondi & Blasi, 2009)²⁰, come "*Ambienti acquatici costieri con acque lentiche, salate o salmastre, poco profonde, caratterizzate da notevoli variazioni stagionali in salinità e in profondità in relazione agli apporti idrici (acque marine o continentali), alla piovosità e alla temperatura che condizionano l'evaporazione. Sono in contatto diretto o indiretto con il mare, dal quale sono in genere separati da cordoni di sabbie o ciottoli e meno frequentemente da coste basse rocciose. La salinità può variare da acque salmastre a iperaline in relazione con la pioggia, l'evaporazione e l'arrivo di nuove acque marine durante le tempeste, la temporanea inondazione del mare durante l'inverno o lo scambio durante la marea. Possono presentarsi prive di vegetazione o con aspetti di vegetazione piuttosto differenziati, riferibili*

¹⁹ AA.VV., 2004 – Laghi costieri e stagni salmastri. Un delicato equilibrio fra acque dolci e salate. Quaderni Habitat. 8. Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. Museo Naturale di Storia Naturale.

²⁰ BIONDI E. & BLASI C., 2009 (eds.). Italian interpretation Manual of the habitats (92/43/EEC Directive). Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. <http://vnr.unipg.it/habitat/>.

alle associazioni: *Ruppia maritima* J.Tx.1 960, *Potamogeton pectinatus* R.Tx. & Preising 1942, *Zostera marina* Pignatti 1953, *Cystoseira* Giaccone 1965 e *Chara fragilis* Fukarek & Kraush 1964". Si tratta di un ambiente ecotonale, che risente degli apporti di acque dolci di origine fluviale e dell'influenza delle acque marine. Questa collocazione conferisce a questi ambienti caratteristiche ecologiche peculiari e una intrinseca eterogeneità, rappresentata dalla variabilità spazio-temporale dei parametri chimico-fisici, quali salinità, temperatura, concentrazioni di nutrienti, delle condizioni idrodinamiche e delle caratteristiche idromorfologiche. Da tali caratteristiche tali ambienti risultano fortemente vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici.



Figura 3-65: Mappa di distribuzione dell'habitat 1150*

3.3.9.2 Stato ambientale

Le pressioni e minacce che influiscono negativamente sullo stato ambientale delle lagune costiere sono numerose. Come riportato in Angelini et al. (2016)²¹ gli ambienti di transizione sono condizionati dall'idrodinamica naturale e dall'attività dell'uomo (dragaggio dei canali sublagunari, regolazione dei flussi in entrata e in uscita). L'apporto fluviale di carichi di nutrienti e inquinanti di vario tipo accelera la naturale eutrofizzazione delle acque con conseguenze su torbidità, sviluppo della flora algale e delle comunità macrobentoniche e ittiche. L'eccessivo accumulo di sostanza organica e nutrienti in acqua e nei sedimenti, nonché l'insorgere di processi fermentativi, determinano l'instaurarsi di condizioni chimico-fisiche favorevoli alla proliferazione di specie algali che a loro volta condizionano l'espressione delle fanerogame, la cui sopravvivenza è incompatibile anche con un eccessivo disturbo meccanico del fondale. L'elevata produttività delle lagune conferisce loro caratteristiche ottimali per la molluschicoltura e l'itticoltura, realizzate con

²¹ Angelini P., Casella L., Grignetti A., Genovesi P. (ed.), 2016. Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat. ISPRA, Serie Manuali e line guida, 142/2016.

pratiche che possono avere ripercussioni negative sull'habitat. Fra le criticità va ricordata anche la presenza di specie aliene.

Stato dell'Habitat Lagune Costiere in relazione alla Direttiva Habitat

In Tabella 3-8 si riportano le pressioni e minacce e il relativo grado di incidenza dell'habitat lagune costiere tratte dal Report secondo l'Art. 17 della Direttiva Habitat per il periodo 2013-2018 (<https://nature-art17.eionet.europa.eu/article17>).

Tabella 3-8: Pressioni e minacce e il relativo grado di incidenza dell'habitat lagune costiere.

PRESSIONE	Grado di Incidenza
Attività agricole che generano diffuso inquinamento delle acque	Alto
Inquinamento delle acque dai centri urbani, dalle attività industriali e commerciali	Medio
Attività che generano inquinamento da macro e micro plastiche	Alto
Processi naturali abiotici (es. erosione, interrimento, salinizzazione)	Medio
Caccia	Alto
Specie invasive	Medio
Inquinamento delle acque da origine marina	Alto
Estrazione dalle acque sotterranee, superficiali o miste	Alto
Variazioni del livello del medio mare e delle forzanti da onde	Alto
Attività di raccolta (professionale, ricreativa) di pesci e molluschi che causano perdite fisiche e perturbano gli habitat di fondo	Medio
Infrastrutture per la produzione di energia eolica	Medio
Attività marittime commerciali e passeggeri	Medio
Imbonimento delle superfici lagunari per usi residenziali, ricreativi o altri usi	Medio
Infrastrutture per strade, ferrovie, ponti, ecc	Medio
MINACCE	Grado di incidenza
Modifica del flusso idrologico o alterazione fisica dei corpi idrici per l'agricoltura	Alto
Attività estrattive e relative infrastrutture	Alto
Cavi per trasmissione energia elettrica	Medio
Modifica delle linee di costa e degli estuari per lo sviluppo, l'uso e la protezione di infrastrutture, zone residenziali, commerciali, industriali e ricreative (comprese le difese marittime o le opere e le infrastrutture di protezione costiera)	Alto
Pesca ittica e raccolta di molluschi (professionale, ricreativa) con conseguente riduzione delle popolazioni di specie/prede e perturbazione delle specie	Alto
Modifica per attività di acquacoltura	Medio
Modifica dei flussi idrologici	Medio
Siccità e diminuzione delle precipitazioni dovute al cambiamento climatico	Medio
Variazioni del livello del mare e dell'esposizione delle onde dovuti ai cambiamenti climatici	Medio

Lo stato di conservazione è comunque da considerarsi favorevole. Se si va a verificare lo stato ecologico e lo stato di eutrofizzazione lo stato ambientale cambia.

Stato Ambientale delle Lagune Italiane in Relazione alla Direttiva Quadro Acque

In Figura 3-66 e Figura 3-67 sono riportati lo stato chimico ed ecologico delle lagune italiane secondo quanto riportato nell'Annuario dei dati Ambientali ISPRA.

In base all'analisi dei dati riportati dai Distretti nel 3° Reporting alla Commissione europea relativo al sessennio 2016-2021 (aggiornamento ottobre 2022), lo stato ecologico delle acque di transizione italiane risulta eterogeneo. Tale disomogeneità si esprime sia a livello di numero di corpi idrici identificati per Distretto, sia per la distribuzione tra le classi di qualità ecologica.

Con la Legge 221/2015 sono stati ridefiniti i limiti dei Distretti Idrografici e quindi per operare un confronto tra 2° e 3° ciclo dei Piani di Gestione delle Acque (PdG), i corpi idrici del 2° ciclo sono stati assegnati ai Distretti secondo la nuova perimetrazione. Dal confronto tra lo stato del 2° ciclo dei PdG (2010-2015) e quello del 3° ciclo dei PdG (2016-2021), si osserva che per tutti i Distretti idrografici (Figura 3-66) permane uno stato ecologico prevalentemente sufficiente e scarso, ma con l'incremento delle percentuali di corpi idrici in stato buono nei Distretti delle Alpi Orientali (da 7% a 11%), dell'Appennino Settentrionale (da 10% a 20%), dell'Appennino Meridionale (da 0 a 6%) e della Sardegna (da 0 a 26%). Per quest'ultimo Distretto si segnala, inoltre, la presenza del 10% di corpi idrici in stato elevato nel 3° ciclo dei PdG.

L'analisi dello stato ecologico a livello nazionale mostra che il numero di CI in stato buono ed elevato è di 9 su 172 (5%) nel 2° ciclo di PdG e di 22 su 146 (15%) nel 3° ciclo dei PdG.

Da segnalare percentuali significative di corpi idrici non classificati in diversi Distretti.

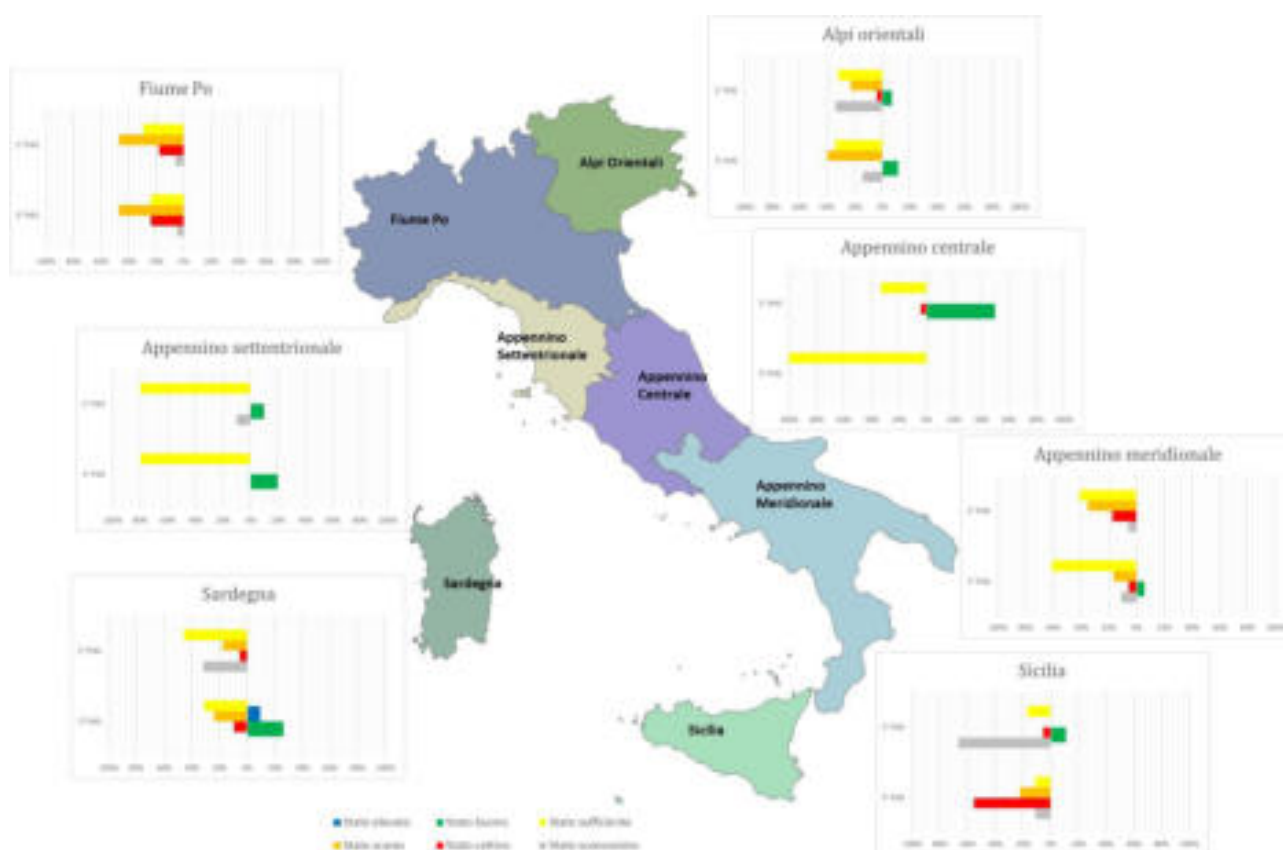


Figura 3-66: Stato ecologico dei corpi idrici delle acque di transizione - confronto 2° ciclo (2010-2015) e 3° ciclo (2016-2021) dei Piani di Gestione delle Acque. Elaborazione ISPRA su dati reporting WISE 2022 (aggiornamento ottobre 2022).
Legenda: PdG = Piano di Gestione. NOTE: con la Legge 221/2015 sono stati ridefiniti i limiti dei Distretti Idrografici.

In base all'analisi dei dati riportati dai Distretti nel 3° Reporting alla Commissione europea relativo al sessennio 2016-2021 (aggiornamento ottobre 2022), lo stato chimico delle acque di transizione italiane

risulta eterogeneo. Tale disomogeneità si esprime sia a livello di numero di corpi idrici identificati per Distretto, sia per gli esiti della classificazione. Solo il Distretto dell'Appennino Centrale presenta il 100% dei CI in stato buono. Oltre alla ridefinizione dei limiti dei Distretti Idrografici, come riportato per lo stato ecologico, al fine di una corretta lettura dei dati si specifica, inoltre, che la Direttiva 39/2013/EU (recepita con D.Lgs. 172/2015) ha reso obbligatorio dal 2018, per la classificazione chimica, il monitoraggio di alcuni parametri nel biota e non più solo nelle acque. La Direttiva ha inoltre introdotto 12 nuove sostanze prioritarie di cui si terrà conto nella classificazione dello stato chimico dal 2027. Dai confronti tra lo stato del 2° ciclo dei PdG (2010-2015) e quello del 3° ciclo dei PdG (2016-2021), si osserva che a livello di Distretto (Figura 3-67) c'è il mantenimento dello stato ecologico buono per il 100% dei corpi idrici dell'Appennino Centrale, un miglioramento per quelli dell'Appennino settentrionale (da 30% a 40%), della Sardegna (da 12% a 52%), della Sicilia (da 11% a 17%) ed un peggioramento per i corpi idrici dei Distretti delle Alpi Orientali (da 51% a 46%), Fiume Po (da 65% a 23%) e Appennino meridionale (da 18% a 11%).

A livello nazionale il numero di corpi idrici in stato buono è di 56 su 172 (33%) nel 2° ciclo dei PdG, mentre nel 3° è di 57 su 146 (39%).

Da segnalare percentuali significative di corpi idrici non classificati in diversi Distretti.

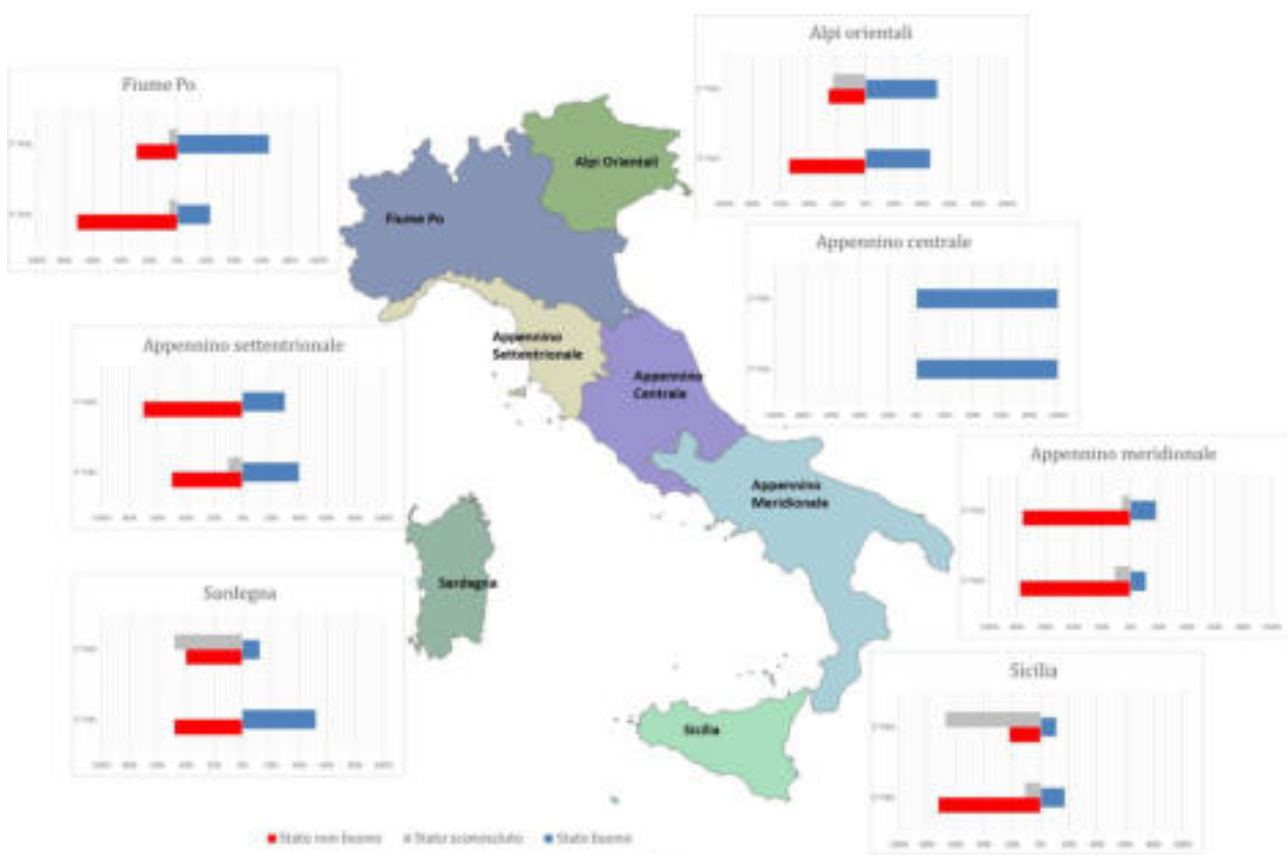


Figura 3-67: Stato Chimico dei corpi idrici delle acque di transizione - confronto 2° ciclo (2010-2015) e 3° ciclo (2016-2021) dei Piani di Gestione delle Acque. Elaborazione ISPRA su dati reporting WISE 2022 (aggiornamento ottobre 2022).
Legenda: PdG = Piano di Gestione. NOTE: con la Legge 221/2015 sono stati ridefiniti i limiti dei Distretti Idrografici.

In Figura 3-68 è riportato lo stato di Qualità delle acque di transizione italiane classificato con l'indice MaQI (Macrophyte Quality Index) (Sfriso et al., 2014)²². Il MaQI, formalmente adottato dall'Italia per la classificazione dello stato ecologico degli ambienti di transizione nell'ambito della Direttiva 2000/60/CE, integra i due elementi di qualità biologica macroalghe e fanerogame acquatiche e include nella valutazione la copertura totale ed abbondanza relativa delle macroalghe dominanti, la copertura delle singole specie di fanerogame, il numero di specie presenti ed il loro ruolo ecologico. Il MaQI risponde alle pressioni di origine antropica che interessano le aree di transizione e descrive lo stato di qualità ecologica in 5 classi: elevato, buono, sufficiente, scarso e cattivo.

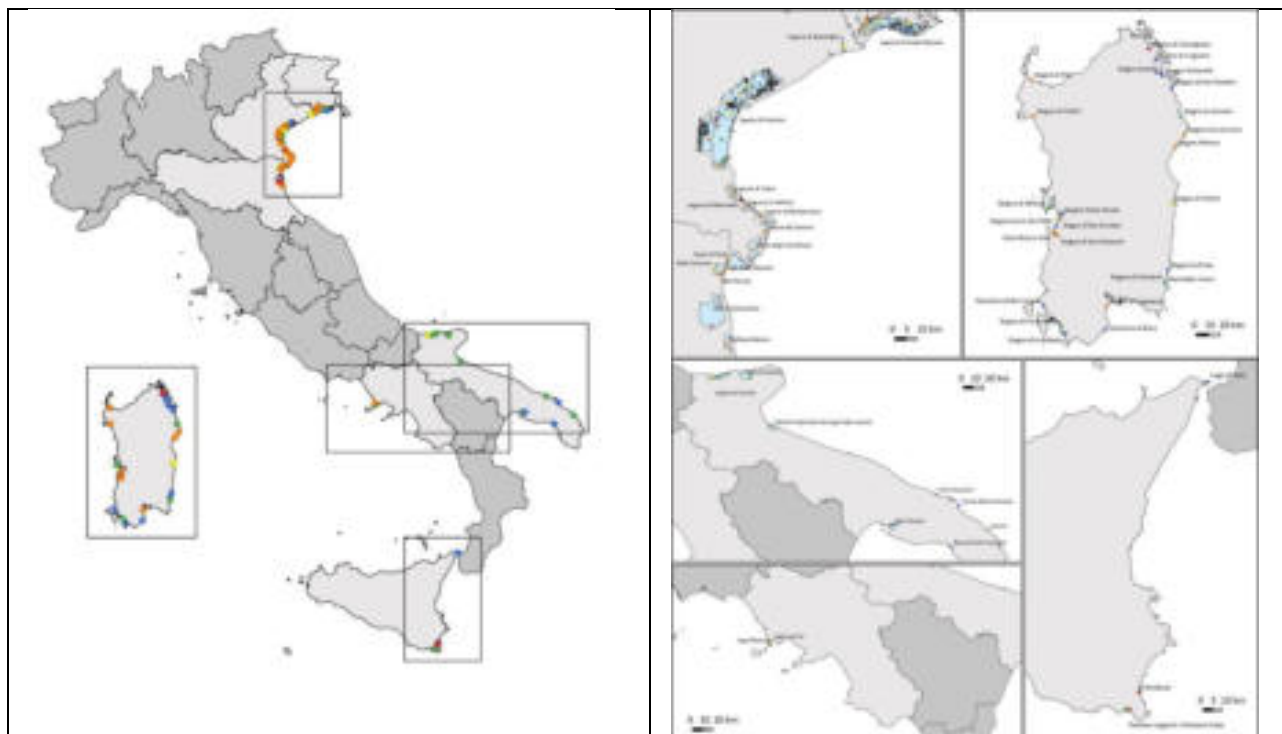


Figura 3-68: EQB Macrofite MaQI, stato di qualità ecologica delle macrofite nelle acque di transizione italiane.

A livello nazionale, degli 86 corpi idrici monitorati nel triennio 2017-2019, il 25,6% si trova in stato ecologico "elevato", il 23,3% nello stato "buono", il 12,8% nello stato "sufficiente", il 32,6% nello stato "scarso" e il restante 5,7% nello stato "cattivo". Pertanto, il 48,9% dei corpi idrici di transizione ha raggiunto l'obiettivo di qualità ("buono" o "elevato"). A livello di singole regioni (Tabella 3-9), il 90,9% dei corpi idrici della Puglia raggiunge l'obiettivo di qualità, il 62,1% per la Sardegna, il 57,1% per la Sicilia e il 50% per la Campania; percentuali inferiori si rilevano in Friuli-Venezia Giulia (38,5%) e Veneto (22,2%), mentre in Emilia-Romagna nessun corpo idrico presenta uno stato di qualità "elevato o buono".

Tabella 3-9: EQB Macrofite MaQI, stato di qualità ecologica delle macrofite nelle acque di transizione italiane a livello regionale e nazionale

²² Sfriso, A., Facca, C., Bonometto, A., Boscolo, R., 2014. Compliance of the Macrophyte Quality Index (MaQI) with the WFD (2000/60/EC) and ecological status assessment in transitional areas: The Venice lagoon as study case. Ecological Indicators 46, 536–547.

	FRIULI VENEZIA GIULIA				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	30.8%	7.7%	23.1%	38.5%	0.0%
n° Cl	4	1	3	5	0
	VENETO				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	5.6%	16.7%	16.7%	55.6%	5.6%
n° Cl	1	3	3	10	1
	EMILIA ROMAGNA				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	0.0%	0.0%	16.7%	66.7%	16.7%
n° Cl	0	0	1	4	1
	CAMPANIA				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	0.0%	50.0%	0.0%	50.0%	0.0%
n° Cl	0	1	0	1	0
	PUGLIA				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	27.3%	63.6%	9.1%	0.0%	0.0%
n° Cl	3	7	1	0	0
	SICILIA				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	28.6%	28.6%	14.3%	0.0%	28.6%
n° Cl	2	2	1	0	2
	SARDEGNA				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	41.4%	20.7%	6.9%	27.6%	3.4%
n° Cl	12	6	2	8	1
	Totale regioni				
	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
Percentuale	25.6%	23.3%	12.8%	32.6%	5.8%
n° Cl	22	20	11	28	5

Stato Ambientale delle Lagune Italiane in Relazione alla Direttiva Nitrati

Per quanto riguarda lo stato di eutrofizzazione delle lagune italiane, si fa riferimento ai risultati della sperimentazione della metodologia messa a punto dal GdL del MITE con il contributo del gruppo di lavoro SNPA sottogruppo operativo "Eutrofizzazione – criteri di classificazione", che ha sperimentato e finalizzato una metodologia nazionale per la valutazione dell'eutrofizzazione per le acque di transizione in relazione

all'attuazione della Direttiva 91/676/CEE – Relazione ex art. 10²³ ed in conformità alle Direttive 2000/60/CE e 91/271/CEE.

Il dataset utilizzato per la finalizzazione e sperimentazione del metodo in oggetto include oltre 40 ambienti di transizione, per un totale di circa 100 corpi idrici e di 126 stazioni di monitoraggio, distribuite in 5 Regioni. Sulla base delle risultanze dell'applicazione complessiva del metodo sperimentale al dataset (triennio 2014-2016 per tutte le regioni salvo la Sardegna, 2016-2018) è stata effettuata la seguente classificazione: 50 stazioni (39,7%) sono risultate “non eutrofiche” (classi N1 e N2); 44 stazioni (34,9%) sono risultate “eutrofiche” (classi E1 e E2), mentre 32 stazioni (25,4%) sono risultate “a rischio eutrofizzazione qualora la tendenza in atto indichi un peggioramento” (classe M). I risultati complessivi sono riportati in Figura 3-69.

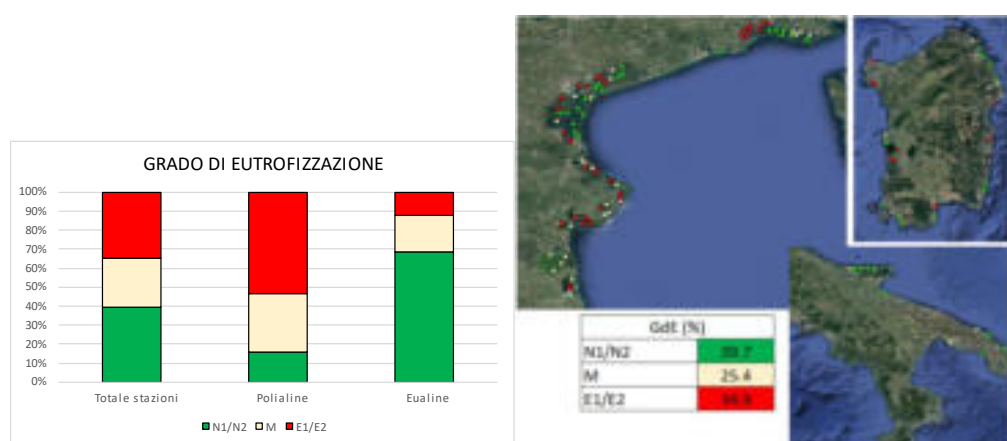


Figura 3-69 Classificazione del grado di eutrofizzazione delle lagune in 5 Regioni (FVG, Veneto, Emilia Romagna, Puglia e Sardegna)

3.3.9.3 Criticità e vulnerabilità degli ambienti di transizione in relazione ai fattori climatici

Gli ambienti di transizione grazie alla loro conformazione idromorfologica, possono svolgere una fondamentale azione di mitigazione dei cambiamenti climatici, con particolare riferimento al rischio di mareggiata dei territori retrostanti, ma allo stesso tempo risultano particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici stessi.

Gli ambienti di transizione hanno un'elevata resilienza tipica di sistemi adattati ad elevate variazioni ambientali; sono infatti, di per sé, adattati a far fronte a livelli di disturbo ecologico anche elevato, in quanto l'alternanza di eventi di piena e secca, la variazione di livello dovuto alle maree e il ricambio con le acque marine fanno parte del normale ciclo idrologico. Questa loro capacità di adattamento oggi è fortemente ridotta da una storica gestione del territorio, che ne ha forzatamente limitato la naturale plasticità, a favore di una stabilizzazione della linea di costa principalmente per l'uso agricolo e urbano (bonifiche idrauliche, opere marittime di difesa costiera, ecc.).

Gli ecosistemi di transizione sono da ritenersi, in generale, altamente a rischio in seguito ai cambiamenti climatici, sia per i notevoli impatti che questi avranno sul regime idrologico, sia in quanto tali impatti vanno a sommarsi a quelli derivanti dalle pressioni antropiche, quali i prelievi idrici per uso irriguo e potabile, le

²³ Bonometto A., Boscolo Brusà R., Cacciatore F., Ponis E., Ferrari C.R., Pigozzi S., Riccardi E., Blasutto O., Acquavita A., Aguzzi L., Porfido A., Sgaramella E., Ungaro N., Angius R., Manconi P., Novello M., Parati P. Linee guida per l'applicazione della metodica per la valutazione dell'eutrofizzazione nelle acque di transizione. Linee Guida SNPA 42/2022

immissioni di nutrienti e di sostanze tossiche, le alterazioni idro-morfologiche causate da interventi idraulici, dragaggi e pesca con mezzi meccanici e gli altri usi plurimi lagunari (acquacoltura, navigazione, turismo, etc.).

I probabili impatti dei cambiamenti climatici sugli ambienti di transizione possono essere ricondotti all'evoluzione tendenziale dell'aumento della temperatura delle acque e al disturbo causato dalla maggiore frequenza con cui ci si attende si verifichino eventi estremi, quali piene e secche. A livello climatico, le cause principali sono da ascrivere al riscaldamento, previsto da tutti i modelli climatici e in tutti gli scenari per il nostro paese, con effetti sia locali che globali e alle variazioni nel regime delle precipitazioni umide e nevose.

Di seguito si riportano gli impatti attesi in relazione alle variazioni climatiche attese e, laddove presenti, i fattori antropici che concorrono a generare l'impatto.

Aumento delle temperature

Cambiamenti nella temperatura dell'aria si riflettono fortemente nella temperatura dell'acqua di ambienti lentici e a basse profondità come nel caso della maggior parte degli ambienti di transizione. A fronte di un aumento della temperatura dell'aria, la temperatura dell'acqua negli ambienti lagunari generalmente aumenta più rapidamente rispetto all'aumento della temperatura dell'acqua del mare. Una delle prime conseguenze dell'aumento della temperatura è l'aumento dell'evaporazione che va a modificare la salinità e l'idrodinamica. Nei bacini di piccole dimensioni con comunicazioni trascurabili con il mare, ad esempio, eccessivi e ripetuti periodi di temperature elevate, soprattutto se associati a periodo di siccità possono modificare i livelli di evaporazione portando ad elevate escursioni saline e periodi prolungati di emersione dei sedimenti. L'aumento della temperatura dell'acqua influisce inoltre sulla concentrazione di ossigeno disciolto, con conseguenze sulla fisiologia degli organismi lagunari, sull'areale delle specie e sui periodi di migrazione. In alcuni periodi estivi, molti organismi lagunari vivono in condizioni vicine al loro limite di tolleranza e anche solo una piccola variazione in temperatura può portare ad un impatto notevole sulla loro sopravvivenza. Con l'aumentare della temperatura la concentrazione di ossigeno disciolto diminuisce in particolare nei periodi estivi e questo porta gli organismi, in particolare quelli bentonici, a condizioni di stress. Questo effetto risulta maggiormente esacerbato negli ambienti in cui c'è un ridotto ricambio idrico con il mare, come le aree più interne delle lagune del Nord Adriatico o nei laghi e stagni costieri, aree nelle quali possono innescarsi facilmente fenomeni di anossia o ipossia cronica. Tale fenomeno può portare a morie diffuse e modifiche della composizione delle comunità bentoniche con una riduzione in diversità e uno *shift* della struttura della comunità verso specie maggiormente tolleranti all'ipossia. L'aumento della temperatura dell'acqua può portare alla diffusione di specie non indigene adatte a vivere a temperature elevate con conseguente modifica della comunità biologica. Si può, inoltre, assistere ad una modifica dei periodi riproduttivi e ad un'anticipazione della maturazione gonadica, a *shift* nella componente macrofitica verso le specie più termo-tolleranti e ad una modifica nella fenologia del plancton con alterazioni del ciclo vitale di fitoplancton e zooplancton e ripercussioni lungo la catena trofica. Come riportato ad esempio in Bertolini & Pastres (2021)²⁴, l'aumento delle temperature in laguna di Venezia nelle ultime decadi ha portato ad eventi di morie di *Ruditapes philippinarum* in particolare in quelle aree in cui la specie è stata sottoposta a periodi prolungati di temperatura e salinità al disopra del suo limite di tolleranza.

Alterazioni delle precipitazioni

²⁴ Bertolini, C.; Royer, E.; Pastres, R. Multiple Evidence for Climate Patterns Influencing Ecosystem Productivity across Spatial Gradients in the Venice Lagoon. J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 363. <https://doi.org/10.3390/jmse9040363>

Una variazione nella stagionalità, frequenza ed intensità delle precipitazioni ha importanti effetti sulle caratteristiche fisiche ed ecologiche degli ambienti di transizione. Sono sempre più frequenti eventi estremi che portano a cicli di siccità-inondazioni. Le alterazioni degli input di acqua dolce hanno effetti sulla salinità e la concentrazione di ossigeno disciolto. Eventi di precipitazione intensa possono portare ad un aumento momentaneo di apporti di acqua dolce con una decrescita locale della salinità. Al contrario in periodi particolarmente siccitosi si riducono gli apporti di acqua dolce con un conseguente aumento delle salinità delle acque. In ambienti particolarmente profondi l'apporto massivo di acqua dolce può portare ad una stratificazione della colonna d'acqua aumentando il rischio di ipossia nel fondo. Altri effetti dovuti ad apporti massivi di acqua dolce sono: i possibili fenomeni erosivi e di distruzione degli argini dei bacini, l'aumento di apporto di sedimento con conseguente aumento della torbidità dell'acqua, riduzione della capacità fotosintetica della vegetazione acquatica sommersa e aumento di nutrienti e inquinanti provenienti dal bacino idrografico. Quest'ultimo aspetto può favorire l'insorgere di fenomeni di eutrofizzazione degli ambienti lagunari ed estuarini. Il venir meno degli apporti di acqua dolce per via della scarsa piovosità si va a sommare con la riduzione di acqua dolce che arriva negli ambienti lagunari per differenti usi antropici o per interventi di diversione dei fiumi avvenuti in tempi passati. Questo comporta la perdita di gradiente salino e la perdita di quegli habitat e specie tipici degli ambienti oligo-mesoalini. Tra tutti va ricordata la contrazione di canneto alla quale si sta assistendo da anni in molte lagune ed estuari italiani proprio per la riduzione di acqua dolce, l'aumento di salinità dovuta anche all'aumento del livello del mare e la conseguente perdita di servizi ecosistemici che tale tipologia di ambiente fornisce (depurazione delle acque, habitat di specie, consolidamento dei fondali, ossigenazione dei fondali, etc.).

Variazione del livello del mare

Gli ambienti di transizione sono molto vulnerabili alla variazione del livello del mare. Se da una parte sono ambienti sottoposti normalmente a variazione dei livelli dell'acqua, basti pensare alle escursioni di marea delle lagune del Nord Adriatico, dall'altra sono vulnerabili a variazioni che ne compromettono l'equilibrio idromorfologico. In alcune lagune l'aumento del livello del mare minaccia la stabilità della linea di costa che le separa dal mare con aumento dei fenomeni in cui il mare invade le acque lagunari determinando una marinizzazione delle stesse. In tal caso le lagune perdono quelle caratteristiche fisiografiche che le contraddistinguono diventando sempre più simili ad ambienti marini e perdendo i tratti caratteristici di ambienti ecotonali, nei quali convivono ambienti a salinità differente. Ne consegue un aumento della salinità ed una alterazione della composizione in specie. L'aumento del livello dell'acqua può ridurre la penetrazione della luce per la vegetazione acquatica sommersa riducendo la capacità fotosintetica di tali produttori primari e andando così a modificare le dinamiche dei nutrienti con conseguenti possibili distrofie. La riduzione delle piante acquatiche sommerse comporta la riduzione di tutti i servizi ecosistemici che esse forniscono, quali l'ossigenazione delle acque, area *nursery* di alimentazione, riproduzione per molte specie ittiche anche di interesse commerciale, stabilità dei fondali, contrasto ai fenomeni erosivi, riduzione della risospensione dei sedimenti, aumento della trasparenza delle acque. L'aumento del livello del mare può portare ad una semplificazione morfologica degli ambienti lagunari. Strutture morfologiche quali ad esempio le barene, caratteristiche delle lagune del nord Adriatico come la laguna di Venezia e la laguna di Grado e Marano, potrebbero risentire della variazione del livello del mare in termini di modifiche dei tempi di sommersione ed emersione. Se nell'ambiente lagunare non è disponibile sedimento a sufficienza per accrescere le strutture barenali nella loro quota altimetrica in maniera commisurata all'aumento del livello del mare, andrebbero ad aumentare i tempi di sommersione a discapito di quelli di emersione compromettendo la loro funzionalità morfologica ed ecologica. Dal punto di vista morfologico si assisterebbe ad una semplificazione e appiattimento del fondale con un rapporto barena/acqua che decresce creando aree di acqua libera sempre più ampie. Questo porterebbe ad un processo di feedback positivo alla riduzione delle strutture barenali in

quanto senza l'interruzione morfologica, i fenomeni erosivi aumenterebbero per via del moto ondoso dovuto dal maggior *fetch* da vento (Fagherazzi et al, 2013)²⁵. Dal punto di vista ecologico un maggior tempo di immersione delle strutture barenali andrebbe a modificare la composizione della vegetazione alofitica che risulta molto importante come habitat per molte specie animali, per l'abbattimento di nutrienti e per il sequestro di CO₂.

Alla compromissione della morfologia degli ambienti lagunari concorrono varie attività antropiche, tra cui i dragaggi dei canali, la raccolta di molluschi con mezzi meccanici, il moto ondoso da natanti, gli interventi idraulici che alterano le condizioni idromorfologiche.

Eventi tempestosi

L'aumento di eventi meteorologici particolarmente intensi in termini di frequenza e intensità del vento hanno l'effetto principale di causare fenomeni erosivi dovuti all'aumento del moto ondoso e all'aumento dei livelli del mare e di marea rispetto ai livelli astronomici attesi. Le conseguenti intense mareggiate hanno l'effetto di intaccare i sistemi dunali, gli scanni e i cordoni litoranei che separano le lagune dal mare creando talvolta delle brecce, portando così gli ecosistemi lagunari ad un vero e proprio allagamento marino. Le inondazioni marine producono in modo acuto gli effetti già descritti nella sezione dedicata all'innalzamento del livello del mare: erosione del fondale con risospensione e perdita di sedimento, intorbidimento delle acque, salinizzazione delle acque, diminuzione della capacità fotosintetica della flora, erosione delle strutture morfologiche, compromissione di habitat e specie salmastre. L'aumento del livello del mare, dovuto a venti particolarmente forti nell'intensità e durata, porta ad un aumento dei livelli di marea. Un esempio recente è quanto accaduto a novembre del 2019 in laguna di Venezia, in cui si è verificato uno degli eventi di acqua alta eccezionali più importanti degli ultimi decenni, con un valore massimo registrato il 12 novembre di +187 cm. In quel mese di novembre si registrarono quattro eventi di marea eccezionale in una sola settimana. L'aumento del livello della marea nel corso di eventi eccezionali porta gli ambienti lagunari del Nord Est a condizioni di marinizzazione, sia in termini di valori di salinità, ma anche in termini di moto ondoso e agitazione delle acque. Questi fattori causano in maniera acuta gli effetti già descritti nelle sezioni precedenti: aumento della salinità, intorbidimento delle acque, erosione dei fondali e delle strutture morfologiche, riduzione della capacità fotosintetica della flora acquatica, riduzione delle praterie di piante acquatiche sommerse, riduzione della capacità di filtrazione e respirazione degli organismi marini, riduzione degli areali oligo-mesoalini e degli habitat e specie salmastre, riduzione del canneto. Gli allagamenti, inoltre, hanno l'effetto di aumentare il dilavamento dei centri abitati e del suolo, aumentando l'inquinamento delle acque da sostanze chimiche e dai rifiuti.

In Tabella 3-10 si riporta una sintesi complessiva degli impatti attesi negli ambienti di transizione in relazione alle variazioni climatiche attese. Si riportano inoltre, laddove presenti, i fattori antropici che concorrono a generare l'impatto atteso

Tabella 3-10: Impatti attesi negli ambienti di transizione in relazione alle variazioni climatiche attese e i fattori antropici che concorrono a generare l'impatto atteso.

²⁵ Fagherazzi, S., G. Mariotti, P.L. Wiberg, and K.J. McGlathery. 2013. Marsh collapse does not require sea level rise. *Oceanography* 26(3):70–77, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2013.47>.

Variazione climatica attesa	Impatti attesi	Fattori antropici che concorrono a generare l'impatto
Aumento delle temperature delle acque	Evaporazione, aumento della salinità, e dei tempi di esposizione all'aria.	Riduzione dei canali di comunicazione e scambio con il mare
	Riduzione della concentrazione di ossigeno disciolto in particolare nei periodi estivi. Aumento degli eventi di ipossia e anossia	
	Aumento degli eventi distrofici	Apporto di nutrienti per usi agricoli o urbani
	Effetti fisiologici negativi sugli organismi in particolare nei periodi estivi	
	Morte di organismi bentonici o poco mobili	
	Modifica della composizione della flora e fauna bentonica con dominanza di specie meno sensibili e più tolleranti	
	Diffusione di specie non indigene adattate a temperature elevate	
	Modifica dei periodi riproduttivi delle specie ittiche	
	Modifica della fenologia del plancton	
	Peggioramento dello stato di conservazione dell'habitat 1150* e 1140	
Alterazioni delle precipitazioni con cicli di siccità e inondazioni	Alterazioni della salinità delle acque	Modifica dell'idrologia degli ambienti di transizione con alterazioni dei corsi d'acqua che si immettono e alterazione delle connessioni con il mare
	Perdita del gradiente salino	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Stratificazione delle acque durante periodi di forti immissioni di acqua dolce	
	Aumento dei carichi di nutrienti e inquinanti con rischi di distrofia nei periodi di pioggia abbondante	Apporto di nutrienti per usi agricoli o urbani

Variazione climatica attesa	Impatti attesi	Fattori antropici che concorrono a generare l'impatto
	Possibili fenomeni erosivi sui margini dei bacini e delle barene causati da inondazione	
	Aumento della torbidità nei periodi di piena con diminuzione della capacità fotosintetica della flora acquatica	Attività di dragaggio e movimentazione di sedimento per escavo di canali, pesca con mezzi meccanici, moto ondoso da barca
	Riduzione degli ambienti oligo-mesoalini nei periodi di magra	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Perdita di habitat e specie tipicamente salmastre nei periodi siccitosi	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Contrazione del canneto nelle aree ecotonali lagunari in caso di ridotti apporti di acque dolci	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Peggioramento dello stato di conservazione di habitat e specie	Impatti antropici di varia natura, usi plurimi delle lagune (es. inquinamento delle acque, dragaggi, navigazione, turismo)
Aumento del livello del mare	Contrazione degli scanni/ cordoni litoranei di separazione della laguna dal mare	Urbanizzazione o usi turistici degli scanni/cordoni litoranei di separazione della laguna dal mare
	Marinizzazione delle acque lagunari	Interventi antropici che alterano gli scambi con il mare come dragaggio di nuovi canali o approfondimento degli esistenti
	Aumento della salinità	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua
	Perdita del gradiente salino	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle

Variazione climatica attesa	Impatti attesi	Fattori antropici che concorrono a generare l'impatto
		connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Approfondimento della batimetria	Interventi antropici di dragaggio o di escavo canali
	Riduzione della penetrazione della luce con diminuzione della capacità fotosintetica della flora acquatica	Attività di dragaggio e movimentazione di sedimento per escavo di canali, pesca con mezzi meccanici, moto ondoso da natante
	Riduzione degli ambienti oligo-mesoalini	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Alterazione della composizione in specie	Prelievo delle risorse alieutiche
	Riduzione dell'habitat a canneto e dei servizi ecosistemici da esso forniti	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Riduzione delle praterie di piante acquatiche e dei loro servizi ecosistemici	Attività di eradicazione per interventi antropici quali dragaggi o pesca con mezzi meccanici
	Semplificazione della morfologia lagunare	Interventi antropici quali dragaggio o pesca con mezzi meccanici; escavo di canali o approfondimento di canali già esistenti
	Riduzione delle barene e dei loro servizi ecosistemici	Erosione delle superfici a barena per attività antropiche (esempio dragaggi, moto ondoso, escavo canali)
Peggioramento dello stato di conservazione di habitat e specie tipiche degli ambienti lagunari	Impatti antropici di varia natura, usi plurimi delle lagune (es. inquinamento delle acque, dragaggi, navigazione, turismo)	
Aumento degli eventi tempestosi	Erosione degli scanni/ cordoni litoranei di separazione della laguna dal mare	Urbanizzazione o usi turistici degli scanni/cordoni litoranei di separazione della laguna dal mare
	Marinizzazione delle acque lagunari	Interventi antropici che alterano gli scambi con il mare come dragaggio di nuovi canali o

Variazione climatica attesa	Impatti attesi	Fattori antropici che concorrono a generare l'impatto
		approfondimento degli esistenti. Riduzione dell'immissione di acqua dolce per diversione corsi d'acqua o per usi antropici (es: agricoltura).
	Aumento della salinità	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Perdita del gradiente salino	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Approfondimento della batimetria	Interventi antropici di dragaggio o di escavo canali. Riduzione dell'immissione di input fluviali di sedimento per diversione corsi d'acqua
	Aumento della torbidità con riduzione della penetrazione della luce con diminuzione della capacità fotosintetica della flora acquatica	Attività di dragaggio e movimentazione di sedimento per escavo di canali, pesca con mezzi meccanici, moto ondoso da natante
	Riduzione delle praterie di piante acquatiche sommerse e dei loro servizi ecosistemici	Attività di eradicazione per interventi antropici quali dragaggi o pesca con mezzi meccanici
	Aumento dei fenomeni erosivi	Attività di dragaggio e movimentazione di sedimento per escavo di canali, pesca con mezzi meccanici, moto ondoso da natante
	Semplificazione della morfologia lagunare	Interventi antropici quali dragaggio o pesca con mezzi meccanici; escavo di canali o approfondimento di canali già esistenti, Riduzione dell'apporto di sedimenti per diversione corsi d'acqua
	Riduzione delle barene e dei loro servizi ecosistemici	Erosione delle superfici a barena per attività antropiche (esempio dragaggi, moto ondoso, escavo

Variazione climatica attesa	Impatti attesi	Fattori antropici che concorrono a generare l'impatto
		canali). Riduzione dell'apporto di sedimenti per diversione corsi d'acqua
	Riduzione degli ambienti oligo-mesoalini	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Riduzione dell'habitat a canneto e dei servizi ecosistemici da esso forniti	Riduzione dell'immissione di acqua dolce per alterazioni dei corsi d'acqua e aumento di quella marina per alterazione delle connessioni con il mare, scavo di canali artificiali etc.
	Peggioramento dello stato di conservazione di habitat e specie tipiche degli ambienti lagunari	Impatti antropici di varia natura, usi plurimi delle lagune (es. inquinamento delle acque, dragaggi, navigazione, turismo)

3.4 Suolo e territorio

Il suolo e il territorio reagiscono in maniera complessa alle variazioni dei drivers climatici con molteplici feedback biofisici e biogeochimici a diverse scale spaziali e temporali, rendendo necessario considerare gli impatti climatici su suolo e territorio e gli impatti delle condizioni del suolo sul clima. Resta centrale il ruolo degli impatti diretti dei drivers umani in termini di uso e gestione delle relative risorse, anche in relazione agli impatti delle stesse opzioni di adattamento e di mitigazione.

Il suolo e il territorio forniscono la base principale per il sostentamento e il benessere umano, compresa la fornitura di cibo, acqua dolce e molti altri servizi ecosistemici, nonché la biodiversità. Svolgono inoltre un ruolo importante nel sistema climatico. La complessità dei fenomeni di degrado implica la necessità di valutare molti fattori rappresentativi di contesti estremamente eterogenei che siano allo stesso tempo sintetizzati in un approccio comune comparabile in ambiti pedoclimatici differenti.

Una gestione non sostenibile del suolo e del territorio può amplificare ed accelerare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla perdita di fondamentali servizi ecosistemici che un suolo naturale è in grado di fornire. Per esempio, precipitazioni sempre più intense e concentrate dopo lunghi periodi siccitosi, possono ad esempio provocare un aumento di fenomeni erosivi in grado di rimuovere i primi centimetri di suolo, generalmente più ricchi di sostanza organica e in grado di garantire un buon livello di fertilità. In aree urbane e periurbane il crescente aumento di superfici artificiali aumenta il fenomeno dello scorrimento superficiale, a scapito dell'infiltrazione delle acque meteoriche nel suolo e nel sottosuolo, in grado di innescare importanti fenomeni di dissesto idrogeologico (vedi paragrafo 3.5).

Necessario è dunque la valutazione del degrado del suolo come fattore chiave per definirne la resilienza ai cambiamenti climatici e di conseguenza pianificare gli interventi per invertirlo.

3.4.1 I fattori di degrado del suolo

Il degrado del suolo secondo la definizione ripresa dall'Agenda 2030 è la riduzione della capacità produttiva biologica della risorsa suolo, attraverso processi di solito strettamente e indissolubilmente legato alla perdita di biodiversità e agli impatti dei cambiamenti climatici, rendendo necessaria una valutazione che consideri diversi fattori interdipendenti e le diverse minacce che concorrono con differente incidenza al fenomeno.

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 UNCCD, organismo internazionale di riferimento per quanto riguarda il target 15.3. Seppur l'approccio migliore sia ancora oggetto di dibattito scientifico, l'UNCCD (2021) raccomanda a questo scopo l'utilizzo combinato di tre sub-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. La necessità di definire una metodologia condivisa, confrontabile e adattabile a scala globale spinge verso l'utilizzo di dataset basati sull'osservazione della Terra (come GEO-LDN e analoghi dataset globali) attraverso l'uso delle immagini fornite dalle missioni satellitari (es. programma Copernicus).

In questo quadro, e tenendo conto che si tratta di valutazioni utili a scala globale, il degrado viene valutato analizzando la variazione di tre sotto indicatori (stato e trend della copertura del suolo, della produttività e del carbonio organico) considerando come riferimento temporale una baseline (2000-2015) e uno specifico periodo. Il degrado complessivo viene derivato dall'integrazione dei diversi sotto indicatori con il criterio *One Out, All Out* (UNCCD, 2021).

La metodologia adottata non è in grado di tenere pienamente in considerazione alcuni importanti fenomeni specifici di degrado del suolo, particolarmente evidenti ed incisivi nel contesto italiano quali la salinizzazione, la contaminazione, la compattazione, etc., che andrebbero quindi ad aumentare l'effettiva superficie degradata e dunque come fenomeni da considerare.

Le valutazioni effettuate a livello italiano e prodotte con il supporto di ISPRA, ricalcando necessariamente la metodologia adottata in ambito globale in quanto utilizzate per gli SDGs e per la UNCCD, sono state arricchite integrando i dataset globali di minor dettaglio con le banche dati nazionali e comunitari. L'indicatore finale riassume quindi le informazioni relative alla baseline e al periodo di reporting definiti secondo i riferimenti definiti dalla UNCCD.

Le valutazioni effettuate nel 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%, riportati nella Tabella 3-11.

Nella stessa tabella, sono inseriti i valori in ettari e in percentuale delle quote di territorio classificate come degradate, stabili e migliorate. 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 quelle 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%).

Nel periodo considerato, sono stati aggiunti indicatori relativi a ulteriori misure dei fattori di degrado 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 (vedi paragrafi dedicati).

Tabella 3-11 Risultati calcolo indicatore SDG 15.3.1 per il livello nazionale e regionale

Regione	Land Degradation - SDG 15.3.1 (2019)							
	Stabile	Degradato (baseline più nuovo degrado)	Migliorato	Stabile	Degradato (baseline più nuovo degrado)	Migliorato	SDG 15.3.1	SDG 15.3.1 (al netto dei corpi idrici)
	(ha)	(ha)	(ha)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Piemonte	1.822.432	526.939	189.157	71,8	20,8	7,4	13,3	13,5
Valle d'Aosta	242.885	63.917	18.776	74,6	19,6	5,8	13,9	13,9
Lombardia	1.721.135	531.505	133.857	72,1	22,3	5,6	16,7	17,3
Liguria	400.788	106.587	33.646	74,0	19,7	6,2	13,5	13,5
Nord-Ovest	4.187.239	1.228.948	375.435	72,3	21,2	6,5	14,7	15,0
Friuli-Venezia Giulia	583.869	124.948	81.942	73,8	15,8	10,4	5,4	5,6
Trentino-Alto Adige	1.070.198	165.128	123.878	78,7	12,1	9,1	3,0	3,1
Emilia-Romagna	1.553.382	612.502	83.891	69,0	27,2	3,7	23,5	23,9
Veneto	1.399.112	327.21	107.005	76,3	17,8	5,8	12,0	12,7
Nord-Est	4.606.560	1.229.789	396.716	73,9	19,7	6,4	13,4	13,7
Umbria	531.944	229.488	83.968	62,9	27,1	9,9	17,2	17,5
Marche	578.088	248.891	105.218	62,0	26,7	11,3	15,4	15,5
Toscana	1.610.495	489.048	197.653	70,1	21,3	8,6	12,7	12,8
Lazio	990.89	506.119	222.318	57,6	29,4	12,9	16,5	16,8
Centro	3.711.418	1.473.546	609.157	64,0	25,4	10,5	14,9	15,1
Basilicata	753.68	196.587	48.772	75,4	19,7	4,9	14,8	14,9
Molise	333.883	97.984	12.058	75,2	22,1	2,7	19,4	19,5
Abruzzo	753.579	272.678	53.227	69,8	25,3	4,9	20,3	20,4
Calabria	1.133.892	324.625	46.718	75,3	21,6	3,1	18,5	18,6
Puglia	1.498.457	404.105	30.101	77,5	20,9	1,6	19,3	19,5
Campania	944.539	348.317	65.497	69,5	25,6	4,8	20,8	20,9
Sud	5.418.030	1.644.296	256.372	74,0	22,5	3,5	19,0	19,1
Sardegna	1.640.730	719.91	43.825	68,2	29,9	1,8	28,1	28,5
Sicilia	1.860.555	604.2	101.091	72,5	23,5	3,9	19,6	19,7
Isole	3.501.285	1.324.110	144.915	70,4	26,6	2,9	23,7	23,9
ITALIA	21.424.532	6.900.689	1.782.596	71,1	22,9	5,9	17,0	17,2

Circa 33.400 km² di suolo hanno subito un aumento di degrado dal 2016 al 2019, anche se la maggior parte del degrado è causato da un singolo fattore. La superficie di territorio raggiunta da 2 cause di degrado è circa 2.000 km² e circa 300 km² sono aree colpite da più di 2 cause, costituendo quindi aree di più alta criticità ambientale (Munafò, 2022).

3.4.2 Consumo di suolo

Tra le principali minacce di degrado del suolo nel territorio italiano c'è il consumo di suolo²⁶, processo associato alla perdita di questa risorsa ambientale fondamentale, limitata e non rinnovabile, prevalentemente dovuto alla costruzione di nuovi edifici, fabbricati e insediamenti, all'espansione delle città, alla densificazione o alla conversione di terreno entro un'area urbana, all'infrastrutturazione del territorio. Il consumo di suolo è definito come la variazione da una copertura non artificiale (suolo non consumato) a una copertura artificiale del suolo (suolo consumato), con la distinzione fra consumo di suolo permanente (dovuto a una copertura artificiale permanente) e consumo di suolo reversibile (dovuto a una copertura artificiale reversibile).

La perdita di permeabilità del suolo comporta anche la riduzione della sua capacità di assorbire ingenti quantitativi di acqua che raggiungono il suolo in occasione di fenomeni di precipitazione particolarmente intensa, con un aumento del rischio allagamenti. Suoli impermeabilizzati contribuiscono, inoltre, a determinare la cosiddetta isola di calore urbana, in particolare al centro delle grandi città.

²⁶ Il glossario completo delle definizioni è disponibile sul sito www.consumosuolo.isprambiente.it

Il Rapporto ISPRA-SNPA “Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici” fornisce ogni anno il quadro aggiornato dei processi di trasformazione del nostro territorio e analizza l’evoluzione del consumo di suolo all’interno di un più ampio quadro di analisi delle dinamiche delle aree urbane, agricole e naturali ai diversi livelli, attraverso diversi indicatori.

Il consumo di suolo continua a trasformare il territorio nazionale con velocità elevate. Nel 2021 le nuove coperture artificiali hanno riguardato altri 69,1 km² ovvero, in media, circa 19 ettari al giorno, con un’evidente accelerazione rispetto ai dati rilevati nel recente passato e invertendo nettamente la tendenza di riduzione degli ultimi anni. La crescita delle superfici artificiali è solo in parte compensata dal ripristino di aree naturali, pari a 5,8 km², dovuti al passaggio da suolo consumato a suolo non consumato (in genere grazie al recupero di aree di cantiere o di superfici che erano state già classificate come consumo di suolo reversibile) che si accompagna però a 11,9 km² passati da suolo consumato reversibile a permanente. Il consumo di suolo netto²⁷, negli ultimi dodici mesi, è dunque pari a 63,3 km², di cui 13,6 di nuovo consumo permanente. L’impermeabilizzazione è quindi cresciuta, complessivamente, di 25,5 km² andando ad interessare soprattutto nuovi edifici, infrastrutture, insediamenti commerciali, logistici, produttivi e di servizio e altre aree a copertura artificiale all’interno e all’esterno delle aree urbane esistenti.

In termini di superficie al 2021 le superfici artificiali sono stimate in circa 21.500 km², a cui devono essere aggiunti altri 624 km² di aree soggette ad altre forme di alterazione diretta a causa della copertura artificiale del suolo (come, ad esempio, le serre non pavimentate e i ponti) non considerate come causa di consumo di suolo. In termini percentuali (Figura 3-70), il suolo consumato riguarda il 7,13% (7,23% al netto della superficie dei corpi idrici permanenti).

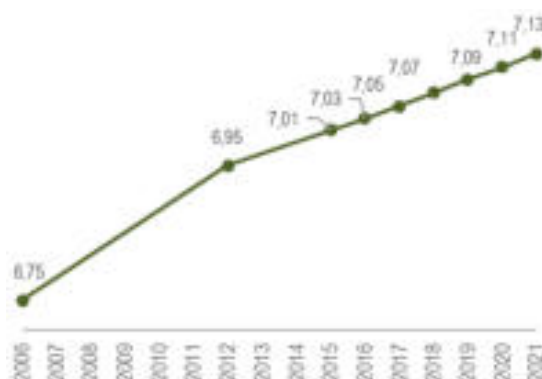


Figura 3-70: Stima del suolo consumato (2006-2021) in percentuale a livello nazionale. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

27 Il consumo di suolo netto è valutato attraverso il bilancio tra il consumo di suolo e l’aumento di superfici agricole, naturali e seminaturali dovuto a interventi di recupero, demolizione, de-impermeabilizzazione, rinaturalizzazione o altro (Commissione Europea, 2012).

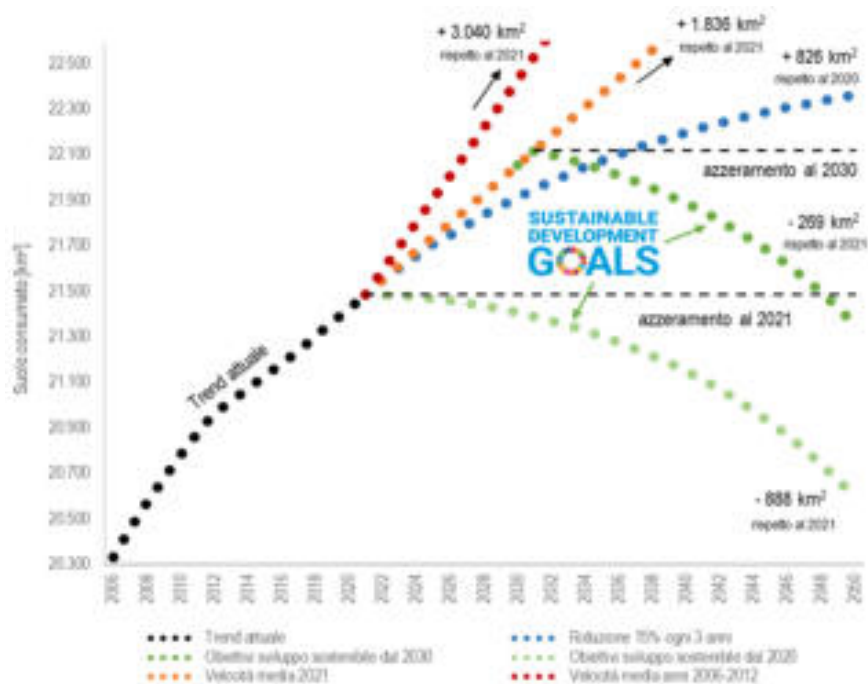


Figura 3-71: Scenari di consumo di suolo in Italia (km^2 di suolo consumato a livello nazionale al 2050). Fonte: elaborazione ISPRA

Alla luce dei dati di monitoraggio, ma anche sulla base dei diversi obiettivi, politiche e azioni ai vari livelli, sono stati elaborati alcuni scenari di consumo di suolo in Italia al 2050 (Figura 3-71), da cui si evince che nel caso in cui la velocità di trasformazione dovesse confermarsi pari a quella attuale anche nei prossimi anni, si potrebbe stimare il nuovo consumo di suolo, che sarebbe pari a 1.836 km^2 tra il 2021 e il 2050.

Relativamente ai cambiamenti rilevati nel 2020-2021, essi si concentrano in alcune aree del Paese, rimanendo particolarmente elevati nella pianura Padana, con maggiore intensità nella parte lombarda e veneta. Il fenomeno rimane molto intenso lungo tutta la costa adriatica, dal Veneto alla Puglia e con elevate densità di trasformazione in tratti del litorale marchigiano e in Abruzzo. Il Salento conferma la tendenza degli ultimi anni con una fortissima presenza di cambiamenti.

L'analisi della relazione tra il consumo di suolo e le dinamiche della popolazione conferma una crescita delle superfici artificiali anche in presenza di stabilizzazione, in molti casi di decrescita, della popolazione residente.

I fenomeni di urbanizzazione avvengono con sempre maggiore intensità ai margini della città consolidata e non risparmiano contesti agricoli e naturali ad elevata valenza ecologica, creando aree ibride e disperse non definibili propriamente né in termini di area urbana né di area rurale. L'analisi della dimensione spaziale delle aree urbane sulla base della Carta nazionale del consumo di suolo consente di evidenziare la distribuzione territoriale delle aree urbanizzate rispetto alla densità del costruito e rispetto alla densità composta del costruito e della popolazione (Munafò, 2022).

Per il 2021, rispetto alla sola densità del costruito, si osserva un'estensione delle aree ad alta densità (artificiale compatto) pari al 2,9% della superficie nazionale, mentre le aree artificiali a media/bassa densità coprono il 15,4%. Il restante 81,7% del territorio è occupato da aree rurali con superfici artificiali rade o assenti. Nel periodo compreso tra il 2006 e il 2021 si è assistito a un'espansione delle aree urbane dense di oltre 800 km^2 , mentre l'espansione del suburbano ha riguardato quasi 2.500 km^2 .

Con riferimento alla densità composta, i dati mostrano che il 90% del territorio nazionale è coperto da zone rurali che comprendono tutte le aree con basse densità sia di popolazione che di suolo consumato, il 7,3% da

aree urbane a media densità e l'1,9% da aree urbane ad alta densità. Solo lo 0,5% è relativo alla classe 4 con, alta densità di suolo consumato (superiori al 50%) e basse densità di popolazione (inferiori a 300 abitanti per km²) che nella maggior parte dei casi individua aree industriali, destinate ad attività produttive, infrastrutture o servizi (ad esempio quartieri fieristici, aree estrattive, aeroporti) o aree di recente costruzione non ancora abitate.

Tra i tanti impatti legati al consumo di suolo vi è la frammentazione del territorio, processo che genera una progressiva riduzione della superficie degli ambienti naturali e seminaturali e un aumento del loro isolamento (EEA, 2017). A livello nazionale il grado di frammentazione è monitorato attraverso l'indice effective mesh-density (Seff)²⁸ che misura l'ostacolo al movimento dovuto alla presenza sul territorio di barriere, definite come "elementi frammentanti". La rappresentazione dell'indice (Figura 3-72) mostra che le aree a frammentazione molto bassa sono localizzate prevalentemente nell'arco alpino e in limitate aree di alcune regioni meridionali e insulari, mentre le aree costiere e di pianura presentano i livelli più alti di frammentazione.



Figura 3-72: Indice di frammentazione (effective mesh density) su griglia regolare a 1 km² nel 2021. Valori più bassi dell'indice identificano livelli di frammentazione minori. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

Oltre alla frammentazione, il consumo di suolo produce la perdita di servizi ecosistemici, con perdite annuali stimate sulla base delle trasformazioni della copertura del suolo e del consumo di suolo rilevato. La stima dei costi totali della perdita del flusso annuale di servizi ecosistemici varia da un minimo di 3,3 a un massimo di 4 miliardi di euro **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, persi ogni anno a causa del consumo di suolo avvenuto tra il 2012 e il 2021 (Munafò, 2022). Il valore più alto di perdita è associato al servizio di

28 L'indice rappresenta la densità delle patch territoriali (n° di meshes per 1.000 km²) calcolate secondo la metodologia dell'effective mesh-size-meff (Jaeger, 2000) opportunamente modificata secondo la "cross-boundary connections (CBC) procedure" (Moser, et al., 2007) che garantisce la continuità di territorio oltre i limiti della reporting unit (cella di 1 km²).

regolazione del regime idrologico, ovvero all'aumento del deflusso superficiale prodotto dal consumo di suolo che è, infatti, tra gli effetti più significativi. Questa analisi conferma che il maggiore impatto del consumo di suolo avviene a discapito delle principali funzioni ovvero della regolazione dei cicli naturali (in particolare quello idrologico), della produzione di beni e materie prime (che, in questo caso, assolvono bisogni primari come acqua e cibo) e dell'assorbimento degli scarti della produzione umana (in questo caso la CO₂ derivante dai processi produttivi).

3.4.3 Copertura e uso del suolo

L'analisi differenziata delle dinamiche di copertura e uso del suolo, sono un riferimento nazionale per la conduzione di analisi sullo stato del territorio e del paesaggio e per lo studio di processi naturali e antropogenici. ISPRA, in quanto Punto Focale Nazionale (NFP) della rete Eionet dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) e in accordo al processo di modernizzazione avviato dall'EEA della rete Eionet, coordina attraverso il gruppo tematico Eionet Support to Copernicus land monitoring il flusso di dati a livello nazionale della componente Land di monitoraggio del territorio del programma Copernicus (CLMS) e in quanto tale realizza dati e cartografia di uso e copertura del suolo con elevata risoluzione spaziale e tematica e sistema di classificazione di uso e copertura in linea con le indicazioni europee del Gruppo EAGLE²⁹.

Dall'analisi della copertura per il 2018 (Munafò M. 2022), considerando il massimo dettaglio tematico (Tabella 3-12), quasi l'89% della superficie nazionale risulta occupato dalle superfici vegetate, seguite da quelle abiotiche (9,64%), per la maggior parte superfici artificiali, e da corpi idrici e zone umide (1,57 e 0,18%). Per quanto riguarda la vegetazione, questa è ripartita equamente tra componente legnosa ed erbacea (rispettivamente 44,40% e 44,20% della superficie nazionale). Nella vegetazione legnosa prevale la componente arborea, e in particolare le latifoglie (che occupano il 31,60% della superficie nazionale) seguiti dall'erbaico periodico (28,58%). Delle restanti 11 classi, 10 occupano meno del 10% della superficie nazionale. Nelle coperture abiotiche artificiali prevalgono le superfici impermeabilizzate.

Tabella 3-12: Copertura del suolo al massimo livello di dettaglio tematico

	ha	%
Superfici impermeabilizzate	1.331.356	4,42
Superfici non impermeabilizzate	159.907	0,53
Altre superfici artificiali non classificate	689.645	2,29
Superfici abiotiche consolidate	425.289	1,41
Superfici abiotiche non consolidate	299.160	0,99
Latifoglie	9.525.268	31,60
Conifere	1.872.749	6,21
Vegetazione arbustiva	1.984.060	6,58
Erbaceo periodico	8.612.858	28,58
Erbaceo permanente	4.710.229	15,63
Corpi idrici permanenti	441.374	1,46
Ghiacci e nevi perenni	33.208	0,11
Zone umide	54.873	0,18

Osservando i cambiamenti di copertura dal 2012 al 2018 le superfici abiotiche sono aumentate di poco più di 51.000 ettari e sono associate ad una diminuzione delle superfici vegetate di 48.304 ettari. La classe di copertura relativa a ghiacci e nevi perenni mostra una riduzione di circa 1.600 ettari mentre circa 35.000

²⁹ <https://land.copernicus.eu/eagle>

ettari di aree a copertura erbacea nel 2012 si sono trasformate nel 2018 in coperture abiotiche artificiali. Di notevole entità è anche la contrazione della copertura arborea avvenuta tra il 2012 e il 2018 che può essere associata alla presenza di aree incendiate, di aree destinate ad arboricoltura o soggette a taglio del bosco. La diminuzione di componente arborea a favore della classe di erbaceo ha interessato oltre 20.000 ettari di boschi di latifoglie, di cui circa 15.800 ettari si sono trasformati in erbaceo permanente e 5.000 in erbaceo periodico, mentre poco più di 4.000 ettari di boschi di conifere hanno lasciato il posto alla classe di erbaceo permanente. Altre trasformazioni al contrario hanno comportato l'aumento di vegetazione arborea che ha interessato circa 10.500 ettari tra conifere e latifoglie, soprattutto per passaggi di classe a partire dall'erbaceo periodico e permanente.

Dall'analisi al primo livello di classificazione della carta di uso del suolo 2018 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Tabella 3-13) risulta che oltre tre quarti del territorio nazionale sono destinati a foreste e arboricoltura da legno (30,66%) o agricolo (43,23%); in particolare, circa un quarto della superficie italiana (e metà delle aree agricole) è adibito a seminativi, mentre le restanti classi a uso agricolo occupano ciascuna meno del 10% del territorio. La classe urbano e aree assimilate copre poco meno del 10% del territorio nazionale, quella relativa ad "altri usi non economici" poco meno del 15%. Questa classe comprende le zone umide, tutte le aree con vegetazione rada o assente (spiagge, rocce, aree con vegetazione rada, aree incendiate, ghiacci e nevi perenni) e le aree con vegetazione naturale non arborea.

Tabella 3-13: Uso del suolo (2018)

Classe	Uso del suolo (2018)	ha	%	% sulla classe
1	Agricolo	13.029.441	43,23	-
1.1	Seminativi	7.752.868	25,72	59,48
1.2	Foraggere	889.955	2,95	6,83
1.3	Colture permanenti	2.227.217	7,39	17,09
1.4	Aree agroforestali	161.365	0,54	1,24
1.5	Altre aree agricole	1.998.036	6,63	15,33
2	Foreste e arboricoltura da legno	9.239.660	30,66	-
3	Cave e miniere	47.740	0,16	-
4	Urbano e aree assimilate	3.006.130	9,97	-
5	Usi d'acqua	441.379	1,46	-
6	Usi non economici	4.375.625	14,52	-
6.1	Zone umide	54.873	0,18	1,25
6.2	Altri usi non econom.	4.320.752	14,34	98,78

Dall'analisi dei flussi di cambiamento relativi alle classi di uso del suolo, si evince che il maggior flusso di cambiamento tra il 2012 e il 2018 ha riguardato l'espansione delle aree urbane dovuto principalmente all'aumento del consumo di suolo. Le colture permanenti fanno registrare un aumento di circa 3.400 ettari, e le altre aree con usi non economici un aumento di poco più di 1.300 ettari, mentre i seminativi e gli usi forestali mostrano una riduzione di 14.355 e 11.870 ettari rispettivamente. Analizzando i flussi associati alla trasformazione dei seminativi, si osserva che oltre 13.000 ettari si sono convertiti in uso urbano e aree assimilate, circa 10.000 ettari in colture permanenti e poco più di 5.000 ettari in altre aree agricole. Un altro flusso di cambiamento importante riguarda la diminuzione della classe di foreste e arboricoltura da legno, in primo luogo a causa degli incendi boschivi. Tale cambiamento riguarda gran parte degli 11.000 ettari di trasformazioni da foreste e arboricoltura da legno ad altri usi non economici. Circa 2.300 ettari di diminuzione delle aree a uso forestale sono invece connessi con l'espansione delle aree urbane. Relativamente invece agli oltre 8.000 ettari di aumento di foreste e arboricoltura da legno il motivo principale è rappresentato da

fenomeni di rinaturalizzazione delle aree agricole e di crescita del bosco nelle aree con copertura arbustiva o soggette a incendi nel 2012, e quindi interessate da ripresa vegetativa.

3.4.4 Perdita di Carbonio Organico nel suolo

La diminuzione del contenuto di Carbonio Organico nel Suolo (Soil Organic Carbon, SOC) è una delle principali minacce poiché i suoli costituiscono un'importante riserva di carbonio contenendo circa tre volte la quantità di carbonio immagazzinata nella biomassa vegetale e circa il doppio di quella presente in atmosfera (IPCC 2000). Il contenuto di carbonio è un indicatore importante della qualità del terreno e della sostenibilità nella sua gestione e varia notevolmente anche in funzione della temperatura del suolo e dei regimi di umidità (periodi secchi e umidi alternati) ed è pertanto fortemente correlato ai cambiamenti del clima. Le variazioni climatiche potranno dunque determinare una diminuzione del contenuto di carbonio dei suoli non solo a causa di una maggiore erosione ma anche a causa della maggiore ossidazione e mineralizzazione della sostanza organica in essi contenuta.

La perdita di SOC è diversa nei terreni minerali e organici. Per i terreni minerali, che interessano la maggior parte dei suoli agricoli italiani, l'agricoltura intensiva e la gestione insostenibile del territorio sono la principale causa della perdita di SOC. I principali fattori di questa minaccia possono essere la lavorazione del suolo, lasciando i terreni come maggese nudo, usando troppi fertilizzanti minerali e non abbastanza fertilizzanti organici, usando troppi pesticidi, applicando una semplice rotazione delle colture, la deforestazione, la combustione di biomassa e il drenaggio delle zone umide (Stolte et al., 2015). Dovrebbero essere applicate le corrette misure agrotecniche per prevenire la perdita di SOC. I contenuti di SOC negli orizzonti del suolo più superficiali sono strettamente correlati (positivamente o negativamente) ad altre minacce come la compattazione del suolo e l'erosione del suolo o alla fornitura di servizi ecosistemici come la produzione di biomassa e il controllo dell'erosione, mentre i cambiamenti lungo l'intero spessore del suolo possono essere più correlati all'impatto sugli equilibri dei gas a effetto serra e alla regolazione del clima.

La mappatura attualmente disponibile per l'Italia del contenuto di SOC dei suoli italiani è stata realizzata nell'ambito delle attività della Global Soil Partnership (FAO, 2019), costruita attraverso tecniche di Digital Soil Mapping con una selezione di circa 6700 profili rappresentativi e una serie di covariate (geologia, geomorfologia, uso del suolo, DEM, dati climatici, ecc.), 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 (vedi Figura 3-73).

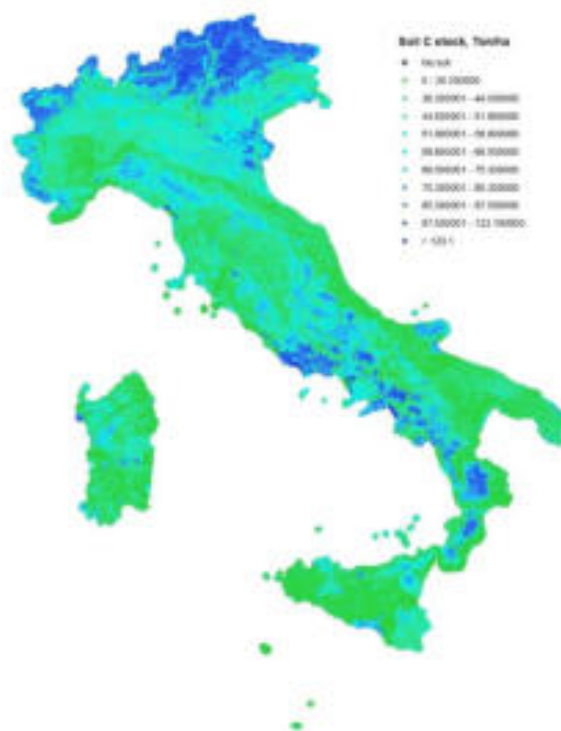


Figura 3-73: Contenuto in carbonio organico nei livelli più superficiali dei suoli italiani (0-30 cm). Fonte: CREA, CNR, Università di Foggia; Università Mediterranea di Reggio Calabria, ARPAV, ARSSA Calabria, Consorzio Lamma, Regione Toscana, ERSA-FVG, ERSAF Lombardia, IPLA, ISPRA, Regione Campania, Regione Emilia-Romagna, Regione Liguria, Regione Marche, Regione Puglia, Regione Siciliana.

3.4.5 Erosione idrica

L'erosione del suolo è considerata una minaccia molto importante tra la maggior parte dei paesi europei ed è considerata un problema regionale, specialmente nelle regioni collinari con terreni argillosi. I danni dovuti all'erosione si possono manifestare on-site (ad esempio, perdita di SOC e fertilità) e off-site (ad esempio, l'interrimento degli invasi). Eventi estremi e siccità hanno un impatto importante sui processi di erosione e sulla loro estensione, il che pone notevoli preoccupazioni quando si considerano gli scenari di cambiamento climatico.

L'erosione idrica del suolo è un fenomeno naturale estremamente complesso e inevitabile, parte integrante del processo di modellamento della superficie terrestre. Nelle aree agricole dove non sono applicate specifiche azioni agroambientali di controllo e mitigazione, l'erosione, soprattutto nelle sue forme più intense, rappresenta una delle principali minacce per la corretta funzionalità del suolo. La rimozione della parte superficiale del suolo ricca di sostanza organica ne riduce, anche in modo rilevante, la produttività e può portare, nel caso di suoli poco profondi, a una perdita irreversibile di terreni coltivabili.

Il fattore di erosione direttamente correlato ai cambiamenti climatici è l'intensità della pioggia: precipitazioni ben distribuite nel corso dell'anno, omogeneamente distribuite sul territorio e derivanti da eventi poco intensi riescono ad infiltrarsi nel terreno, garantendo la disponibilità delle risorse idriche nel terreno e nella falda. Al contrario precipitazioni di elevata intensità, distribuite in maniera non omogenea nel tempo e nello spazio, possono determinare problemi idrologici ed idraulici nonché alternanze di periodi con eccesso/difetto di acqua nel terreno.

L'entità della perdita di suolo per erosione stimata a livello europeo tramite il modello RUSLE (Panagos et al. 2015), evidenzia negli Stati membri valori medi di 2,46 tonnellate/ettaro * anno pari a 970 milioni di

tonnellate di suolo persi annualmente. In questa stima, 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.

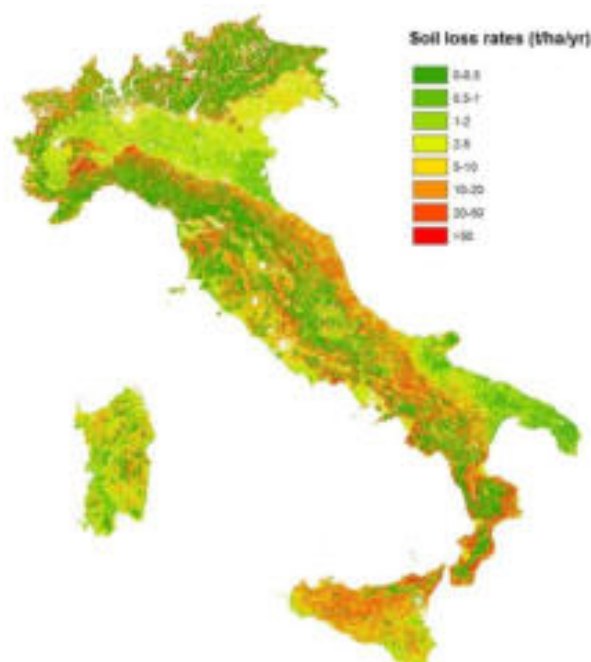


Figura 3-74: Stima della perdita di suolo per erosione idrica espressa in tonnellate/ettaro*anno (Fonte: JRC-IES)

3.4.6 Salinizzazione dei suoli

Il rischio di salinizzazione e l'accumulo di sodio in eccesso è considerato una delle maggiori minacce per i suoli agricoli italiani (Dazzi, 2008). Il fenomeno è dovuto principalmente alle acque ricche in sali o salmastre utilizzate per l'irrigazione ed è particolarmente evidente lungo le fasce costiere dove l'eccessivo sfruttamento delle falde, dovuto a prelievi di quantitativi d'acqua superiore agli apporti di acqua dolce, provoca l'intrusione del cuneo salino (cfr paragrafo 3.3.7) con effetti che si possono riscontrare per chilometri nell'entroterra delle pianure fluviali come nel caso del sud della Sardegna. 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 strettamente regolato da canali e stazioni di pompaggio, e l'intrusione di acqua marina lungo fiumi, canali e nelle falde acquifere è aggravata da fenomeni di subsidenza. Problemi di salinizzazione sono ben noti anche in Sicilia, 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 e Lo Papa, 2013, Selvaggi et al., 2010). 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.

All'interno delle attività della Global Soil Partnership è stato recentemente consegnato il risultato italiano per la Global Map of Salt-affected Soils (GSASmap) (FAO, 2022). L'elaborazione è avvenuta partendo dai diversi dataset regionali contenenti informazioni relativi alla conducibilità elettrica, pH ed ESP (percentuale di Na scambiabile) in due intervalli di profondità: 0-30 cm e 30-100 cm. I dati puntuali sono stati spazializzati con tecniche di DSM (Digital Soil Mapping) insieme alle informazioni provenienti da una serie di covariate continue e categoriche (litologia, distanza dalla linea di costa, precipitazioni, DTM, NDVI, etc.).

I risultati finali mostrano, con tutti i limiti del caso (non tutte le regioni hanno reso disponibili i propri dati, le informazioni vengono raccolte solo laddove si manifesta un potenziale problema di salinità, i dati relativi a pH, ESP e conducibilità non sono numericamente gli stessi), suoli non salini nei due intervalli di profondità (0-30 cm e 30 -100 cm) rispettivamente nel 55% e nel 77.8% dei casi, leggermente salini nel 44.5% e 20.5% e moderatamente salini nello 0.35% e 0.79% (vedi Figura 3-75)

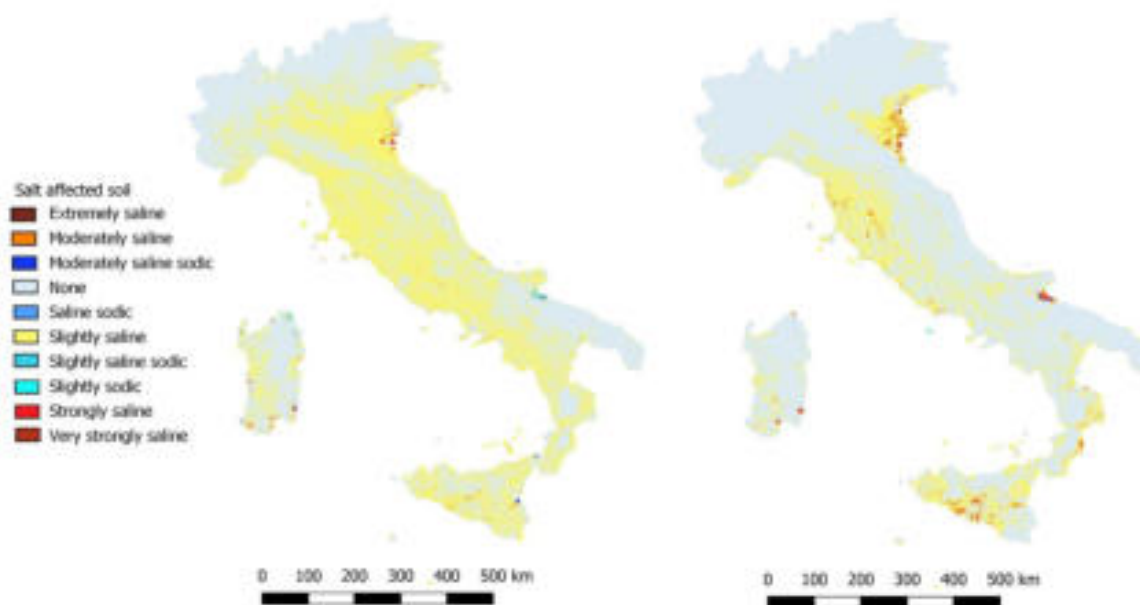


Figura 3-75: Suoli affetti da salinizzazione 0-30 cm (a sin.) e 30-100 cm (a destra) (Fonte: FAO, 2022)

3.5 Dissesto geologico e idraulico

I fenomeni di dissesto geologico, idrologico e idraulico sono diffusi e frequenti in Italia dove provocano gravi danni e costituiscono una seria minaccia per la popolazione. Sebbene le peculiarità del territorio italiano (geomorfologia, meteorologia e climatologia) giochino un ruolo fondamentale nell'origine di tali fenomeni, diversi fattori antropici contribuiscono in maniera determinante all'innesco 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).

3.5.1 Dissesto idraulico

I cambiamenti climatici in atto, come confermato dall'ultimo rapporto IPCC2022 (Sesto Rapporto di valutazione - AR6), incidono in maniera determinante sulle modalità di distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni. In questo contesto, in riferimento al tema del dissesto idrogeologico, e nello specifico, in riferimento al tema delle alluvioni, gli effetti dei cambiamenti climatici si traducono in un aumento delle portate e dei volumi di piena che si possono osservare in un determinato tempo e spazio lungo tutte le

principali aste fluviali del nostro territorio Nazionale. Si osserva, ultimamente, che precipitazioni più intense e concentrate determinano piene più rapide ed improvvise in particolare in bacini di piccole e media dimensione (fenomeno denominato *flash flood*), e contestualmente, in ambito urbano, si registrano in deciso aumento la forza e la frequenza delle alluvioni urbane (*pluvial fluds*). In questo contesto di imminente cambiamento, come già evidenziato dalla Direttiva 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvione (Direttiva Alluvioni o Floods Directive – FD), occorre considerare un ulteriore effetto di criticità dovuto all’impatto delle attività antropiche sull’incremento della pericolosità e del rischio associato alle alluvioni. L’aumento della probabilità di accadimento e di aggravamento delle condizioni dei fenomeni alluvionali, per effetto delle pratiche antropiche, avvengono a seguito di modificazioni permanenti della naturale capacità di espansione delle piene per una diffusa riduzione delle aree di drenaggio e del significativo consumo di suolo. Lo sfruttamento, la modifica e la riduzione delle piane inondabili da parte dell’uomo (i.e., incremento di strutture abitative, industriali, commerciali, ecc.) ha portato ad una drastica riduzione delle capacità di drenaggio delle superfici, il quale incide drasticamente sul modo in cui le acque si concentrano e defluiscono sul territorio. (Rapporto ISPRA sul consumo di suolo - Munafò, 2021). Tutti questi aspetti, unitamente alle modificazioni del ciclo idrologico per effetto dei cambiamenti climatici in atto, ci mettono di fronte alla necessità di intervenire in maniera sostanziale e determinante al fine di mitigare i rischi determinati dalle alluvioni sulla salute umana, l’ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche. In quest’ottica la Direttiva Alluvioni pone delle basi concrete per l’analisi delle problematiche attraverso la conoscenza del territorio, la prevenzione, la protezione, la preparazione e la ricostruzione/analisi post evento, al fine di concorrere alla riduzione del rischio di alluvioni. Nello specifico dispone che specifici piani di gestione siano predisposti nell’ambito delle attività di pianificazione di bacino e che questi prendano in considerazione i seguenti aspetti quantitativi: la portata della piena e l’estensione dell’inondazione; le vie di deflusso delle acque e le zone con capacità di espansione naturale delle piene; gli obiettivi ambientali (parte terza, titolo II, del D.Lgs. 152/2006); la gestione del suolo e delle acque; la pianificazione e le previsioni di sviluppo del territorio; l’uso del territorio; la conservazione della natura.

La raccolta e la presentazione dei dati, riassunti in seguito, sono forniti da ISPRA all’interno del Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvioni in Italia (Lastoria, 2021), e hanno lo scopo di delineare un quadro conoscitivo dettagliato sulle condizioni di pericolosità e di rischio alluvioni in Italia. Le informazioni sono fornite alla scala di Distretto Idrografico e nello specifico i risultati proposti, aggregati a scala nazionale, forniscono l’estensione e localizzazione delle aree potenzialmente allagabili e gli elementi a rischio per i diversi scenari di probabilità (High Probability Hazard - HPH, Medium Probability Hazard - MPH e Low Probability Hazard - LPH).

Scenari di probabilità associati al rischio

- Low Probability Hazard – LPH (bassa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)
- Medium Probability Hazard – MPH (media probabilità di alluvioni)
- High Probability Hazard – HPH (elevata probabilità di alluvioni)

La Direttiva Alluvioni 2007/60/CE stabilisce che si debbano adottare: per gli scenari di elevata probabilità o alluvioni frequenti, tempi di ritorno (TR) compresi fra 20 e 50 anni; per gli scenari di probabilità media o alluvioni poco frequenti, tempi di ritorno fra 100 e 200 anni; per gli scenari di scarsa probabilità o scenari di eventi estremi, tempi di ritorno superiori a 200 anni (fino a 500 anni).

L’analisi quantitativa permette di identificare con dettaglio le aree critiche sul nostro territorio Nazionale in termini di aree potenzialmente soggette a inondazione ed elementi esposti, e permette di conoscere le reali criticità a cui è necessario far fronte al fine di mitigare gli impatti, che l’uomo inevitabilmente ha generato e genera, e le ulteriori problematiche che i cambiamenti climatici stanno determinando. Attività necessarie affinché si possa rendere resiliente il nostro territorio alle inevitabili influenze umane e climatiche.

Aree soggette a rischio potenziale di alluvione

Alla luce dei risultati derivanti dalla mosaicatura delle aree allagabili realizzata dall’ISPRA, aggiornata al 2020, per i 3 scenari di pericolosità da alluvione previsti dalla Direttiva Alluvione (HPH, MPH e LPH) le aree a pericolosità elevata (HPH) raggiungono il 5,4% del territorio nazionale (4,1% al 2017); quelle a pericolosità media (MPH) sono il 10,0% (8,4% al 2017) e infine le aree a pericolosità bassa (LPH) raggiungono il 14,0% (10,9% al 2017) (Vedi Figura 3-76). Interessante è osservare l’incremento delle diverse percentuali se confrontate con la precedente mosaicatura ISPRA 2017. Questa mostra, per gli stessi scenari di pericolosità, valori inferiori rispetto al dato aggiornato più recente. Nello specifico si osservano valori del 4,1%, 8,4% e 10,9% rispettivamente per HPH, MPH e LPH, e quindi una tendenza di crescita in termini di aree critiche esposte a pericolosità da alluvioni.

HPH High Probability Hazard		MPH Medium Probability Hazard		LPH Low Probability Hazard	
(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
16.223,9	5,4	30.195,6	10,0	42.375,7	14,0

Figura 3-76: Aggregazione dei dati a livello Nazionale. Estensione delle aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione – Mosaicatura ISPRA, 2020.

Più in dettaglio, se si osservano i risultati della perimetrazione ISPRA 2020 a scala regionale, è possibile analizzare le principali differenze osservabili spazialmente sul nostro territorio in termini di distribuzione di aree potenzialmente allagabili. In Figura 3-77, viene rappresentata la percentuale di territorio regionale interessato da aree potenzialmente allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione. Dalle analisi condotte da ISPRA si osserva che le Regioni con percentuali di territorio a rischio allagamento superiore rispetto ai valori calcolati alla scala nazionale sono Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia Romagna, Toscana e Calabria.

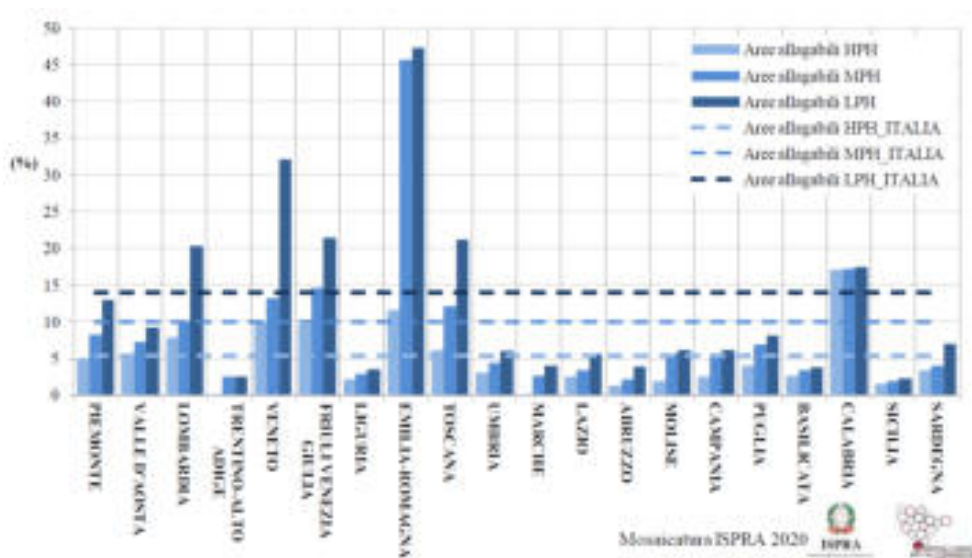


Figura 3-77: Percentuale di territorio regionale interessato da aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione.

La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili ha permesso di identificare in maniera quantitativa le percentuali di popolazione, impianti IED e impianti RIR (Seveso) esposti a tale rischio.

Per la trattazione dell'esposizione dei beni culturali alla pericolosità da alluvioni si rimanda al paragrafo relativo al patrimonio culturale.

Popolazione esposta a rischio alluvioni

Sulla base degli stessi scenari di pericolosità, e per confronto indicando i risultati della precedente mosaicultura ISPRA 2017, la popolazione residente in aree a pericolosità elevata (HPH) raggiunge il 4,1% della popolazione nazionale (3,5% al 2017); quella esposta a pericolosità media (MPH) è l'11,5% (10,4% al 2017) e infine la popolazione in aree a pericolosità bassa (LPH) è il 20,6% (15,7% al 2017) (Vedi Figura 3-78). Analogamente a quanto osservato in precedenza si osserva una proporzionale crescita della popolazione esposta a rischio rispetto al passato.

HPH High Probability Hazard		MPH Medium Probability Hazard		LPH Low Probability Hazard	
(n. abitanti)	(%)	(n. abitanti)	(%)	(n. abitanti)	(%)
2.431.847	4,1	6.818.375	11,5	12.257.427	20,6

Figura 3-78: Aggregazione dei dati a livello Nazionale. Popolazione residente in aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione – Mosaicultura ISPRA, 2020

Anche in questo caso, un'analisi più dettagliata a scala regionale permette di osservare e quantificare maggiormente le principali disuniformità, presenti sul nostro territorio, in relazione alla popolazione residente esposta ad aree potenzialmente allagabili. In Figura 3-79, è rappresentata la percentuale di popolazione regionale residente in aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione. In dettaglio è possibile riscontare che le regioni Veneto, Liguria, Emilia-Romagna e Toscana hanno percentuali di popolazione esposta a rischio di alluvione superiori ai valori calcolati alla scala nazionale per tutti gli scenari di pericolosità analizzati (vedi Figura 3-79).

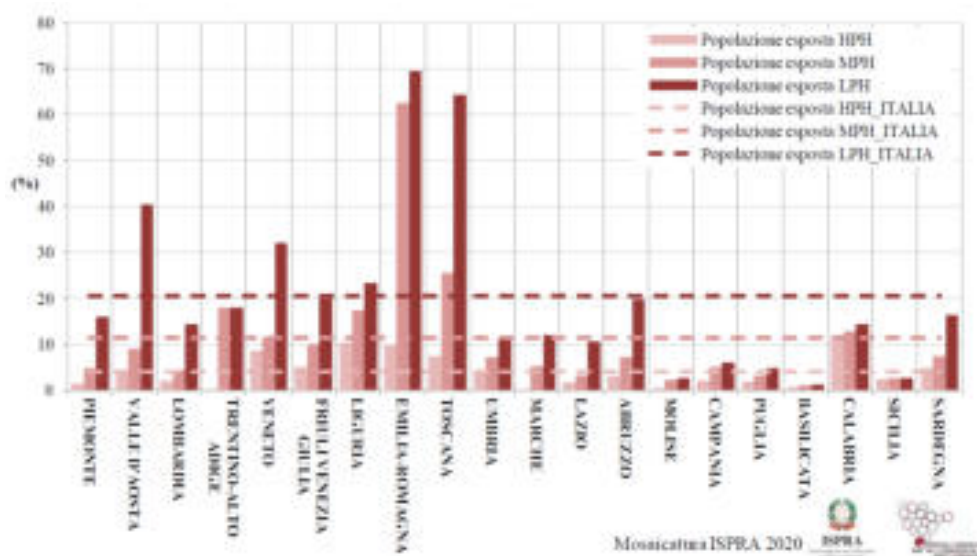


Figura 3-79: Percentuale di popolazione regionale residente in aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione.

Impianti IED e impianti RIR (Seveso) esposti a rischio alluvione

Altro dato importante, messo in luce dal rapporto ISPRA, riguarda la percentuale di zone a rischio alluvione che sono caratterizzate dalla presenza di impianti IED e impianti RIR (impianti a rischio di incidente rilevante).

Questo dato è importante in quanto il rischio legato alla loro presenza in aree allagabili non consiste solo nell'eventuale perdita di valore del bene a seguito di danneggiamento, ma alla possibilità che tali impianti possano essere fonte di inquinamento a causa del loro danneggiamento per effetto della potenziale alluvione. A livello Nazionale gli impianti ricadenti in aree a pericolosità elevata (HPH) sono rispettivamente il 11,6% del totale nazionale degli IED e il 12,8% del totale nazionale dei RIR; quelli esposti a pericolosità media (MPH) sono rispettivamente il 25,8% del totale nazionale degli IED e il 24,7% del totale nazionale dei RIR e infine gli impianti in aree a pericolosità bassa (LPH) sono rispettivamente il 38,0% del totale nazionale degli IED e il 34,5% del totale nazionale dei RIR (Vedi Figura 3-80).

IMPIANTI	HPH High Probability Hazard		MPH Medium Probability Hazard		LPH Low Probability Hazard	
	(n. impianti)	(%)	(n. impianti)	(%)	(n. impianti)	(%)
IED	466	11,6	1.039	25,8	1.530	38,0
RIR	127	12,8	245	24,7	342	34,5

Figura 3-80: Aggregazione dei dati a livello Nazionale. Impianti presenti in aree allagabili per i diversi scenari di probabilità di alluvione – Mosaicatura ISPRA, 2020

Anche per quest'ultimo aspetto risulta importante un'analisi più dettagliata a livello regionale. Nella Figura 3-81 e Figura 3-82, sono riportati gli impianti IED e RIS (Seveso) esposti a rischio di alluvioni nelle singole Regioni italiane, espressi in termini percentuali rispetto al totale degli impianti presenti nelle Regioni stesse, sempre con riferimento ai tre scenari di pericolosità. In riferimento agli impianti IED (Figura 3-81), le Regioni Valle d'Aosta, Emilia-Romagna, Toscana, Molise e Calabria hanno percentuali di impianti IED esposti a rischio di alluvione superiori ai valori calcolati alla scala nazionale per tutti gli scenari di pericolosità. Mentre in riferimento agli impianti RIR (Seveso), (Figura 3-82), sono le Regioni Valle d'Aosta, Liguria, Emilia-Romagna, Toscana, Umbria, Molise e Calabria ad avere percentuali di impianti RIR (Seveso) esposti a rischio di alluvione superiori ai valori calcolati alla scala nazionale per tutti gli scenari di pericolosità.

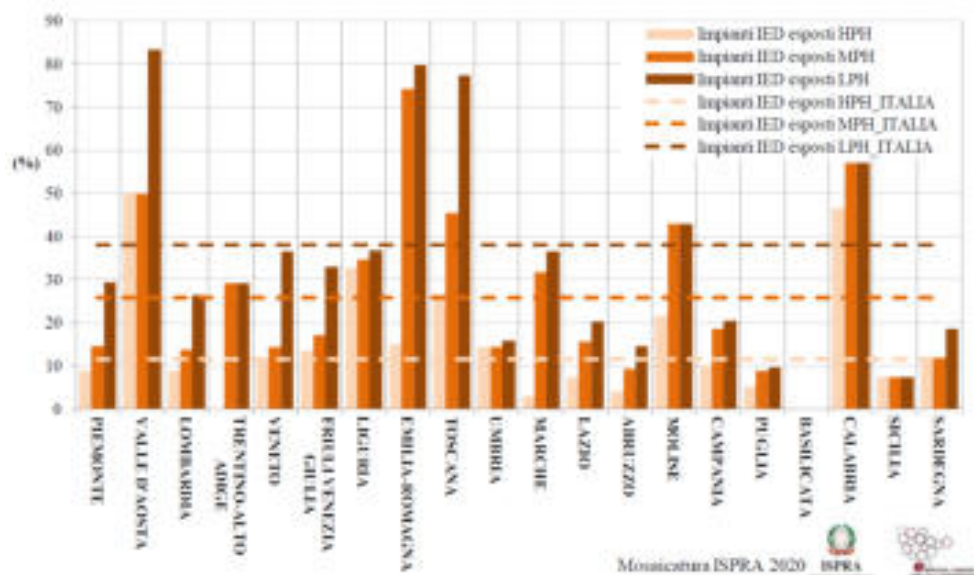


Figura 3-81: percentuale di impianti IED a scala regionale ricadenti in aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione.

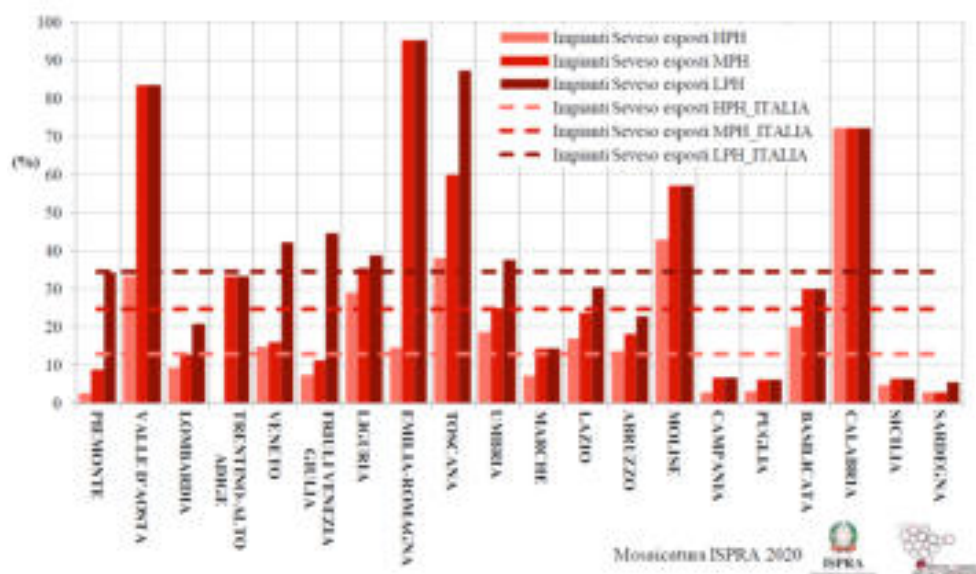


Figura 3-82: Percentuale di impianti RIR (Seveso) a scala regionale ricadenti in aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione.

Strumenti di mitigazione del rischio alluvione

In termini di contrasto e mitigazione degli effetti del rischio alluvioni, la Direttiva Alluvioni sostiene la necessità di prediligere iniziative di tipo non strutturali rivolte alla riduzione della probabilità di inondazione (i.e., promozione di pratiche sostenibili di uso del suolo, il miglioramento della capacità di ritenzione delle acque e la conservazione della natura). Questi tipi di intervento consistono nell'applicazione di vincoli all'uso del suolo, rimozioni o delocalizzazioni, misure atte a ridurre il deflusso nei sistemi di drenaggio naturali o artificiali, migliorando la naturale capacità di infiltrazione e di invaso e agendo quindi sui meccanismi di formazione e propagazione dei deflussi. Tutti interventi che sostanzialmente cercano di contrastare da un lato gli effetti negativi potenzialmente indotti da attività antropiche, e contestualmente mettere in atto interventi che possano rendere più resiliente il nostro territorio agli effetti dei cambiamenti climatici.

Sul tema dei Cambiamenti Climatici, un punto di vista importante, in ottica di mitigazione del rischio, può essere fornito dal tema inerente alla modellistica idraulica-idrologica previsionale. Le analisi quantitative precedentemente esposte (i.e., analisi della percentuale di territorio esposto a potenziale rischio alluvione), derivano da una precisa e dettagliata analisi di modellistica numerica idraulica. In maniera del tutto generale, questo tipo di analisi permette di integrare dati geometrici (i.e., DTM – caratteristiche del territorio) ed idrologici (i.e., precipitazioni e portate idriche) con l'obiettivo di fornire, tramite la risoluzione di specifici algoritmi, delle valutazioni quantitative in termini di portata (associata ad uno specifico Tempo di Ritorno - TR) e relative aree di potenziale allagamento (con riferimento sempre ad uno specifico TR). (TR = probabilità che un determinato evento di portata Q possa verificarsi). In quest'ottica può risultare di particolare interesse la ricerca scientifica, che in questi ultimi anni è portata avanti da diversi ricercatori con l'obiettivo di valutare e stimare le evoluzioni future dei massimi di precipitazione/portate a diverse scale spaziali e temporali (Pumo et al_2016, Ravazzani et al_2014, Romano e Preziosi_2013 e Vezzoli et al_2015).

Questo tipo di ricerca scientifica, focalizzata ad analizzare e quantificare gli effetti dei Cambiamenti Climatici sulla gestione e variazione delle portate idrologiche, al momento, in virtù delle attuali incertezze nella modellistica climatica, può essere utilizzata essenzialmente per comprendere quale possa essere la "direzione" e la "magnitudo" delle variazioni attese nella distribuzione dei valori massimi sull'area di interesse. Un miglioramento in questa direzione può quindi fornire gli strumenti modellistico-previsionali in

grado di stimare, con sempre maggior grado di confidenza, quelle che potenzialmente possono essere le aree soggette a rischio e di conseguenza salvaguardare, con un livello di sicurezza maggiore, la popolazione, i beni e gli impianti esposti a tale rischio.

Indicatori-strumenti di mappatura del territorio

In precedenza, si è fatto riferimento alle *pluvial flood* e alle *flash flood*. Come già in parte introdotto, tutti questi tipi di fenomeni sono fortemente influenzati, oltre che dai meccanismi precipitativi (intensità e distribuzione spaziale delle piogge) anche dalle caratteristiche topografiche del territorio (morfologia e pendenza) e dalla permeabilità dei suoli.

In linea con quanto riportato nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC), è probabile che tipologie di piene quali le *pluvial flood* e le *flash flood* si verificheranno sempre con maggiore frequenza. In questo contesto, un ulteriore fenomeno particolarmente gravoso, se si fa riferimento all'ambito montano/collinare, è rappresentato dalle cosiddette colate detritiche (*debris flow*). Questo tipo di fenomeno si verifica principalmente in aree in cui è molto abbondante la disponibilità di sedimento propenso alla mobilitazione in combinazione con la notevole capacità di trasporto dei deflussi idrici. Nell'ottica di osservare fenomeni pluviometrici con sempre maggior frequenza e forza, per effetto dei Cambiamenti Climatici, è facile aspettarsi che eventi di questo tipo, in aree con caratteristiche idrogeologiche fragili, possono verificarsi con sempre maggior probabilità.

In virtù di queste considerazioni, valutata la rilevanza in termini di frequenza e di impatti degli eventi intensi e concentrati sul territorio Nazionale, ISPRA all'interno del Report Alluvioni, mostra una panoramica di tutti gli eventi passati che si sono verificati sul territorio e catalogati all'interno della piattaforma WebGIS FloodCat (Flood Catalogue). Questa analisi, derivante dalla valutazione preliminare del rischio (Preliminary Flood Risk Assessment – PFRA), prevista dalla Direttiva Alluvioni, si propone di individuare aree a potenziale rischio significativo (Areas of Potential Significant Flood Risk – APSFR) a partire da informazioni disponibili o facilmente reperibili su eventi del passato (past flood o past event) e su scenari di possibili alluvioni future (future flood o future event). In questi ultimi sono inclusi gli scenari associati ai cambiamenti climatici derivanti da modellazione/ricostruzione idrologico-idraulica (compresi, ad es., scenari di rotte arginali) e/o con applicazione di metodi e criteri geomorfologici.

Per dare una panoramica generale del numero di eventi rilevanti avvenuti sul nostro territorio Nazionale si riportano le elaborazioni fornite da ISPRA (Figura 3-83) in cui è riportata l'insieme degli eventi inseriti nella piattaforma FloodCat con riferimento al periodo 2012-2018. Il numero totale di eventi è di 314, prevalentemente di origine fluviale e pluviale. Si riportano in Figura il numero di eventi alluvionali del passato suddivisi per origine dell'inondazione prendendo in esame anche le inondazioni marine delle aree costiere e le inondazioni/allagamenti da insufficienza delle infrastrutture di collettamento/drenaggio.

RBD	Flu	Plu	SeaW	AWBI	Other	Totale RBD
Alpi Orientali	3	14	0	0	7	24
Fiume Po	62	28	5	0	2	97
Appennino Settentrionale	39	26	8	0	0	73
Appennino Centrale	28	8	0	1	6	43
Appennino Meridionale	25	19	6	6	4	60
Sardegna	2	0	0	0	0	2
Sicilia	8	5	1	1	0	15
Totale ITALIA	167	100	20	8	19	314

Figura 3-83: Numero di eventi alluvionali del passato suddivisi per source of flood (origine dell'inondazione) occorsi nei Distretti Idrografici (RBD) nel periodo 2012-2018. Flu (Fluvial): alluvione dovuta all'esonazione delle acque del reticolo

idrografico; Plu (Pluvial): allagamento provocato direttamente dalle acque di pioggia; SeaW (Sea Water): inondazioni marine delle aree costiere; AWBI (Artificial Water Bearing Infrastructure): inondazione/allagamento da insufficienza delle infrastrutture di collettamento/drenaggio.

In quest'ottica, soprattutto in termini di analisi di eventi futuri, si è reso necessario lo sviluppo di una metodologia per la mappatura, a scala di sottobacino idrografico, della propensione al verificarsi di fenomeni tipo flash flood secondo criteri basati sulle caratteristiche del bacino e considerazioni statistiche pluviometriche di eventi estremi (Brugioni et al., 2010). Questa analisi di propensione al flash-flood, denominata *Metodologia flash flood*, sviluppata dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale, viene proposta a livello nazionale come possibile metodologia per tener conto dei Cambiamenti Climatici, in quanto un effetto di questi ultimi si esplica proprio nell'intensificazione di eventi meteorici intensi e concentrati, i quali sono considerati alla base della metodologia stessa. A titolo esemplificativo si riporta in Figura 3-84 un esempio di applicazione della metodologia, in cui è mostrata, a scala di bacino, la propensione al fenomeno delle flush flood di alcune aree dell'area presa in esame.

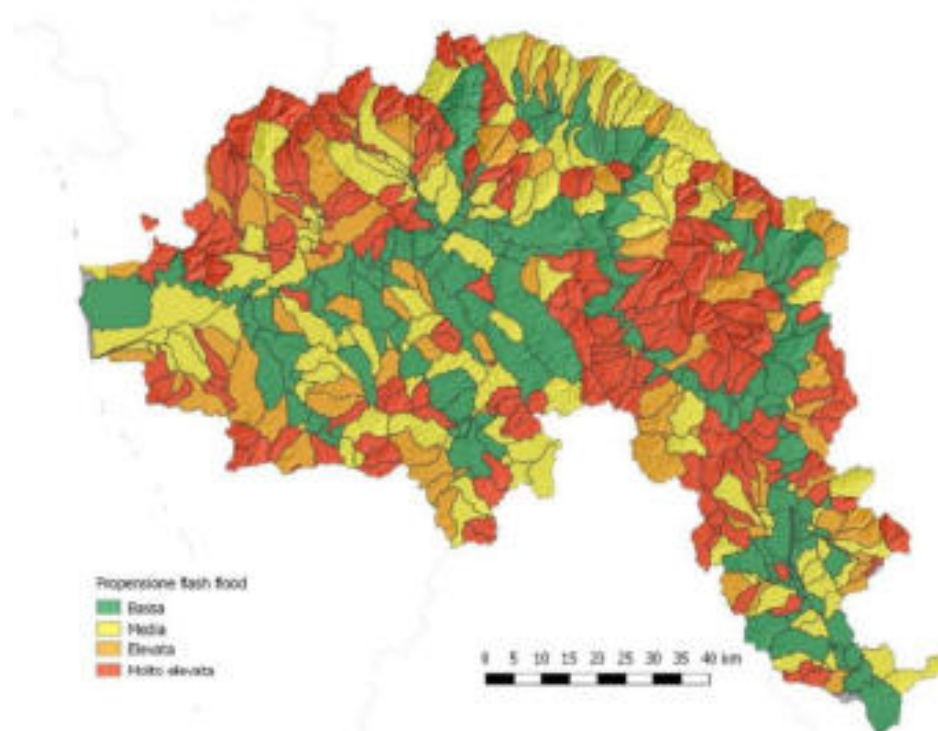


Figura 3-84: Analisi della propensione al fenomeno delle flush flood

3.5.2 Pericolosità geomorfologica

In riferimento alle problematiche inerenti gli impatti dei cambiamenti climatici sulla pericolosità geomorfologica è necessario tener presente che attualmente, notevoli e diverse fonti di incertezza (tra le altre, la quantità e qualità delle serie storiche di osservazioni, carenze delle attuali catene modellistiche di simulazione climatica, contemporanee variazioni nell'uso e nella copertura del suolo e dei livelli di antropizzazione) rendono complessa ed incerta la stima della variazione di occorrenza e magnitudo dei fenomeni di dissesto.

Data la limitatezza e la risoluzione delle serie storiche disponibili, i dati raccolti, nell'ambito delle problematiche relative ai cambiamenti climatici, risultano insufficienti per effettuare valutazioni precise circa

evoluzione ed effetti degli indicatori, nel caso specifico, rappresentati da frane, alluvioni e processi di dilavamento intenso. Di conseguenza tali indicatori devono essere assunti come proxy data delle differenti tipologie di dissesto, e solo una analisi dei contesti territoriali più accurata e distribuita nel tempo consentirà l'individuazione di indicatori ad hoc.

In questo contesto contrassegnato dall'elemento "incertezza", qualora le variazioni delle temperature dovessero seguire il trend degli ultimi anni, lo scenario è rappresentato da un progressivo aumento delle acque di fusione delle masse glaciali, soprattutto polari (in primis gli inlandsis dell'Antartico e della Groenlandia) e, secondariamente, di quelle delle medie e basse latitudini, con conseguente incremento degli afflussi di acqua nei mari e innalzamento del livello marino. Quest'ultimo non si traduce solo in un arretramento della linea di riva nelle aree caratterizzate da coste basse e da assenza di significativi movimenti verticali positivi del suolo (uplift) imputabili a cause diverse (isostasia, tettonica, attività vulcanica, ecc.), ma anche in un innalzamento del livello di base dei corsi d'acqua nelle piane alluvionali della fascia costiera, con conseguente maggiore difficoltà di deflusso delle acque fluviali, che può riflettersi in un aumento dell'esposizione di queste aree ai fenomeni alluvionali. Inoltre, l'incremento delle temperature produce effetti anche sul permafrost come vedremo nella trattazione di seguito esposta relativamente ai singoli fenomeni in questione.

EVENTI FRANOSI PRINCIPALI

Come riportato nel Rapporto ISPRA relativo al "Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio" (Edizione 2021) le frane censite nell'Inventario dei Fenomeni Franosi (Progetto IFFI) ammontano a circa 625.000, occupando un'area di estensione pari a quasi 24.000 km², pari al 7,9% del territorio nazionale.

Gli eventi franosi principali traggono origine da diversi fattori (caratteristiche geologiche e morfologiche dei versanti, precipitazioni, interventi antropici, ecc.) distinti in predisponenti e innescanti. Tra essi, in relazione all'argomento che stiamo trattando, un ruolo determinante viene svolto dalle precipitazioni: in particolare quelle brevi e intense agiscono sull'innescamento delle frane superficiali, mentre quelle persistenti sui movimenti franosi caratterizzati da una maggiore profondità della superficie di scorrimento.

Dai dati finora a disposizione si osserva che i cambiamenti climatici, rispetto ai fenomeni in questione, manifestano i loro effetti in maniera diversificata: da un lato agendo in modo diretto, determinando un aumento della frequenza delle piogge di breve durata ed elevata intensità, dall'altra, in maniera indiretta. In quest'ultimo caso l'innalzamento delle temperature, associato a periodi di prolungata siccità possono incrementare la frequenza degli incendi che, privando il suolo della propria copertura vegetale, lo espongono all'azione degli agenti esogeni. In entrambi i casi, comunque, i fenomeni che si attivano sono quasi esclusivamente superficiali, includendo in essi anche le colate rapide di detrito (debris flow e mud flow).

Dato che i fattori di innescamento dei movimenti franosi possono essere molteplici, come ad esempio le precipitazioni brevi e intense e quelle persistenti, i terremoti, le eruzioni vulcaniche, gli interventi antropici (escavazioni, realizzazione di dighe o invasi, sovraccarichi dovuti ad edifici o rilevati, ecc.), come premesso, gli eventi franosi principali non possono essere considerati un indicatore specifico per misurare gli impatti dei cambiamenti climatici, ma possono essere utilizzati solo come un indicatore proxy (Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici - SNPA 2021).

L'indicatore in questione fornisce un quadro dei principali eventi franosi verificatisi annualmente sul territorio nazionale a seguito di eventi pluviometrici, sismici o per cause antropiche.

Un quadro sulla distribuzione delle frane in Italia può essere ricavato dall'indice di franosità, pari al rapporto tra l'area in frana e la superficie totale, calcolato su una maglia di 1 km di lato (Figura 3-85). La Figura 3-86 mostra le aree a pericolosità da frana PAI, mentre la Figura 3-87 evidenzia la distribuzione degli eventi franosi principali, nel periodo 2020-2021, a livello provinciale.



Figura 3-85 - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – IFFI; Piattaforma IdroGEO (<https://idrogeo.isprambiente.it>).

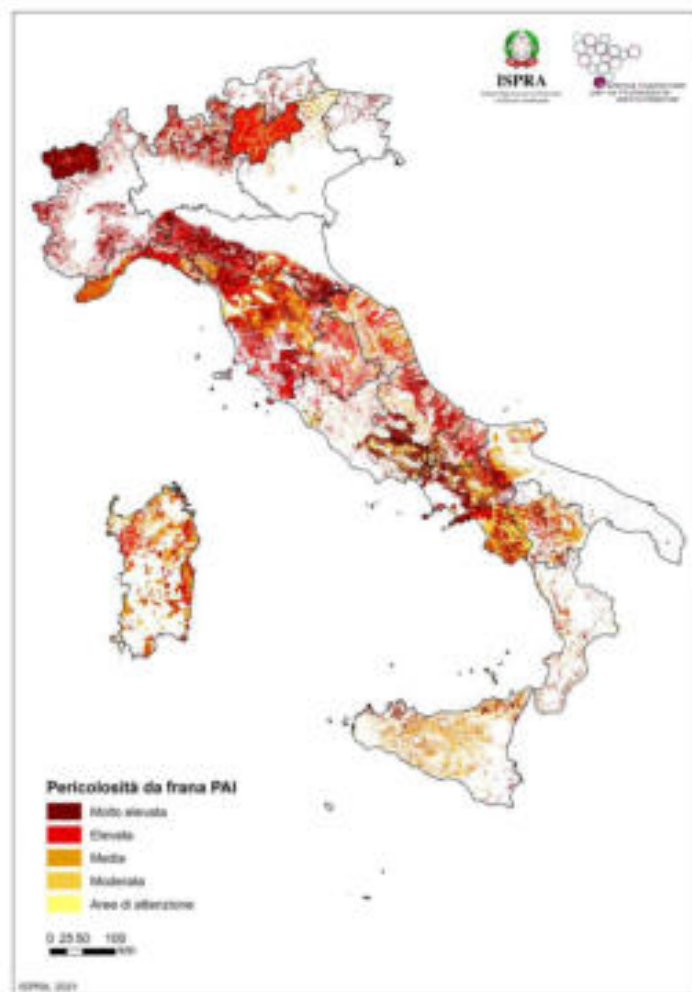


Figura 3-86 - Aree a pericolosità da frana PAI – Mosaicatura 2020-2021. Fonte Rapporto ISPRA 2021 su Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio (356-2021)

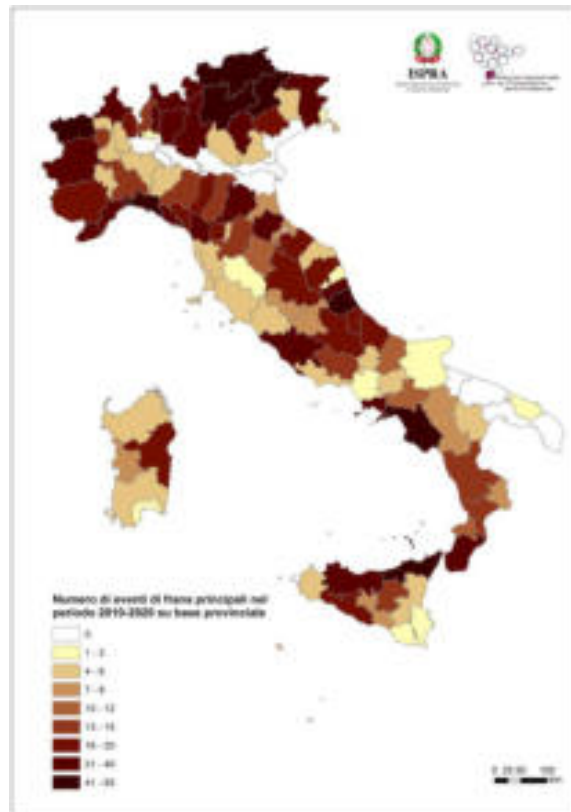


Figura 3-87 – Eventi franosi principali per provincia nel periodo 2020-2021. Fonte Rapporto ISPRA 2021 su Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio (356/2021)

ALLUVIONI E PROCESSI DI DILAVAMENTO INTENSO

Le alluvioni dipendono da diversi fattori (caratteristiche geologiche e morfologiche del bacino idrografico, copertura vegetale, urbanizzazione, ecc.), ma principalmente dal regime delle precipitazioni. Queste, come citato nel paragrafo precedente, rientrano tra le cause anche delle frane ma, nel caso specifico, il legame tra alluvioni e precipitazioni è più netto e determinante, rappresentando, queste ultime, di gran lunga la causa più importante. Tali fenomeni si caratterizzano per la loro spiccata eterogeneità spaziale e l'analisi delle precipitazioni storiche è condizionata dalla disponibilità e dalla qualità di osservazioni, che in Italia sono fruibili per un numero di siti e per periodi di tempo relativamente limitati.

Nello specifico va sottolineato il fatto che, negli ultimi tempi, le aree di pertinenza fluviale, oltre ad essere sede dei processi legati alle dinamiche naturali, sono state interessate, in maniera sempre più crescente, da un altro elemento, rappresentato dal processo morfogenetico antropico, a seguito dell'espansione urbana che ha interessato l'Italia dal dopoguerra ad oggi. Ciò ha determinato la progressiva occupazione delle aree perifluviali e la conseguente artificializzazione della rete idrografica (riduzione aree golenali, tombamenti, rettifica del tracciato, cementificazione dell'alveo, variazioni del profilo longitudinale, costruzione di opere idrauliche, ecc.), lo sviluppo di insediamenti, strutture e infrastrutture, che hanno sempre più sottratto gli spazi naturali a disposizione di fiumi e torrenti, la concentrazione delle onde di piena (picchi più elevati, ampiezze minori e tempi di corrivazione minori) e la riduzione della permeabilità dei suoli, che hanno portato ad un aumento delle condizioni di pericolosità da esondazione. Dato che, come sopra citato per le frane, anche i fenomeni legati alle esondazioni dipendono da molteplici fattori, l'indicatore relativo alle alluvioni può essere considerato un proxy.

Nelle Figura 3-88, Figura 3-89 e Figura 3-90 sono rappresentate le aree allagabili su base nazionale per i 3 scenari di pericolosità da alluvione: alta (HPH), media (MPH) e bassa (LPH).

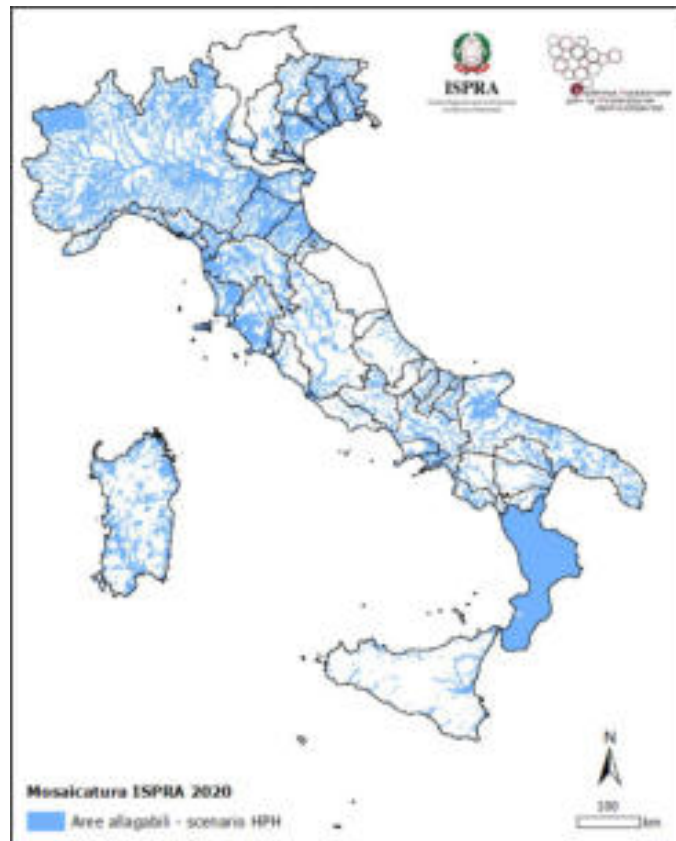


Figura 3-88 - Aree allagabili per scenario di pericolosità da alluvione elevata (High Probability Hazard – HPH)

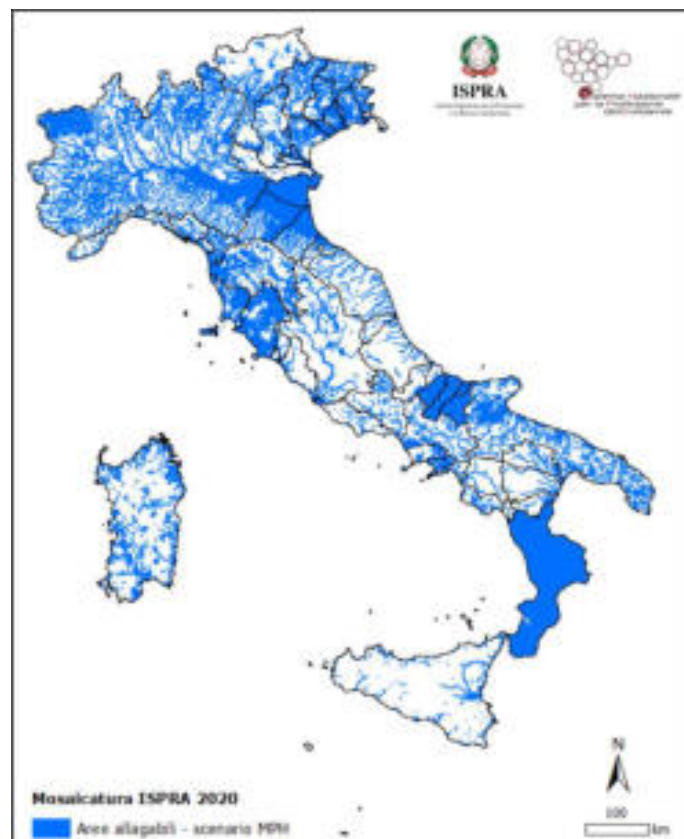


Figura 3-89- Aree allagabili per scenario di pericolosità da alluvione media (Medium Probability Hazard – MPH)

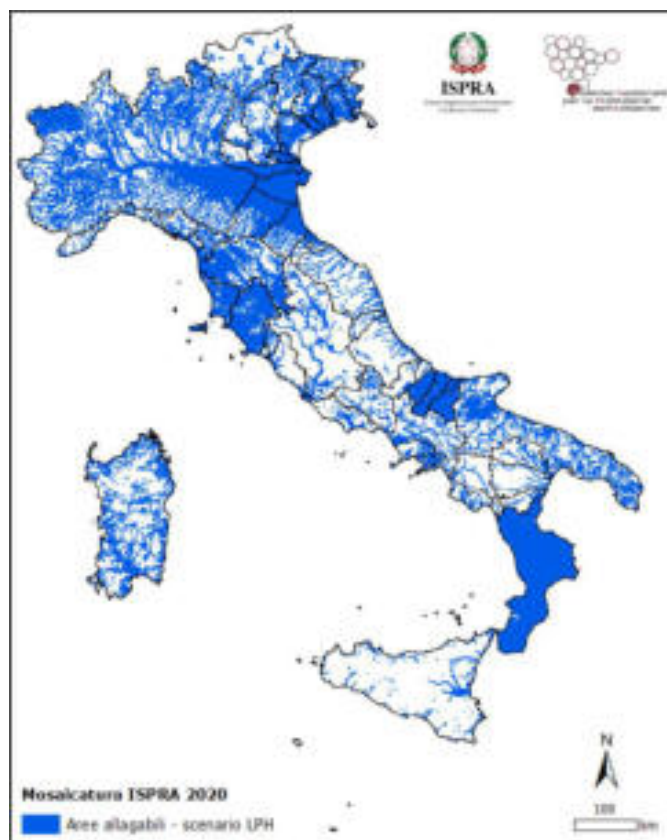


Figura 3-90 - Aree allagabili per scenario di pericolosità da alluvione bassa (Low Probability Hazard – LPH)

Tra i processi di dilavamento intenso, nella presente trattazione vanno senz'altro contemplati i calanchi, la cui genesi è prevalentemente legata ad una forte azione erosiva (nota anche come "erosione accelerata") delle acque dilavanti e concentrate, che danno luogo alla formazione di *rills* e *gullies* (*rill* e *gully erosion*). Queste incisioni, tendendo progressivamente ad ampliarsi ed approfondirsi per fenomeni di erosione regressiva, vanno a interessare interi versanti vallivi, dove spesso si dispongono in gruppi ordinati con struttura a pettine, a raggera o a spina di pesce, che danno vita ad un paesaggio brullo e desolato (CICCACCI, 2014).

I calanchi si formano laddove sussistono alcune condizioni predisponenti, quali la presenza di rocce argillose, di fratture che consentono l'infiltrazione dell'acqua aumentando il potere erosivo, la scarsità o l'assenza di vegetazione, pendii che favoriscono il rapido ruscellamento delle acque meteoriche, l'esposizione dei versanti argillosi verso i quadranti meridionali e, infine, regimi termo-pluviometrici caratterizzati da precipitazioni intense e concentrate prevalentemente nei mesi primaverili e autunnali, con una lunga stagione estiva secca. Queste condizioni climatiche favoriscono i fenomeni calanchivi, inaridendo il suolo e fessurando lo strato argilloso superficiale, soprattutto nei versanti esposti a sud, dove avviene una maggiore infiltrazione delle acque meteoriche.

I processi erosivi, sempre molto spinti, determinano una rapida evoluzione di queste forme, generando condizioni molto marcate di pericolosità geomorfologica, che possono portare alla distruzione di ponti, di sedi stradali, di edifici isolati o di interi centri abitati (CICCACCI, 2014).

Un altro fenomeno che in questa sede si vuole trattare, in merito ai processi morfogenetici erosivi connessi alle acque di dilavamento, è quello che si manifesta nelle attuali aree periglaciali. In questi ambienti di alta montagna la contrazione dei ghiacciai, connessa all'aumento delle temperature, contribuisce ad accelerare la liberazione di masse di sedimenti sciolti che possono essere presi in carico e trasportati a valle dalle acque di dilavamento superficiale diffuso e concentrato. Difatti, enormi quantità di sedimenti non consolidati, comunemente presenti nei pressi dei margini dei

ghiacciai sotto forma di potenti argini morenici o come depositi glaciali sparsi oppure, più generalmente, come detriti di contatto glaciale, possono essere rimobilizzati da improvvisi rilasci di ingenti quantità d'acqua (non solo dovuti a precipitazioni brevi e/o intense, ma anche a fusione di cospicui volumi di ghiaccio) sotto forma di colate rapide di detrito (*debris flows*).

Il continuo ritiro delle masse glaciali, a partire dalla metà del diciannovesimo secolo (massima espansione olocenica nota come Piccola Età Glaciale), ha inoltre scoperto superfici molto ampie, attualmente cosparse da ingenti quantità di detriti sciolti non ancora coperti di vegetazione, poggianti spesso su rocce levigate. Sulle stesse superfici è impostato un reticolo idrografico facente capo ad un ghiacciaio, con regimi idrologici assai variabili ed imprevedibili, capace di prendere in carico grandi quantità di sedimenti glacialigenici per nulla "ancorati" al terreno.

3.6 Risorse idriche

I cambiamenti climatici in atto e attesi sono conseguenza dell'aumento delle temperature a scala globale. L'IPCC (Gruppo intergovernativo sul Cambiamento Climatico) ha recentemente pubblicato l'ultimo rapporto scientifico (Versione 6) relativo all'importanza e all'intensità dei cambiamenti climatici nelle diverse zone del pianeta (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>).

Per quanto concerne l'area mediterranea, i dati previsionali mostrano un incremento di temperatura pari a circa 3 °C rispetto alla temperatura del periodo 1850 – 1900 (scenario di evoluzione socioeconomica "media" SSP2) entro la fine del secolo. In concomitanza dell'incremento di temperatura è correlato una diminuzione dei giorni di gelo annuali (circa 10). Mentre in relazione alle precipitazioni è prevista una diminuzione dell'ordine del 10 % della precipitazione cumulata annuale. Le analisi prevedono anche un incremento in relazione all'intensità delle precipitazioni (incremento della massima precipitazione giornaliera) ed una disomogeneità nel tempo (incremento del numero massimo di giorni secchi consecutivi). La disomogeneità temporale delle precipitazioni è rilevabile pure nel deciso decremento, di qui alla fine del secolo, dell'indice di precipitazione standardizzato su base semestrale (- 30-40 %). Anche le precipitazioni nevose sono previste in diminuzione.

La variazione prevista di temperatura e di intensità e distribuzione temporale dei fenomeni meteorologici causerà modificazioni significative al ciclo idrologico. Secondo quanto indicato dalla European Commission, le risorse idriche dell'Europa meridionale, dunque anche quelle dell'Italia, sono destinate a subire una diminuzione nel corso degli anni. Questo si manifesterà come una generale riduzione nella portata defluita attraverso i fiumi. Previsioni analoghe sono state stimate anche nell'ultimo rapporto dell'IPCC, 2022: *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.

L'alterazione del ciclo idrologico si manifesterà in maniera significativa nella fusione dei ghiacciai e nella diminuzione dell'estensione della copertura nevosa nei periodi invernale e primaverile (fonte: Rapporto European Environment Agency). È previsto che il volume dei ghiacciai alpini si riduca dell'80 – 90 % entro la fine del secolo. L'estensione della copertura nevosa primaverile diminuirà del 5 – 35 %. Conseguentemente si osserverà una modificazione del regime dei deflussi attraverso i fiumi. Essi tenderanno a divenire a regimi pluviali anziché glaciali o nivali. In alcuni casi potrà verificarsi l'incremento della portata invernale e il decremento di quella estiva. Conseguentemente la frequenza e la severità dei periodi di magra fluviale aumenteranno, rendendo i periodi di scarsità idrica, così come i periodi di siccità, più severi e duraturi. La frequenza e durata di tali fenomeni dipenderà dall'aumento di temperatura che si verificherà. Tanto maggiore sarà l'aumento di temperatura, tanto più frequenti e intensi saranno i periodi di carenza idrica e siccità. L'IPCC sottolinea inoltre, nel proprio rapporto, come l'uso elevato di acqua per fini civili, industriali e agricoli possa gravare sulla disponibilità di risorse idriche.

La diminuzione dei quantitativi di precipitazione e dei volumi di riserva glaciali e nivali avrà significativi impatti pure sulle risorse idriche sotterranee. Si prevede per l'Europa meridionale una generale riduzione dei quantitativi di acqua disponibili a causa del rallentamento della velocità di ricarica degli acquiferi. A tale rallentamento si sommerà l'incremento nel prelievo di risorsa, con conseguente aggravamento dello stato delle falde. Gli effetti si manifesteranno in un generale abbassamento dei livelli di falda, una diminuzione delle pressioni e una riduzione dell'umidità del suolo. L'abbassamento dei livelli di falda comporterà pure un decremento delle portate fluviali nei periodi di magra.

3.6.1 Aspetti quantitativi

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 ritornata in atmosfera per evapotraspirazione; il restante 47%, rimasto al suolo, viene ripartito tra infiltrazione nel sottosuolo (21%) e deflusso superficiale (26%) (fonte: ISTAT-REPORTACQUA2022).

Nel 2020 si è registrato un calo delle precipitazioni rispetto al periodo climatico 1971-2000 (CLINO: Normale Climatologica di riferimento). Il 2020 è risultato come uno degli anni meno piovosi, con valori ben al di sotto della media riferita al periodo 2006-2015. In particolare, si è registrata una precipitazione totale annua pari a 661 mm corrispondente ad una diminuzione di precipitazione di -132 mm. L'ISTAT, con la pubblicazione del Report "Rilevazione dei dati meteo-climatici ed Idrologici 2021" evidenzia le anomalie della precipitazione 2020 in riferimento al valore climatico 1971-2000 e definisce un'anomalia media nazionale negativa e pari a -91 mm. In Figura 3-91 viene mostrato l'andamento delle anomalie delle precipitazioni annue totali in riferimento sia al periodo climatico 1991-2000 sia al valore medio nel periodo 2006-2015 per i capoluoghi di città per le diverse regioni italiane. Questa semplice rappresentazione mostra una significativa variabilità del fenomeno se analizzato spazialmente, e mostra una non omogenea distribuzione sul territorio nazionale in termini di variazioni/anomalie di precipitazioni. Si evidenzia come le anomalie, valutate sul decennio base (1991-2000), interessino 22 città e che queste appaiono molto più evidenti ed elevate in alcune città del sud Italia (i.e., Napoli -439,6 mm; Catanzaro -262,1). Questo calo delle precipitazioni è in linea con le previsioni in termini di variabilità climatiche messe in luce nell'ultimo rapporto IPCC 2022, che stanno determinando, sia a scala globale che nazionale, delle anomalie meteorologiche critiche ed estreme.

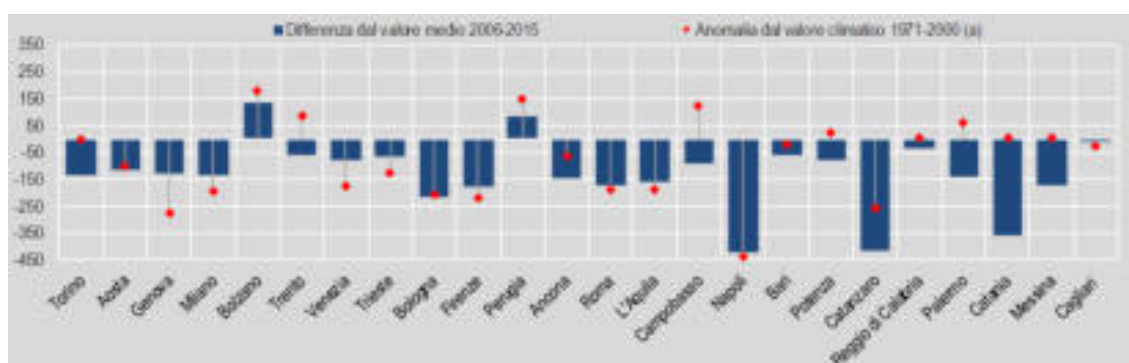


Figura 3-91 - Anomalie climatiche 2020 (Istat)

L'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) ha recentemente aggiornato e pubblicato nuovi dati in riferimento alla disponibilità e utilizzo della risorsa idrica in Italia. ISPRA ha identificato e

popolato una serie di indicatori in grado di dare una panoramica estesa a livello Nazionale degli effetti, correlabili ai Cambiamenti Climatici, su alcune delle principali grandezze che influenzano lo stato e la disponibilità delle Risorse Idriche sul nostro territorio. Tra questi si mettono in evidenza le variazioni delle precipitazioni e delle caratteristiche dello stato dei ghiacciai. Quest'ultimo è visto come volume di riserva addizionale, la cui salvaguardia ed integrità risulta molto importante a livello di bilancio idrico complessivo per il nostro territorio nazionale. Nel dettaglio, la precipitazione è la variabile principale per caratterizzare in maniera completa il clima in una determinata area. ISPRA ha quindi elaborato e definito un indicatore in grado di descrivere l'entità e la distribuzione delle precipitazioni esteso a tutto il territorio Nazionale. È emerso che nel 2020 le precipitazioni cumulate annuali sono state complessivamente inferiori del 5% rispetto al valore medio calcolato nel trentennio di riferimento (1961-1990). Dalla Figura 3-92 si nota che questa variazione è strettamente correlata dall'area geografica di riferimento (fonte: Annuario ISPRA – Precipitazione Cumulata).

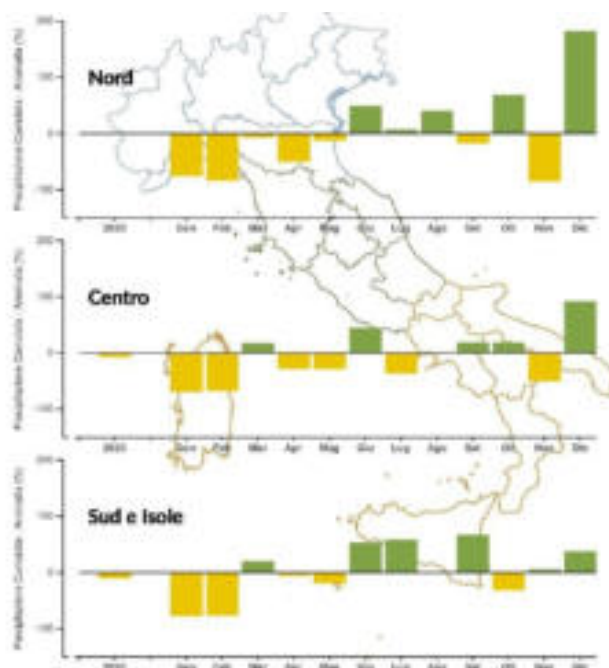


Figura 3-92 - Anomalia media mensile e annuale 2020 espressa in valori percentuali, della precipitazione cumulata Nord, Centro, Sud e Isole, rispetto al valore normale 1961-1990. (fonte: Annuario ISPRA – Precipitazione Cumulata)

Per quanto riguarda lo stato e le modificazioni dei ghiacciai presenti sul nostro territorio ISPRA ha definito due diversi indicatori: il primo descrive le *Variazione delle Fronti Glaciali* ed il secondo quantifica il *Bilancio di Massa dei Ghiacciai* monitorati. Nel dettaglio, il primo riassume i risultati dell'attività di monitoraggio delle fronti glaciali (analisi dell'avanzamento, regressione ed eventuale stabilità) di un campione di ghiacciai alpini. Il monitoraggio condotto ha permesso di evidenziare una tendenza complessiva verso l'innalzamento delle fronti stesse determinato dal fenomeno della fusione dei ghiacciai. Il bilancio di massa dei ghiacciai invece rappresenta la somma algebrica tra la massa di ghiaccio accumulato, derivante dalle precipitazioni nevose, e la massa persa per fusione nel periodo di scioglimento. Per i corpi glaciali italiani considerati si evidenzia una generale tendenza alla deglaciazione e alla fusione (vedi Figura 3-93, sx) (fonte: Annuario ISPPRA - Bilancio di Massa dei Ghiacciai). Questi dati sono in linea con le tendenze evolutive delle temperature medie osservate nel nostro paese negli ultimi decenni. A tal proposito, ISPRA ha evidenziato che nel 2020 l'anomalia, rispetto alla media climatologica 1961-1990, della temperatura media in Italia (+1,54 °C) è stata superiore a quella

globale (mondiale) sulla terraferma (+1,44 °C) (vedi Figura 3-93-dx). (fonte: *Annuario ISPRA – Temperatura Media*)

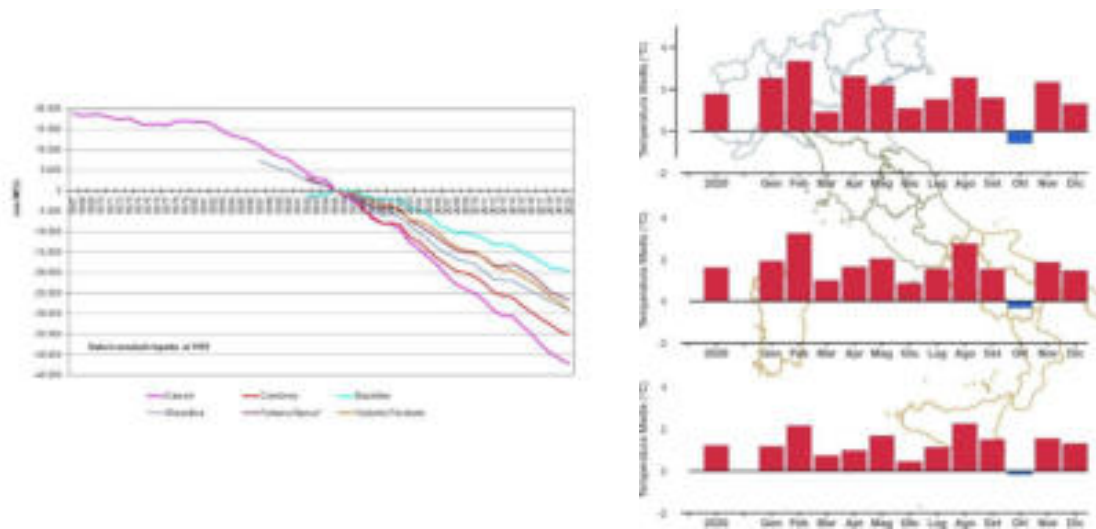


Figura 3-93: sx) Bilancio di Massa di alcuni dei ghiacciai analizzati; dx) Anomalie della Temperatura media totale

UTILIZZO PREVALENTE	n.	Volume autorizzata (10 ⁶ m ³)	Superficie dei bacini idrografici sottesi (km ²)
IDROELETTRICO	306	4.371	86.328
IRRIGUO	126	8.264	37.789
POTABILE	14	409	1.120
INDUSTRIALE	13	192	953
LAMINAZIONE	10	135	4.569
MISTO	8	25	298
Totale	497	13.396	131.057



Figura 3-94: Invasi (Volumi, Usi e Localizzazione) (fonte: *Rapporto ISPRA 323/2020 - Le risorse idriche nel contesto geologico del territorio italiano*)

In termini di volume di risorsa idrica disponibile (accumulo), presente sul nostro territorio, un contributo notevole è dato dalle grandi dighe e dai piccoli invasi artificiali. Attualmente risultano in esercizio 367 dighe, 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 Figura 3-94.

Criticità

ISPRA aggiorna annualmente una serie di indicatori ambientali utili al monitoraggio quantitativo della risorsa idrica disponibile e agli usi sostenibili. La raccolta e l'analisi di questi indicatori permette di quantificare e stimare gli effetti dei Cambiamenti Climatici sulla disponibilità della risorsa a livello nazionale. Di particolare interesse risulta l'analisi delle forzanti climatiche (i.e., precipitazioni e temperatura) associate all'analisi dell'evapotraspirazione (potenziale e reale), l'indice di runoff, l'infiltrazione, l'internal flow, la percentuale di territorio soggetto a deficit e/o surplus di precipitazione, la misura delle portate superficiali e la stima della siccità idrologica. Tutte queste grandezze permettono di dare una visione completa e precisa dello stato della risorsa idrica oltre a quantificare e stimare le eventuali criticità e vulnerabilità a cui la risorsa stessa è soggetta. Si ottiene, quindi, una panoramica dello stato attuale delle caratteristiche quantitative della risorsa, la quale, mettendola in relazione con le serie storiche misurate, permette di fare una stima attendibile delle prospettive future a cui la risorsa sarà destinata.

La quantità delle risorse idriche in Italia è stimabile in circa 116 miliardi di m³, di essi 52 miliardi di m³ sono così utilizzati: a fini agricoli circa 20 miliardi di m³, per uso idropotabili circa 9,5 miliardi di m³, per scopi industriali manifatturieri circa 5,5 miliardi di m³ ed infine per usi energetici circa 18,4 miliardi m³. Questi ultimi (utilizzi energetici), non comportano maggiori consumi idrici rispetto alla disponibilità di risorsa idrica attuale. Conseguentemente si rileva come in Italia sia utilizzato oltre il 30% delle risorse rinnovabili disponibili (*fonte: Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici - SNAC*). Tale valore risulta superiore a quanto individuato in termini di obiettivi di un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse (oltre 20%) Per tale ragione l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE) ha quindi classificato l'Italia come un paese soggetto a stress idrico medio-alto. Inoltre, un'ulteriore criticità a livello Nazionale è data da una disomogenea distribuzione della disponibilità e dei consumi della risorsa idrica.

Gli indicatori menzionati in precedenza riescono a contestualizzare le anomalie che si osservano, a livello nazionale, in termini di forzanti climatiche (i.e., precipitazioni e temperature) con le variazioni che queste determinano in termini di accumulo, distribuzione, disponibilità e sfruttamento di risorsa. Nello specifico le elaborazioni ISPRA permettono di stimare la percentuale di precipitazione che si trasforma direttamente in deflusso superficiale (*fonte: Annuario IPSRA - indice di RUNOFF*). ISPRA stima che nel 2019 il valore dell'indicatore, pari al 25,9%, è stato maggiore del valore medio del periodo 1951-2019, pari al 23,8%. Tra le cause di questa tendenza c'è sicuramente l'incremento dell'impermeabilizzazione del territorio. In aggiunta questo indicatore può essere direttamente collegato/correlabile alla diversa intensità/distribuzione di precipitazione che si osserva per effetto dei cambiamenti climatici.

I dati modellati (*fonte: ISPRA - BIGBANG–Bilancio Idrologico GIS BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare*) permettono la quantificazione di un ulteriore parametro definito Internal Flow che stima il volume annuale di deflusso (superficiale e sotterraneo) generato dalle precipitazioni meteoriche. In Italia si prevede, per effetto dei Cambiamenti Climatici, una diminuzione delle precipitazioni annuali complessive e un corrispondente aumento delle temperature medie. L'internal flow dipende in maniera direttamente proporzionale dalla quantità di precipitazione e inversamente proporzionale dalla temperatura (i.e., maggiore evapotraspirazione). Conseguentemente in futuro si prevede una complessiva riduzione del volume associato all'internal flow annuo (minore accumulo). In particolare, recenti valutazioni mostrano una possibile significativa riduzione della disponibilità della risorsa idrica naturale rinnovabile sull'intero territorio

nazionale: da un minimo di riduzione dell'ordine del 10% nella proiezione a breve termine (al 2030), con un approccio di mitigazione aggressivo, a un massimo dell'ordine 40% (con punte anche maggiori del 90% per alcune aree del sud Italia) nella proiezione a lungo termine (al 2100), qualora si mantenesse invariata l'attuale situazione di emissioni di gas serra (*fonte: ISPRA - Piattaforma Nazionale sull'Adattamento ai Cambiamenti Climatici*). Dalle osservazioni eseguite, ad oggi la tendenza dell'internal flow a livello nazionale appare decrescente, tuttavia senza una significatività statistica. In ogni caso potrebbero sussistere variazioni significative a livello locale (*fonte: Annuario ISPRA – Internal Flow*).

Una valutazione della quantità di acqua che si infiltra nel sottosuolo e che costituisce un'aliquota importante della risorsa idrica rinnovabile è costituita dal parametro *Infiltrazione*. Il parametro è stimato sempre tramite il modello BIGBANG e calcola tale parametro utilizzando il coefficiente di infiltrazione potenziale (CIP), compreso tra 0 e 1, associato ai complessi idrogeologici. Si rileva una tendenza decrescente, statisticamente significativo al 5%, del valore totale annuo dell'infiltrazione nel periodo 1951- 2019 (*fonte: Annuario ISPRA – Infiltrazione*). Questa tendenza negativa può essere in parte spiegata, con la riduzione delle precipitazioni totali annue e incremento dell'evapotraspirazione. Direttamente collegato alla stima del parametro di infiltrazione, ISPRA aggiorna annualmente il database sullo stato dei livelli della falda acquifera. Il livello delle falde è un importante indicatore della quantità di risorsa idrica presente e accumulata nel sottosuolo. Nello specifico l'Italia è stata suddivisa in sei macroregioni per ognuno dei quali è stato valutato il livello delle falde. I dati appaiono al momento incompleti, a causa dell'insufficiente numero di punti di misura e della brevità del periodo di misura. Quindi non si riescono a valutare tendenze, se non l'abbassamento dei livelli in corrispondenza di periodi siccitosi. Si osserva che con la riduzione delle precipitazioni si riscontra un progressivo abbassamento della falda acquifera. Più in generale, un effetto sulla riduzione dell'accumulo in sottosuolo di acqua è dato da un aumento generalizzato della temperatura media e conseguente modificazione del regime idrologico (*fonte: Annuario ISPRA*).

Per ulteriormente dettagliare e quantificare l'effetto dei Cambiamenti Climatici sulle risorse idriche alcune ARPA (Liguria e Sardegna) con il supporto di ISPRA hanno realizzato una serie di studi pilota atti a identificare nuovi indicatori e a valutare le future tendenze evolutive in termini di portata superficiale e identificazione di particolari aree soggette a situazioni estreme di umidità e/o siccità (stato idrico dei suoli).

Un esempio è il caso studio della Liguria, dove è stata valutata la portata Q_{274} , ossia la portata che è superata almeno 274 giorni all'anno. Per la misura di questo indicatore sono stati utilizzati una serie di idrometri distribuiti su diverse stazioni di interesse in funzione dagli anni '70 e quindi con disponibilità di dati di circa 50 anni. L'analisi ha mostrato come vi sia una tendenza all'aumento della frequenza della siccità idrologica dovuto a periodi di scarsità di pioggia, aumento dell'evapotraspirazione e riduzione del contributo nivale. Per quanto riguarda l'analisi dei regimi di magra stagionali non sono rilevabili tendenze significative. Una spiegazione potrebbe essere correlabile alla scarsa continuità e completezza delle serie storiche disponibili. In definitiva la tendenza di questo tipo di indicatore risulta quindi al momento non definita. Contestualmente la regione Liguria ha valutato il numero annuo di eventi di piena indipendenti al di sopra di una soglia prefissata. Tuttavia, allo stato attuale non sono rilevabili evidenze di trend relative all'andamento dell'indicatore (*fonte: ISPRA - Piattaforma Nazionale sull'Adattamento ai Cambiamenti Climatici*).

Come ulteriore studio, la Regione Sardegna ha valutato la frazione di territorio sottoposto a inusuali condizioni di siccità/umidità. L'indicatore è basato sullo Standardized Precipitation Index (SPI) e valuta sia le percentuali di territorio soggette a eventi di siccità moderata o severa ($-2 < SPI < -1$) o di siccità estrema ($SPI \leq -2$) sia le percentuali di territorio con condizioni di umidità moderata o severa ($1 < SPI < 2$) o di umidità estrema ($SPI \geq 2$). L'applicazione dello SPI su diverse scale temporali riflette le modalità con cui la siccità impatta sulla disponibilità delle risorse idriche: calcolato su periodi brevi (3 mesi) fornisce indicazioni sulla umidità dei suoli, mentre su periodi medi o lunghi (12 mesi) fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi. Dalle elaborazioni svolte, nel 2017 i valori di SPI relativo a 12 mesi hanno

raggiunto la classe “estremamente siccitoso” (≤ -2) su circa il 60% del territorio regionale sardo; in questo periodo si è registrato un forte deficit nei corsi d’acqua e negli invasi della Sardegna, soprattutto del settore occidentale, che ha causato limitazioni nella disponibilità di acque per l’uso irriguo e restrizioni per gli usi civili. Per lo SPI relativo a 3 mesi si è avuta un’estensione del 90% e si è registrata una sensibile riduzione dell’umidità dei suoli e condizioni sfavorevoli alle coltivazioni. Nel 2018 si sono registrate condizioni opposte, con diffusi ristagni idrici nei campi e livello degli invasi prossimi ai valori massimi, con SPI su 3 mesi e SPI su 12 mesi nella classe “estremamente umido” sul 90% del territorio. *(fonte: ISPRA - Piattaforma Nazionale sull’Adattamento ai Cambiamenti Climatici).*

3.6.2 Acque superficiali

Il cambiamento climatico influisce sulla gestione dell’acqua, sulla disponibilità idrica alterando anche la capacità di diluizione e causando impatti sulla nostra salute, sulle attività economiche e sugli ecosistemi dipendenti dall’acqua.

La Direttiva quadro sulle acque 2000/60 (WFD) mira ad una gestione idrica sostenibile a lungo termine basata su un elevato livello di protezione dell’ambiente acquatico mediante il raggiungimento di un buono stato ecologico in tutti i corpi idrici. La direttiva stessa non fa esplicito riferimento all’adattamento ai cambiamenti climatici. Tuttavia, nel 2009, gli Stati membri dell’UE hanno convenuto che le minacce legate al clima e la pianificazione dell’adattamento devono essere incorporate nei piani di gestione dei bacini idrografici elaborati nell’ambito della DQA.

La normativa di riferimento per la tutela delle acque attualmente in vigore è contenuta nel Testo Unico Ambientale D.lgs 152/2006 “Norme in materia ambientale” e successive modifiche, che recepisce in Italia, fra le altre, anche la direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000 WFD, che costituisce un atto di indirizzo per l’azione comunitaria in materia di acque, con l’obiettivo di promuovere e attuare politiche sostenibili per l’uso e la salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee, al fine di contribuire al perseguimento della loro tutela e miglioramento della qualità ambientale, oltre che all’utilizzo razionale delle risorse naturali.

Il Piano di Gestione Distrettuale è lo strumento di programmazione/attuazione per il raggiungimento degli obiettivi previsti dalla Direttiva, tra cui il raggiungimento dello stato buono per tutti i corpi idrici entro il 2015 con la possibilità di prorogare, a precise condizioni, al 2021 o al 2027, o derogare per situazioni e motivazioni specifiche o per condizioni naturali.

I “corpi idrici” sono l’unità di base necessaria per la costruzione del quadro conoscitivo e quindi della pianificazione e gestione, in cui si misurano la qualità e quantità dello stato delle acque, l’effetto delle pressioni e degli impatti sulle stesse, i costi e i benefici delle misure e l’efficacia delle stesse.

Per quanto riguarda le acque superficiali, il D. Lgs. 152/06, introduce un nuovo approccio per la valutazione dello stato di qualità basato principalmente sull’analisi dell’ecosistema acquatico e sullo studio della composizione e abbondanza delle comunità vegetali e animali che lo costituiscono.

La normativa prevede una selezione degli Elementi di Qualità Biologica (EQB) da monitorare nei differenti corpi idrici sulla base degli obiettivi e della valutazione delle pressioni e degli impatti.

Gli elementi biologici, pertanto, sono prioritari per la determinazione dello stato ecologico dei corpi idrici, sostenuti dall’analisi degli elementi chimico-fisici dei fiumi (LIMeco) o dei laghi (LTLecco), dagli inquinanti specifici non compresi nell’elenco di priorità (Tabella 1/B) e idromorfologici.

Gli elementi biologici vengono valutati sulla base di indici dati dal rapporto tra il valore osservato e quello atteso in condizione di scarso/nulla impatto antropico (condizioni di riferimento). Lo stato di qualità

ecologico dei corpi idrici è basato sulla valutazione degli indici biologici e chimico-fisici a sostegno e viene rappresentato in 5 classi: Elevato, Buono, Sufficiente, Scarso e Cattivo.

Inoltre, lo stato chimico dei corpi idrici viene valutato attraverso la determinazione del livello di concentrazione di sostanze inquinanti e dannose per l'ambiente; se tali concentrazioni sono inferiori al rispettivo standard di qualità ambientale il sito monitorato risulta classificato come "buono", altrimenti "non buono".

A livello nazionale, per i fiumi, il 43% raggiunge l'obiettivo di qualità (38% buono e 5% elevato), mentre per i laghi solo il 20% (17% buono e 3% elevato).

Attraverso l'elaborazione dei dati a livello regionale (Figura 3-95) si evince che, per i corpi idrici fluviali, la più alta percentuale di raggiungimento dell'obiettivo di qualità buono si registra nella provincia di Bolzano (94%), in Valle d'Aosta (88%), nella provincia di Trento (86%) e in Liguria (75%).

Relativamente ai laghi, l'obiettivo di qualità buono è raggiunto principalmente in Valle d'Aosta (100%), nella provincia di Bolzano (89%) e in Emilia-Romagna (60%). (Banca dati dell'Annuario dati ambientali ISPRA)

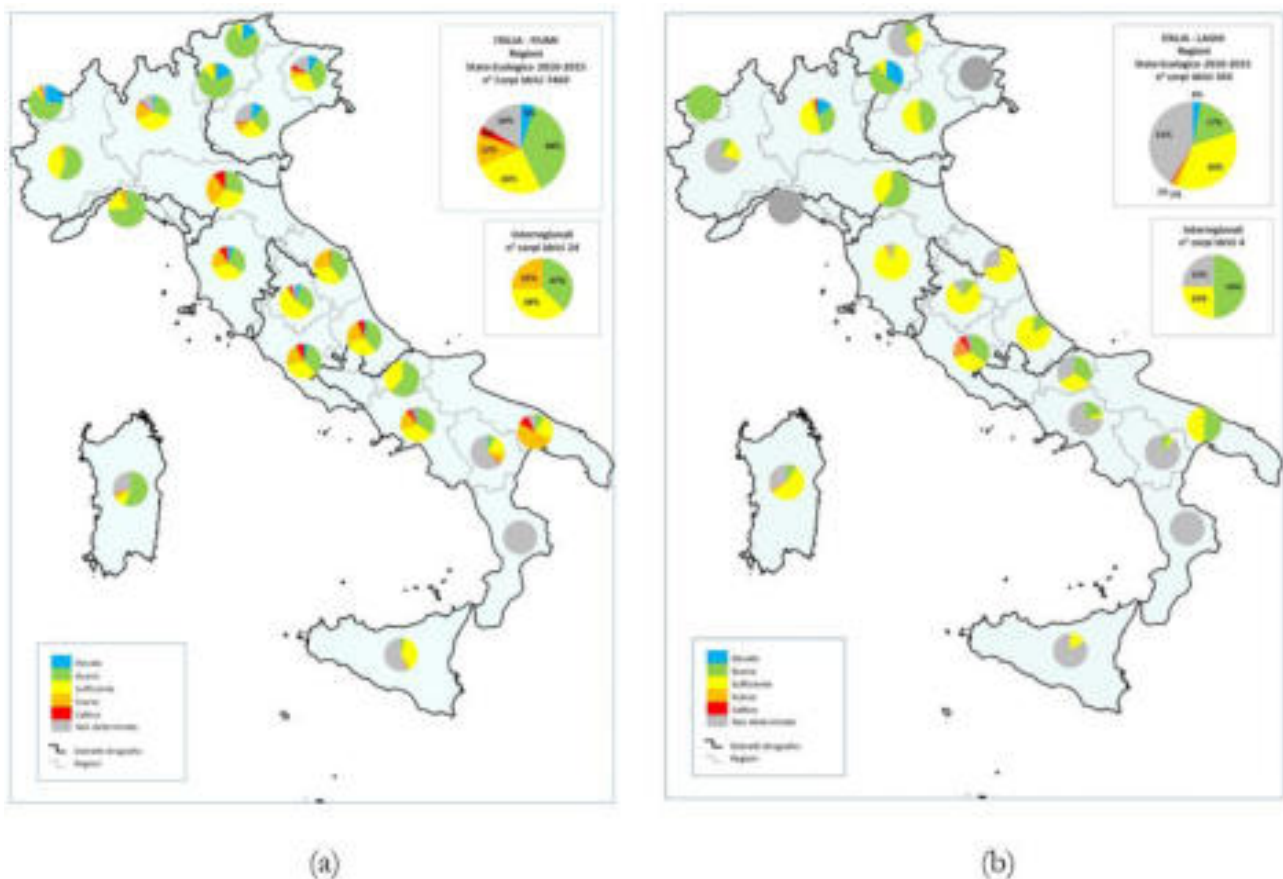


Figura 3-95 - Stato ecologico dei fiumi (a) e dei laghi (b) - distribuzione percentuale per regione (2010-2015) (Banca dati ADA-ISPRA). Elaborazione ISPRA su dati Reporting Water Information System for Europe-WISE-2016

Qualità dello stato chimico delle acque superficiali (SQA).

Le sostanze chimiche nei corpi idrici ne definiscono le caratteristiche chimiche e fisiche. La presenza e abbondanza di tali sostanze dipende dalla natura del substrato, ma anche dalle interazioni dell'acqua con l'ambiente circostante, dall'apporto atmosferico, e in senso più ampio dal contributo di natura antropica. La

determinazione analitica nel corpo idrico consente di porre l'attenzione sul consumo dei prodotti chimici alla fonte.

Per i corpi idrici fluviali e lacustri il DM 260/2010 prevede il monitoraggio e la classificazione delle sostanze prioritarie rilevate sulla colonna d'acqua elencate in Allegato I, tabella 1/A, per le quali sono fissati standard di qualità, che rappresentano le concentrazioni limite per il buono stato chimico. In particolare, per le acque, lo Standard di Qualità Ambientale viene espresso come valore medio annuo (SQA-MA) inoltre, per alcune sostanze, viene individuato un secondo SQA espresso come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA) da non superare mai in ciascun sito di monitoraggio.

Gli SQA rappresentano i valori di concentrazione per ciascuna sostanza in elenco che non devono essere superati nei corpi idrici ai fini della classificazione del "buono stato chimico".

A livello nazionale (Figura 3-96), per i fiumi, il 75% presenta uno stato buono, il 7% non buono, mentre il 18% non è stato classificato. Per i laghi, invece, l'obiettivo di qualità viene raggiunto dal 48% dei corpi idrici. Da evidenziare l'alta percentuale dei corpi idrici lacustri non classificati (42%), soprattutto nei Distretti Appennino Meridionale, Sicilia e Sardegna.

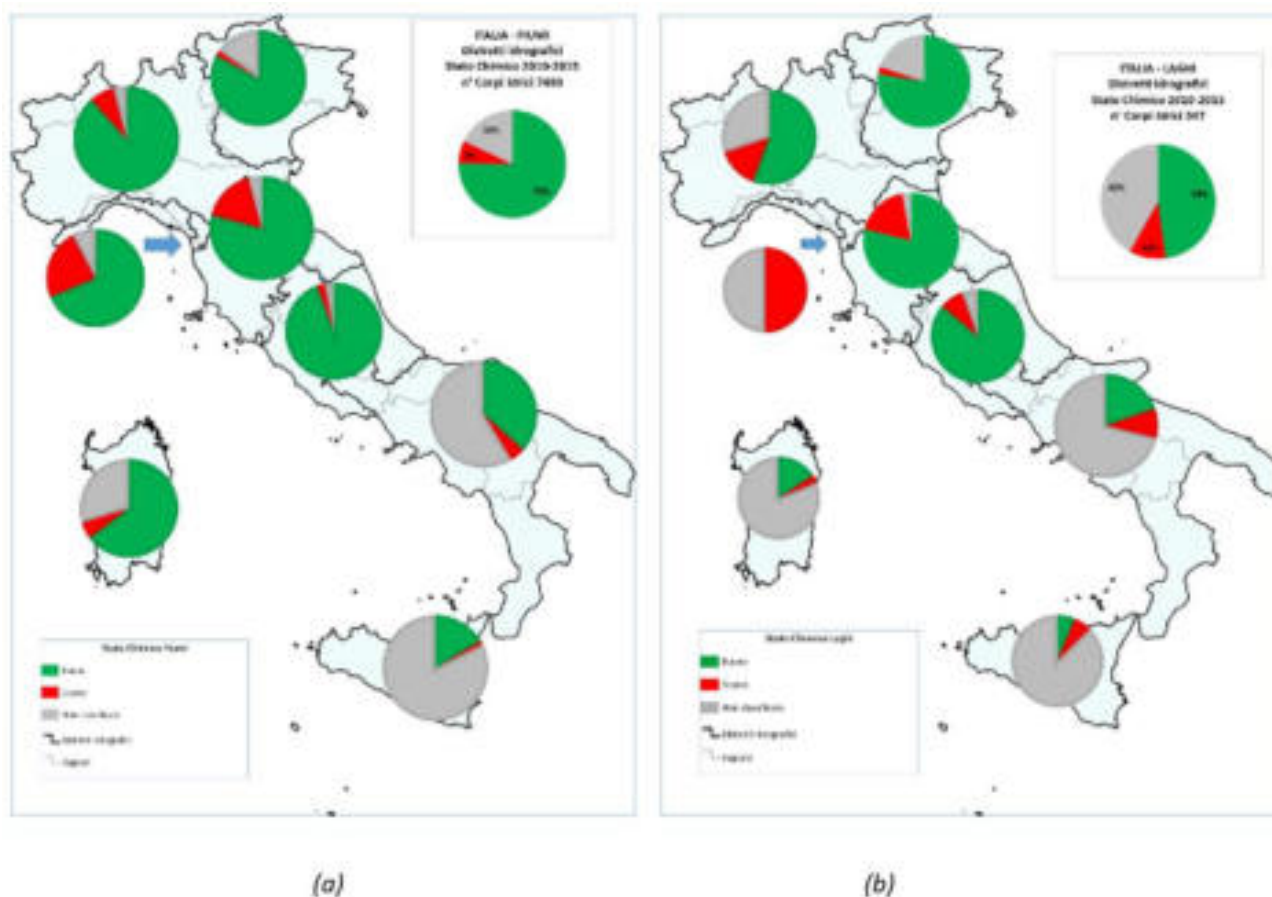


Figura 3-96 - Stato chimico dei fiumi (a) e dei laghi (b) - distribuzione percentuale per Distretto (2010-2015) (Banca dati ADA ISPRA). Fonte: Elaborazione ISPRA su dati Reporting Water Information System for Europe-WISE-2016

Analizzando lo stato chimico a livello regionale, i corpi idrici fluviali sono 7.469 (sono esclusi i 24 interregionali). Le regioni che hanno una percentuale di corpi idrici in stato buono superiore al 90% sono Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Emilia-Romagna, Umbria, Marche, Lazio, Abruzzo e le province autonome di Trento e Bolzano. Il Molise presenta il 100% dei corpi idrici che raggiungono l'obiettivo di qualità. Le più

alte percentuali di corpi idrici non classificati si rilevano in Calabria (100%), Basilicata (94%), Sicilia (82%) e Friuli-Venezia Giulia (44%).

Per i laghi, a livello nazionale, l'obiettivo di qualità viene raggiunto dal 48% dei corpi idrici. Da evidenziare l'alta percentuale dei corpi idrici lacustri non classificati (42%). A livello regionale (Figura 3-97), la Valle d'Aosta, Liguria, Emilia-Romagna, Abruzzo, Molise e la provincia di Bolzano registrano il 100% dei corpi idrici lacustri in stato buono. Le più alte percentuali di corpi idrici non classificati si trovano in Calabria (100%), Basilicata (89%), Sicilia (87%), Sardegna (81%), Campania (75%) e Piemonte (71%) (Banca dati dell'Annuario dati ambientali ISPRA).

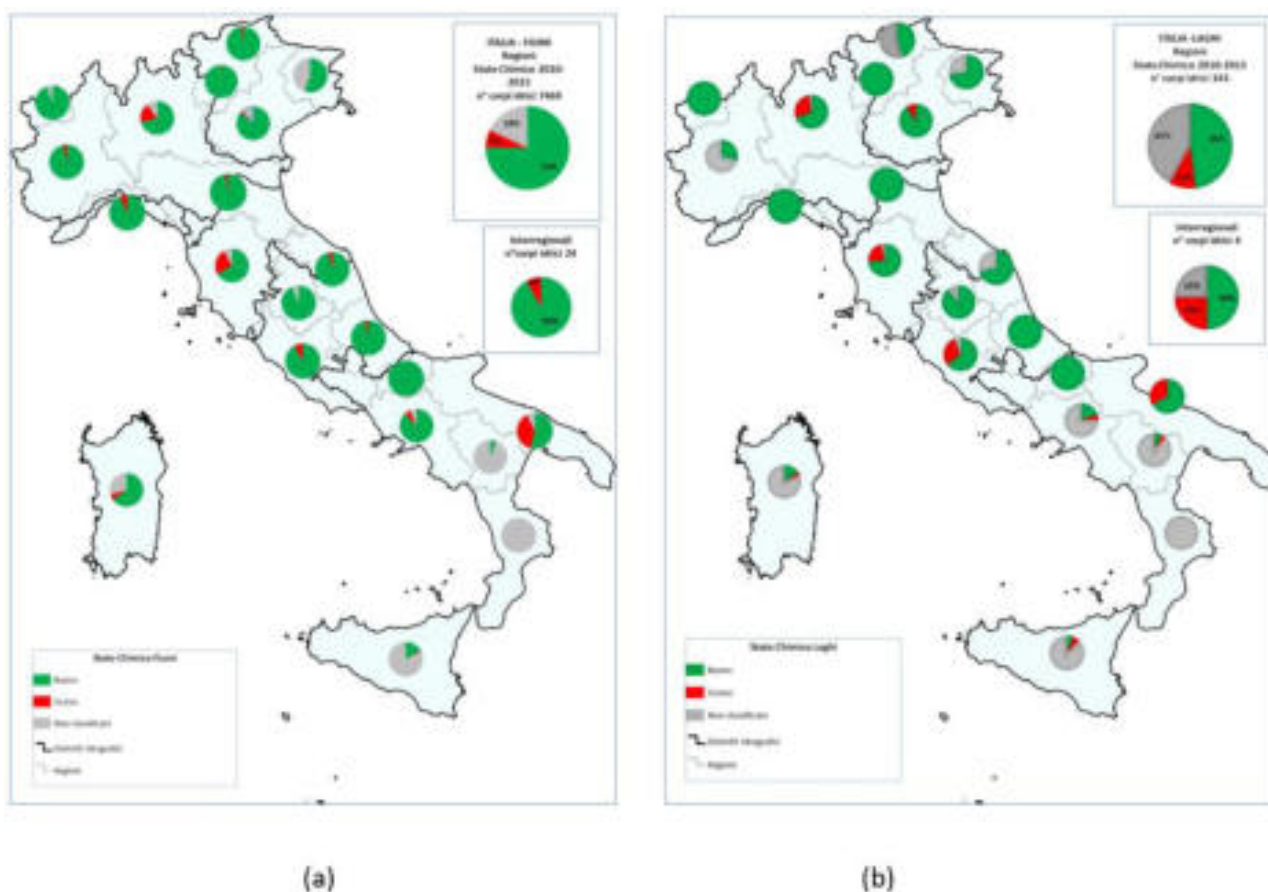


Figura 3-97 - Stato chimico dei fiumi (a) e dei laghi (b) – dettaglio regionale (2010-2015) (Banca dati dell'ADA ISPRA2).
Fonte: Elaborazione ISPRA su dati Reporting Water Information System for Europe-WISE-2016

3.6.3 Acque sotterranee – normativa nazionale e aspetti qualitativi

Lo stato dei corpi idrici sotterranei viene definito in due classi, buono e scarso, in funzione delle condizioni peggiori che il corpo idrico assume tra stato chimico e stato quantitativo. Ne consegue che l'obiettivo per i corpi idrici sotterranei è il raggiungimento dello stato buono sia per lo stato quantitativo sia per lo stato chimico. Il D.Lgs. 30/09 recepisce le direttive europee per i corpi idrici sotterranei e riporta i seguenti criteri:

- identificazione e caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei;
- standard di qualità per alcuni parametri chimici e valori soglia per altri parametri necessari alla valutazione del buono stato chimico delle acque sotterranee;
- criteri per individuare e per invertire le tendenze significative e durature all'aumento dell'inquinamento e per determinare i punti di partenza per dette inversioni di tendenza;

- criteri per la classificazione dello stato quantitativo;
- modalità per la definizione dei programmi di monitoraggio.

I DM 56/09 e 260/10, successivi al D.Lgs. 30/09, confermano e non modificano quanto già contenuto nel D.Lgs. 30/09 relativamente alle acque sotterranee. Il DM Ambiente 6 luglio 2016 recepisce la Direttiva 2014/80/UE e modifica l'allegato 1 Parte III del D.Lgs. 152/2006 con l'obiettivo di definire i valori di fondo naturale per ciascun corpo idrico sotterraneo. La ricarica artificiale dei corpi idrici sotterranei è stata regolamentata con DM 100 del 2 maggio 2016, con l'obiettivo di ampliare le modalità di gestione dei corpi idrici sotterranei, per raggiungere il buono

La classe di stato chimico buono identifica le acque sotterranee che non presentano evidenze di impatto antropico, o comunque quelle il cui impatto riguardi al massimo il 20% del corpo idrico, e anche quelle in cui sono presenti sostanze indesiderate o contaminanti, ma riconducibili ad una origine naturale. Al contrario, nella classe scarso rientrano tutte le acque sotterranee che non possono essere classificate nello stato buono e nelle quali risulta evidente un impatto antropico sulla qualità, sia per livelli di concentrazione dei contaminanti sia per le loro tendenze all'aumento significative e durature nel tempo.

Al sessennio di classificazione 2010-2015 il numero di corpi idrici classificati a scala nazionale è 869 rispetto ai 1.052 totali (copertura del 82,6%) che, in termini di superficie dei corpi idrici classificati, è pari a 245.827 km² rispetto ai 267.017 km² totali (copertura del 92,06%). I corpi idrici non ancora classificati sono 183, per una superficie totale di 21.191 km² prevalentemente ubicati nei Distretti Sicilia (ITH) e Appennino Meridionale (ITF).

Su scala nazionale, il 57,6% dei corpi idrici sotterranei è in classe buono, il 25% in classe scarso e il restante 17,4% non ancora classificato (Figura 3-98).

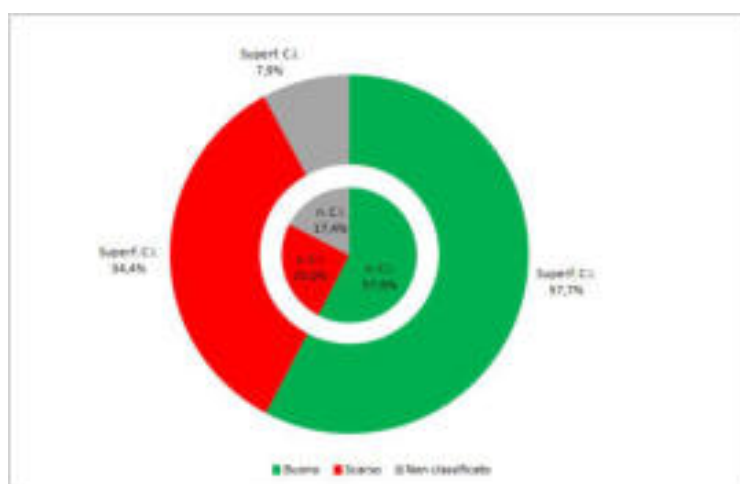


Figura 3-98: Indice SCAS per numero e superficie di corpi idrici sotterranei (2016) (ADA 2019). Fonte: Elaborazione ISPRA/ARPA Emilia-Romagna su dati forniti dai distretti nell'ambito della Direttiva 2000/60/CE, Reporting 2016

La dimensione media dei corpi idrici sotterranei è pari a 254 km², ma è presente una notevole variabilità nei diversi contesti territoriali, dovuta principalmente alle caratteristiche geologiche del territorio e alla distribuzione e tipologia di pressioni antropiche. Per tenere conto di ciò è stato elaborato lo SCAS anche in termini di superficie dei corpi idrici, da cui risulta che il 57,7% delle acque sotterranee è in stato buono, il 34,4% in classe scarso e 7,9% non ancora classificato.

Le province autonome di Trento e Bolzano hanno tutti i corpi idrici in classe “buono”; valori elevati si riscontrano anche in Molise (78%), Valle d’Aosta, Toscana e Campania (75%). In Lombardia si rileva la più alta percentuale dei corpi idrici sotterranei in classe “scarso” (67%), seguita dalla Puglia (62%), Piemonte (50%) e Abruzzo (48%).

Considerando il dettaglio territoriale per Distretti, le Alpi Orientali (ITA) e il Serchio (ITD) presentano il maggiore numero di corpi idrici in stato buono, anche se in termini di superficie è il Distretto Sardegna (ITG) a raggiungere la massima percentuale (86,7%). Al contrario, la maggiore incidenza dello stato chimico scarso si riscontra nel Distretto Padano (ITB), sia come numero sia come superficie (Figura 3-99).

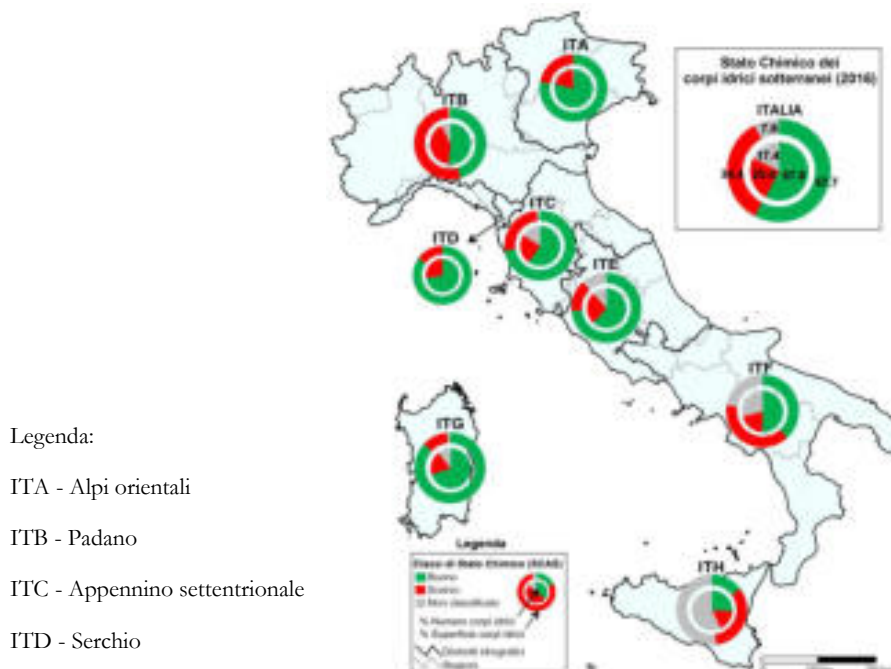
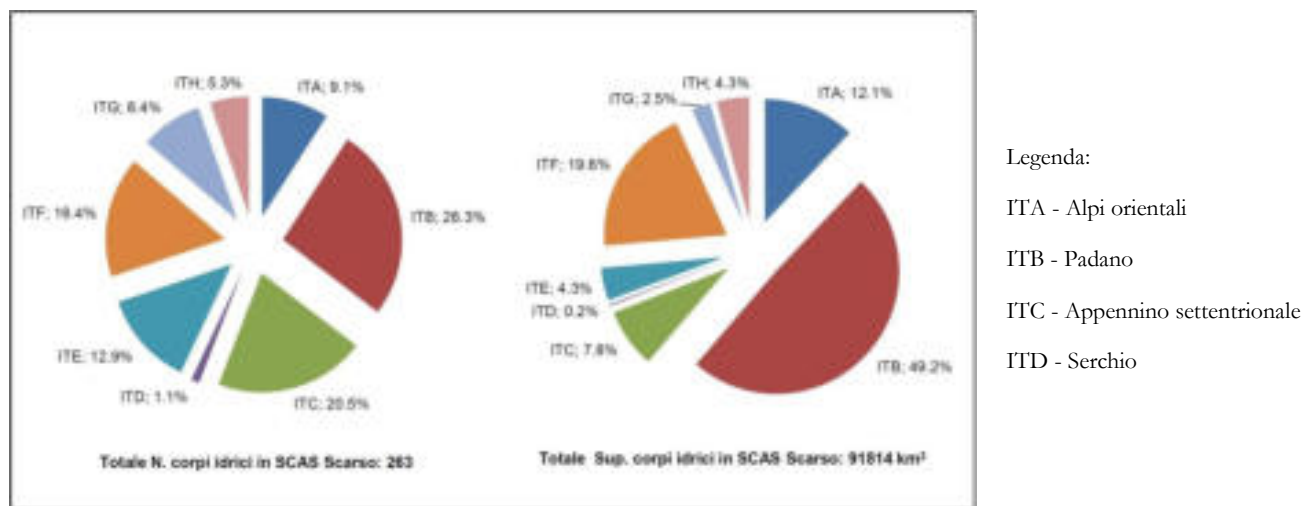


Figura 3-99: Indice SCAS per Distretto idrografico, numero e superficie dei corpi idrici sotterranei (2016) (Fonte: Elaborazione ISPRA/ARPA Emilia-Romagna su dati forniti dai distretti nell’ambito della Direttiva 2000/60/CE, Reporting 2016)

La rappresentazione dello SCAS per numero di corpi idrici e per superficie risulta molto diversa per effetto della variabilità della dimensione dei corpi idrici e per la presenza di corpi idrici non ancora classificati. La distribuzione della classe scarso (Figura 3-100) evidenzia, infatti, che in termini di numero di corpi idrici il Distretto Padano (ITB) contribuisce per il 26,3% seguito dall’Appennino Settentrionale (ITC) con il 20,5%, mentre in termini di superficie di corpi idrici il Distretto Padano rappresenta il 49,2% e l’Appennino Settentrionale appena il 7,8%.

I parametri critici che determinano la classe scarso, per ciascun ambito territoriale, sono spesso le sostanze inorganiche quali nitrati, solfati, fluoruri, cloruri, boro, insieme a metalli, sostanze clorurate, aromatiche e pesticidi. Inoltre, in diversi contesti territoriali non è stata ancora individuata l’origine naturale delle differenti sostanze inorganiche o metalli quando presenti oltre i valori soglia, come specificato dal DM 6 luglio 2016, e ciò determina, allo stato attuale, una possibile sovrastima della classe scarso a scapito del buono, in quanto lo stato chimico sarebbe determinato da cause naturali e non da impatto antropico.



Legenda:
 ITA - Alpi orientali
 ITB - Padano
 ITC - Appennino settentrionale
 ITD - Serchio

Figura 3-100: Distribuzione della classe SCAS scarso per Distretto idrografico rispetto al totale, in numero e superficie, dei corpi idrici con SCAS scarso (Banca dati dell'Annuario dati ambientali ISPRA ADA). Fonte: Elaborazione ISPRA/ARPA Emilia-Romagna su dati forniti dai distretti nell'ambito della Direttiva 2000/60/CE, Reporting 2016

Si riporta infine la rappresentazione dei dati a livello regionale relativi al sessennio di classificazione 2010-2015 (Figura 3-101).

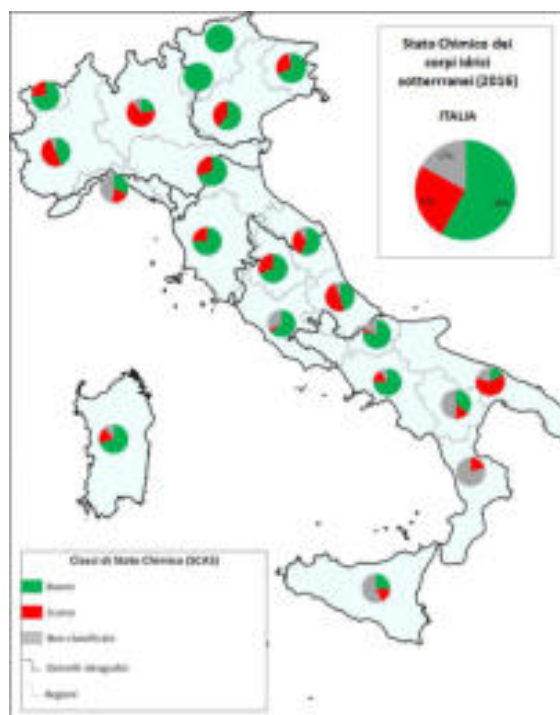


Figura 3-101: Indice SCAS per regione, numero e percentuale dei corpi idrici sotterranei (2016) (Banca dati ADA ISPRA). Fonte: Elaborazione ISPRA su dati WFD 2000/60/CE, Reporting 2016

Impatti dei cambiamenti climatici sulla qualità delle risorse idriche

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulle dinamiche fisiche ed ecologiche dei sistemi fluviali sono complesse e tra loro interconnesse. La maggior parte degli ecosistemi fluviali sono già fortemente impattati da

numerose pressioni antropiche, come ad esempio le aste fluviali rettificata, confinate tra argini e difese, incise a causa dell'eccessiva estrazione di inerti, sponde devegetate e portate ridotte a una piccola percentuale di quella naturale o soggette alle piene artificiali. Si tratta quindi di sistemi la cui resilienza è già fortemente ridotta e che per questo motivo maggiormente esposti agli effetti del cambiamento climatico.

L'aumento delle temperature medie atmosferiche, del numero di giorni consecutivi non piovosi insieme alle variazioni del regime idrologico, determinano un aumento importante delle portate di magra, sottoponendo così le comunità biotiche ad un ulteriore stress rispetto al normale disturbo legato alla variabilità naturale delle portate e causando, anche, un peggioramento qualitativo dell'acqua a causa della ridotta diluizione degli inquinanti. Inoltre, le variazioni di temperatura dell'acqua si ripercuotono direttamente e indirettamente sugli organismi acquatici poiché la temperatura regola gran parte dei processi chimici e biologici che avvengono all'interno dei sistemi fluviali. L'innalzamento delle temperature favorisce la proliferazione di bloom algali e del carico di nutrienti, dando luogo a fenomeni di eutrofizzazione e di variazioni delle condizioni fisico-chimiche dell'acqua.

Anche fenomeni di precipitazioni intense e concentrate in breve periodi aumentano in maniera incontrollata l'apporto di nutrienti e contaminanti provenienti da fonti diffuse quali dilavamento del suolo urbano e pratiche agricole e zootecniche causando picchi di carico di tali sostanze nel corpo idrico ricevente.

Fenomeni di siccità e la conseguente riduzione delle portate, unite a condizioni di sovrasfruttamento della risorsa, determinano effetti le cui relazioni con i cambiamenti climatici sono meno dirette come, ad esempio, l'abbassamento delle falde acquifere e, nelle riserve idriche sotterranee costiere, l'innalzamento del livello del mare con conseguente intrusione di acqua salata causando l'aumento della salinità nelle riserve di acqua dolce (per approfondimenti si rimanda al paragrafo sugli effetti del cuneo salino alle foci e riflessi sulla disponibilità delle risorse idriche).

Le variazioni di temperatura e precipitazioni possono portare ad alterazione dei contenuti di ossigeno disciolto con conseguenti fenomeni di anossia ed alterazioni di pH causando condizioni di iperacidità o eccessiva salinità.

Negli ecosistemi lacustri con l'innalzamento delle temperature si assiste a conseguenze sulla stratificazione termica, inoltre la riduzione delle precipitazioni influisce sul bilancio idrico del lago, compromettendo anche la qualità idrica lacustre.

Tali impatti seppur difficili da attribuire soltanto ai cambiamenti climatici influenzano profondamente la struttura, la funzionalità e di conseguenza la qualità degli ecosistemi acquatici.

3.6.4 Ghiacciai

Le montagne forniscono il 60-80% dell'acqua dolce a livello globale.

Il più grande serbatoio naturale di acqua dolce del mondo è la criosfera - ghiacciai, manto nevoso, calotte glaciali e permafrost - e le modifiche a questo serbatoio, influenzano la produzione alimentare, la salute e il mondo naturale. Circa 1,9 miliardi di persone vivono in aree in cui l'acqua potabile è fornita dai ghiacciai e dalla neve che si scioglie, ma questi ghiacciai si stanno sciogliendo sempre più velocemente.

Il rapporto State of the Global Climate 2021 (WMO-No. 1290) ha concluso che nel 2021, a livello globale, prosegue lo scioglimento dei ghiacciai, con una chiara tendenza all'accelerazione di perdita di massa su scale temporali multidecennali.

Fattori come l'accumulo stagionale di neve, i tempi di scioglimento della neve primaverile, a lungo termine l'evoluzione del bilancio di massa del ghiacciaio (accumulo contro perdita) in diversi scenari climatici e il loro contributo al deflusso e alle acque sotterranee sono elementi importanti di studio per monitorare le risorse idriche della criosfera per fiumi alimentati da neve e ghiacciai e risorse idriche sotterranee.

Con l'aumento dello scioglimento dei ghiacciai, il deflusso annuale dei ghiacciai tipicamente aumenta inizialmente, fino a quando non si raggiunge un punto di svolta, chiamato "picco dell'acqua", in cui il deflusso diminuisce.

Le proiezioni prodotte a livello di Alpi europee con i diversi scenari RCP (Representative Concentrations Pathways) permettono di stimare l'evoluzione del volume glaciale entro il 2100. L'evoluzione del volume di ghiaccio totale nei prossimi decenni è relativamente simile per i vari scenari RCP (RCP2.6, 4.5 e 8.5).

Applicando lo scenario con tassi più elevati di riduzione delle emissioni (RCP2.6) avremo una perdita di due terzi ($63.2\% \pm 11,1\%$) del volume di ghiaccio attuale (2017) entro il 2100. Con uno scenario di forte riscaldamento (RCP8.5) i ghiacciai sono destinati a scomparire in gran parte entro il 2100 ($94.4\% \pm 4.4\%$ perdita di volume vs 2017).

Sono attese importanti riduzioni delle acque di deflusso glaciale con implicazioni per la società in ottica di una corretta gestione della risorsa idrica per l'approvvigionamento di acqua dolce, la produzione di energia elettrica e l'utilizzo da parte del settore agricolo e industriale. Nel versante italiano delle Alpi è molto probabile che la riduzione possa essere ancora più marcata rispetto ad altre aree alpine europee, data la posizione geografica maggiormente esposta a un'elevata insolazione e all'influenza di matrice africana.

Il Bilancio di massa dei ghiacciai un indicatore di impatto dei cambiamenti climatici presenti nella Piattaforma Nazionale di Adattamento Cambiamenti Climatici, indica che, per i corpi glaciali italiani esaminati si verifica una generale tendenza alla fusione con una perdita costante di massa coerente con quanto registrato nelle Alpi e, più in generale, a scala globale.

Il campione dei corpi glaciali italiani oggetto di analisi, ha una numerosità limitata pari a 7, essi sono stati selezionati in funzione della presenza significativa di dati storici pubblicati e di metodi di stima del bilancio di massa eseguiti da operatori qualificati. Data la loro differente ubicazione sull'arco alpino, i diversi ghiacciai possono essere considerati rappresentativi dei differenti settori climatici.

In particolare, dall'analisi dei dati dal 1995 al 2021 emerge che per i corpi glaciali considerati a livello complessivo, il bilancio cumulato mostra perdite significative che ammontano da un minimo di oltre 20 metri di acqua equivalente per il ghiacciaio del Basòdino a un massimo di oltre 43 metri per il ghiacciaio di Caresèr, per una perdita di massa media annua pari a oltre un metro di acqua equivalente (Figura 3-103).

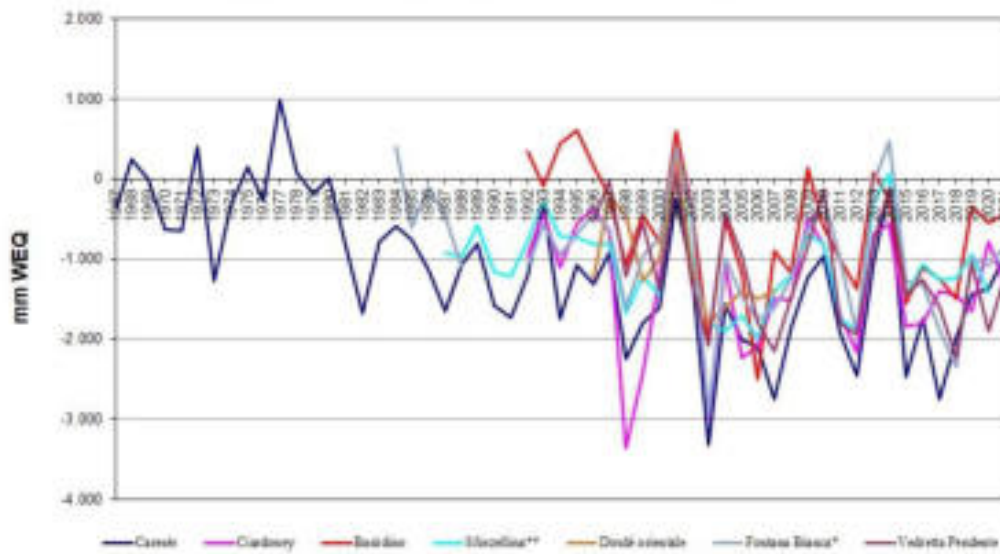


Figura 3-102: Bilancio di massa netto di alcuni ghiacciai italiani. Fonte: Comitato Glaciologico Italiano, Comitato Glaciologico Trentino SAT, Meteotrentino, Dip. Ingegneria Civile e Ambientale Università di Trento, Museo delle Scienze di Trento, Dip.ti TeSAF e Geoscienze dell'Università di Padova (Caresèr); Società Meteorologica Italiana (Ciardoney); G. Kappenberger (Basòdino); Comitato Glaciologico Italiano (Sforzellina e Dossè orientale), Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano - Alto Adige (Fontana Bianca, Vedretta Pendente)

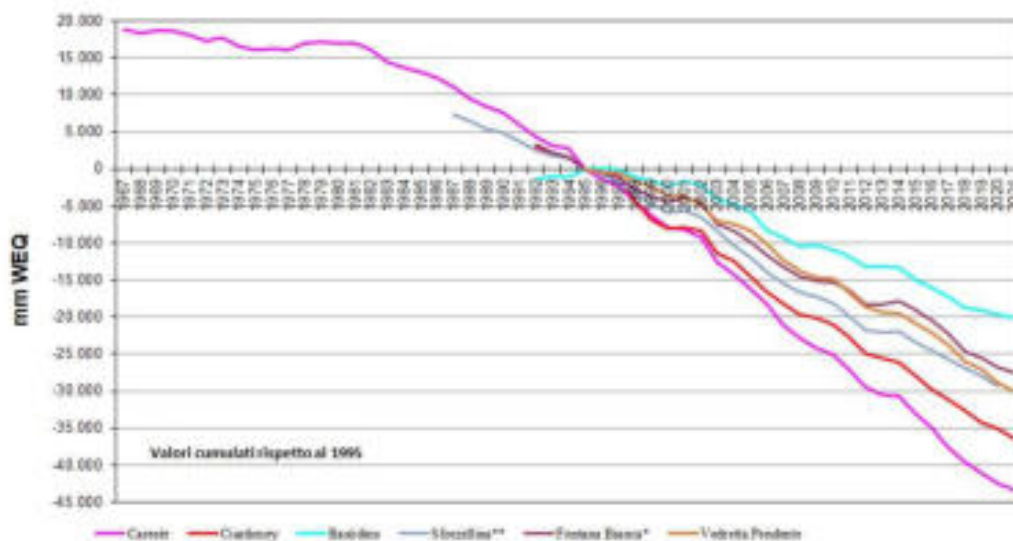


Figura 3-103: Bilancio di massa cumulato di alcuni ghiacciai italiani. Fonte: Comitato Glaciologico Italiano, Comitato Glaciologico Trentino SAT, Meteotrentino, Dip. Ingegneria Civile e Ambientale Università di Trento, Museo delle Scienze di Trento, Dip.ti TeSAF e Geoscienze dell'Università di Padova (Caresèr); Società Meteorologica Italiana (Ciardoney); G. Kappenberger (Basòdino); Comitato Glaciologico Italiano (Sforzellina e Dossè orientale), Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano - Alto Adige (Fontana Bianca, Vedretta Pendente)

Legenda*: Dal 2018, il dato di massa, del Weißbrunnferner – Ghiacciaio di Fontana Bianca è stimato in base alle misure su solo 3 paline di monitoraggio (paline P9, P10 e P16)

Anticipazioni dei dati relativi ai rilievi glaciologici 2022 mostrano che in linea generale le condizioni meteorologiche eccezionali dell'anno, caratterizzate da inverno e una primavera poverissimi di neve e un'estate

estremamente calda, hanno avuto un impatto rilevante sulle condizioni dei ghiacciai. Infatti, i corpi glaciali monitorati sulla catena alpina, si sono presentati a fine estate in uno stato di grande sofferenza.

3.7 Atmosfera

3.7.1 Emissioni di inquinanti in atmosfera

Nel periodo 1990-2020, le emissioni di quasi tutti gli inquinanti mostrano una tendenza al ribasso. Le riduzioni sono particolarmente rilevanti per i principali inquinanti:

- SOX -95% dai 1784 Gg di emissione nel 1990 a 82 Gg nel 2020.
- NOX -73% da 2125 Gg di emissione nel 1990 a 671 Gg nel 2020.
- CO -72% da 6797 Gg nel 1990 a 1873 Gg nel 2020.
- COVNM -56% da 1993 Gg del 1990 a 885 Gg del 2020.
- NH3 -22% da 467 Gg nel 1990 al 363 Gg nel 2020
- PM2.5 -42% da 230 nel 1990 a 133 nel 2020.

I principali driver del trend sono le riduzioni nei settori industriale e dell'autotrasporto, dovute all'attuazione di diverse Direttive Europee che hanno introdotto nuove tecnologie, limiti di emissione degli impianti, limitazione del contenuto di zolfo nei combustibili liquidi e passaggio a combustibili più puliti. Le emissioni sono diminuite anche per il miglioramento dell'efficienza energetica e per la promozione delle energie rinnovabili. Il settore energetico è la principale fonte di emissioni in Italia con una quota superiore all'80%, comprese le emissioni fuggitive, per molti inquinanti (SOX 93%; NOX 89%; CO 94%; PM2.5 86%). Il settore dei processi industriali è un'importante fonte di emissioni specificamente legate alla produzione siderurgica, almeno per particolato, metalli pesanti e POP, mentre significative emissioni di SOX derivano dalla produzione di nerofumo e acido solforico; il settore dell'uso di solventi e altri prodotti è invece caratterizzato da emissioni di COVNM. Il settore agricolo è la principale fonte di emissioni di NH3 in Italia con una quota del 95% sul totale nazionale. Infine, il settore dei rifiuti, in particolare l'incenerimento dei rifiuti, è una fonte rilevante di Cd (9%) e diossine (17%). Nella figura sottostante sono riportate le principali fonti emissive ordinate per percentuale di importanza decrescente e per inquinante³⁰.

³⁰ Per approfondimenti <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/italian-emission-inventory-1990-2020> ,<http://emissioni.sina.isprambiente.it/inventario-nazionale/>

	Key categories in 2020														Total (%)
SO ₂	1A2f (22.8%)	1B2a-iv (15.7%)	1A3d-ii (9.8%)	1A2g-viii (6.7%)	1A2a (6.7%)	1A4b-i (6.6%)	1A1a (6.1%)	1A4a-i (5.2%)	2B1b (5.0%)						82.8
NO _x	1A3b-i (19.2%)	1A3d-i (15.0%)	1A3b-iii (11.7%)	1A4b-i (6.8%)	1A3b-ii (6.2%)	1A4a-i (5.5%)	1A2f (5.0%)	1A4c-ii (4.3%)	1A1a (4.2%)	3Dd-i (4.0)					81.7
NH ₃	3Bd-2a (18.4%)	3B1b (18.2%)	3Dd-i (16.9%)	3B1a (13.7%)	3B3 (8.2%)	3B4a-ii (7.7%)	3Dd-2c (7.7%)								82.1
SOMVOC	2D3d (15.2%)	1A4b-i (15.1%)	2D3a (14.1%)	2D3g (5.2%)	1A3b-v (5.2%)	3B1a (4.2%)	3B1b (4.2%)	1A4a-i (3.2%)	2H1 (3.2%)	2D3b (3.2%)	1A3b-iv (3.0%)	2D3b (2.9%)	1A3b-i (1.9%)		80.4
CO	1A4b-i (82.3%)	1A3b-i (6.2%)	1A3b-iv (4.7%)	1A2a (3.1%)	1A3d-i (2.8%)										82.5
PM10	1A4b-i (53.2%)	3Dc (6.2%)	1A3b-iv (4.2%)	1A3d-i (3.9%)	1A2f (2.7%)	5E (2.3%)	1A3b-ii (2.3%)	3C1 (2.1%)	2A1 (1.8%)	1A3b-i (1.8%)					80.3
PM2.5	1A4b-i (85.2%)	1A3d-i (4.8%)	5E (3.1%)	1A2f (3.0%)	1A3b-iv (2.9%)	3C1 (2.2%)									81.1
BC	1A4b-i (49.2%)	1A3b-i (15.3%)	1A3d-i (6.9%)	5C2 (5.0%)	1A3b-ii (4.0%)	1A4c-i (3.6%)									81.1
Pb	3C1 (37.8%)	1A2f (36.4%)	1A4b-i (5.5%)	1A3b-iv (3.2%)											85.3
Cd	3C1 (22.4%)	1A2f (14.2%)	1A2a (11.0%)	1A4b-i (8.2%)	3G (8.8%)	3C2 (8.7%)	1A3b-i (5.8%)								80.3
Hg	3C1 (44.2%)	1A2b (9.9%)	1A2f (9.4%)	1A2a (6.9%)	1A1a (6.0%)	1B2d (5.9%)									82.8
PAH	1A4b-i (79.8%)	3C1 (11.8%)													90.8
Dieta	1A4b-i (33.2%)	3C1 (27.8%)	1A2b (15.2%)	5E (14.7%)											90.3
HCB	1A2b (37.2%)	3Df (18.2%)	1A4b-i (11.2%)	1A4a-i (11.2%)	5C1b-ii (5.6%)										84.0
PCB	3C1 (71.2%)	1A4b-i (14.2%)													85.7

Figura 3-104: Principali sorgenti emissive anno 2020

Macrosettori emissivi: 1A1: industrie energetiche 1A2: industria manifatturiera 1A3: trasporti 1A4: residenziale e servizi 2D e 2H: uso di solventi 3B: allevamenti 3D: suoli agricoli 5E: incendi automezzi ed edifici.

3.7.2 Emissioni di gas serra

Le emissioni totali di gas serra, in CO₂ equivalente, escludendo le emissioni e gli assorbimenti da uso del suolo, cambiamento di uso del suolo e silvicoltura, sono diminuite del 26,7% tra il 1990 e il 2020 (da 520 a 381 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente). Il gas serra più importante, la CO₂, che nel 2020 rappresentava il 79,3% delle emissioni totali in CO₂ equivalente, che ha registrato una diminuzione del 31,2% tra il 1990 e il 2020. Le emissioni di CH₄ e N₂O sono state rispettivamente pari all'11,2% e al 5,1% delle emissioni totali di CO₂ equivalente di gas serra nel 2020. Entrambi i gas hanno registrato una diminuzione dal 1990 al 2020, rispettivamente del 13,4% e del 28,4% per CH₄ e N₂O. Altri gas serra, HFC, PFC, SF₆ e NF₃, variavano da meno dello 0,01% al 4,0% delle emissioni totali. Nella figura sottostante sono riportati i gas serra per fonte emissiva con indicato il peso percentuale nel 2020 e la variazione rispetto al 1990³¹.

³¹ Per approfondimenti https://www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/nir2022_italy_r360.pdf

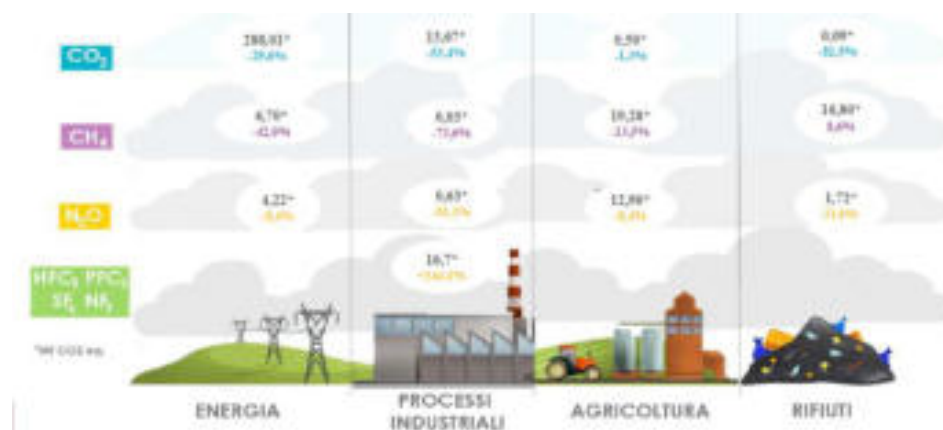


Figura 3-105: % di riduzione delle emissioni di GHG 1990-2020 per settore

Il settore energetico è il maggior contributore alle emissioni totali nazionali di GHG con una quota, nel 2020, del 78,4%. Le emissioni di questo settore sono diminuite del 20,7% dal 1990 al 2020. Le sostanze con tassi di diminuzione sono state la CO₂, i cui livelli si sono ridotti del 29,6% dal 1990 al 2020 e rappresentano il 96,4% del totale nel settore energetico, e il CH₄ che ha mostrato una riduzione del 42,0% ma la sua quota sul totale settoriale è solo del 2,2%; N₂O ha mostrato una diminuzione dell'8,4% dal 1990 al 2020, pari all'1,4%. In particolare, in termini di CO₂ equivalente totale, si è osservato un aumento delle emissioni solo negli altri settori, circa lo 0,2%, dal 1990 al 2020 che rappresentano il 26,5% del totale delle emissioni settoriali nel 2020; il settore dei trasporti (28,6% delle emissioni totali di energia) ha registrato una diminuzione del 16,4% dal 1990 al 2020. Per il settore dei processi industriali le emissioni hanno registrato una diminuzione del 35,3% dal 1990 al 2020. In particolare, per sostanza, le emissioni di CO₂ rappresentano 44,0% e ha mostrato una diminuzione del 53,4%, il CH₄ è diminuito del 73,6%, ma incide solo per lo 0,1%, mentre l'N₂O, i cui livelli condividono il 2,0% delle emissioni industriali totali, è diminuito del 91,3%. La diminuzione delle emissioni è principalmente dovuta alla diminuzione delle emissioni dell'industria chimica (a causa della piena operatività della tecnologia di abbattimento nell'industria dell'acido adipico) e della produzione di minerali e metalli. Un notevole aumento è stato osservato nelle emissioni di gas fluorurati (circa 345%), il cui livello sul totale delle emissioni settoriali è del 53,8%. Va notato che, salvo le motivazioni spiegate, la recessione economica ha avuto una notevole influenza sui livelli di produzione della maggior parte delle industrie e delle conseguenti emissioni negli ultimi anni. Per l'agricoltura le emissioni si riferiscono principalmente ai livelli di CH₄ e N₂O, che rappresentano rispettivamente il 59,0% e il 39,5% del totale settoriale; La CO₂, invece, si spartisce solo l'1,5% del totale. La diminuzione osservata nel livello totale delle emissioni (-11,4%) è principalmente dovuta alla diminuzione delle emissioni di CH₄ da fermentazione enterica (13,0%), che rappresentano il 41,4% delle emissioni settoriali e alla diminuzione di N₂O dai suoli agricoli (3,9%), che rappresenta il 33,1% delle emissioni settoriali. Per quanto riguarda l'uso del suolo, i cambiamenti di uso del suolo e la silvicoltura, dal 1990 al 2020 gli assorbimenti totali in CO₂ equivalenti sono notevolmente aumentati; La CO₂ rappresenta la quasi totalità delle emissioni e degli assorbimenti del settore (98,0%). Infine, le emissioni del settore dei rifiuti sono aumentate del 7,7% dal 1990 al 2020, principalmente a causa di un aumento delle emissioni da smaltimento dei rifiuti solidi a terra (16,8%), che rappresentano il 76,6% delle emissioni di rifiuti. Il gas serra più importante in questo settore è il CH₄ che rappresenta il 90,2% delle emissioni settoriali e mostra un aumento dell'8,6% dal 1990 al 2020. I livelli di emissione di N₂O sono aumentati del 31,0%, mentre la CO₂ è diminuita dell'81,9%; questi gas rappresentano rispettivamente il 9,3% e lo 0,5% nel settore.

3.7.3 Qualità dell'aria

In Italia, come nel resto d'Europa, in Nord America, Giappone e Australia, è stato registrato negli ultimi 30 anni un disaccoppiamento tra la crescita economica e le emissioni dei principali inquinanti, dovuto alle azioni messe in campo per ridurre l'inquinamento atmosferico.

L'adozione di misure volte al miglioramento dei processi di combustione e di tecnologie di abbattimento dei fumi nella produzione energetica e nell'industria, il passaggio dall'olio e carbone al gas naturale, come combustibile principale, così come la diminuzione dell'uso di combustibili fossili per la produzione di energia, hanno contribuito alla riduzione delle emissioni di ossidi di zolfo, ossidi di azoto, particolato e composti organici volatili.

Negli ultimi dieci anni è continuata la riduzione delle emissioni di ossidi di zolfo (-63% rispetto al 2010), ossidi di azoto (-39%) e composti organici volatili (-21%) che si riflette in modo positivo sulle concentrazioni atmosferiche anche del particolato (in quanto questi gas sono coinvolti nella formazione del particolato "secondario" che si forma in atmosfera a partire da essi).

A rallentare i progressi osservati nel trend generale sono le emissioni provenienti dal riscaldamento degli edifici, a causa della forte penetrazione nel mercato dell'uso di dispositivi alimentati a legna o derivati, sostenuta dalle politiche europee per ridurre gli impatti delle emissioni di sostanze climalteranti, poiché la legna è considerata una fonte rinnovabile, e determinata dalla competitività economica per l'utente finale rispetto ad altre fonti. Tuttavia anche su questo fronte si segnala negli ultimi dieci anni una tendenza positiva (-27% rispetto al 2010 per le emissioni di particolato, e -24% per le emissioni di composti organici volatili) probabilmente trainata dalle politiche nazionali e locali tese a migliorare l'efficienza dei dispositivi e a promuoverne un uso consapevole.

Non meno rilevante, pur in un quadro di complessiva significativa riduzione delle emissioni, è tuttora il settore dei trasporti di persone e beni, le cui emissioni, significative e concentrate nelle aree urbane principali e lungo le strade e autostrade che le connettono, rappresentano la sorgente dominante di ossidi di azoto e una delle principali fonti di composti organici volatili (importanti precursori del particolato secondario) e di particolato carbonioso.

Anche le attività agricole e zootecniche contribuiscono ai livelli atmosferici di PM, in quanto responsabili della larghissima maggioranza delle emissioni di ammoniaca (uno dei gas "precursori" del particolato secondario). Le emissioni di ammoniaca, in controtendenza rispetto agli altri inquinanti, sono diminuite molto poco negli ultimi 10 anni, solo del 4%.

Le politiche per la riduzione delle emissioni degli inquinanti atmosferici si collocano in un contesto normativo molto ampio e fortemente interconnesso con le politiche per la riduzione delle emissioni di gas climalteranti. I progressi generali a livello nazionale sono evidenti nel medio-lungo termine in termini di riduzione delle emissioni e in linea se non migliori di quelli registrati mediamente in Europa.

Le concentrazioni degli inquinanti atmosferici evolvono con la variazione dei moti turbolenti che coinvolgono la parte di troposfera influenzata direttamente dalla presenza della superficie terrestre. La relazione tra il carico emissivo - la sua variabilità stagionale e giornaliera - e i livelli di concentrazione osservati è assai complessa e dipende fortemente dalle caratteristiche orografiche e climatiche della zona presa in esame. Le condizioni che determinano giorni particolarmente critici per l'inquinamento atmosferico (con livelli medi giornalieri molto alti) sono caratterizzate da alta pressione livellata, bassa temperatura, calma di vento, assenza di precipitazioni, inversione termica a bassa quota. Queste condizioni, tipiche del periodo invernale, possono persistere per diversi giorni limitando di fatto il rimescolamento delle masse d'aria e la dispersione verticale degli inquinanti, favorendo peraltro le reazioni chimiche che portano alla formazione di particelle aerodisperse a partire da inquinanti gassosi (come l'ammoniaca, gli ossidi di azoto e gli ossidi di zolfo) e da composti organici volatili.

D'estate, invece, le condizioni di forte insolazione, e in particolare le giornate di caldo estremo, favoriscono i meccanismi che portano alla formazione dell'ozono troposferico, un gas che si forma dall'ossigeno attraverso una serie di reazioni che coinvolgono gli ossidi di azoto e i composti organici volatili.

Clima e qualità dell'aria

La concentrazione degli inquinanti nell'atmosfera è regolata dalle emissioni e dalle trasformazioni chimico-fisiche cui vengono sottoposti, ma anche dai fenomeni meteorologici che, più dei primi due fattori, permettono di comprendere le dinamiche della qualità dell'aria.

I cambiamenti climatici influenzano la qualità dell'aria, poiché implicano modifiche delle condizioni di stabilità dell'atmosfera, della temperatura, delle precipitazioni, della radiazione solare, della velocità delle reazioni chimiche e quindi dei processi di formazione, dispersione e trasformazione degli inquinanti.

In particolare, la concentrazione in aria degli inquinanti primari dipende dal vento e dalla turbolenza atmosferica, la concentrazione degli inquinanti secondari (che si formano in atmosfera a seguito di processi fisici e chimici) dipende da ulteriori parametri climatici come temperatura, umidità, velocità del vento e turbolenza atmosferica oltre che dalla radiazione solare.

Tali influenze non avvengono con le stesse modalità e con la stessa intensità su tutto il pianeta. Secondo i primi studi che hanno affrontato il tema, tra cui quello dell'Agenzia Europea dell'Ambiente del 2013, il riscaldamento climatico che si sta osservando a livello planetario sembra favorire l'inquinamento atmosferico in particolare nel sud dell'Europa, facilitando la formazione di inquinanti secondari, in particolare ozono e particolato fine. Ciò rende l'Italia particolarmente esposta al rischio di un aggravamento dello stato di qualità dell'aria connesso ai mutamenti climatici.

L'aumento della temperatura, ad esempio, favorisce l'incremento delle emissioni di composti organici volatili (VOCs), che sono precursori di ozono, e delle emissioni da incendi. L'ozono altera la crescita della vegetazione, riducendo l'assorbimento di CO₂ da parte della vegetazione. I cambiamenti climatici alterando le condizioni ambientali (ad esempio temperatura, pH) modificano la biodisponibilità di inquinanti (ad esempio metalli e POP), l'esposizione, l'assorbimento e la sensibilità delle specie agli inquinanti. Il cambiamento climatico potrebbe, pertanto, amplificare gli effetti ambientali negativi degli inquinanti, compresi O₃, metalli tossici e inquinanti organici persistenti (POP). (EEA, 2018)

Specifiche condizioni orografiche e meteo climatiche, come quelle ad esempio che presentano le Regioni del Bacino Padano (scarsità dei venti, frequenti situazioni di inversione termica, ecc.), favoriscono la formazione e l'accumulo nell'aria di inquinanti, con particolare riferimento a quelli secondari quali le polveri sottili, fenomeni che producono situazioni di inquinamento particolarmente diffuse; tali particolari condizioni orografiche e meteo climatiche, interferiscono con il raggiungimento del rispetto dei valori limite di qualità dell'aria come nel caso delle Regioni del Bacino Padano.

Le reti di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia

Una rete di monitoraggio della qualità dell'aria è l'insieme di punti di misura dislocati in un determinato territorio seguendo criteri e metodi definiti. Questi sono stabiliti in Europa dalla direttiva 2008/50/CE e dalla direttiva 2004/107/CE, entrambe recepite nell'ordinamento nazionale dal D.Lgs 155/2010 e s.m.i.

Secondo la normativa europea, la classificazione delle stazioni di una rete per il monitoraggio è basata su due caratteristiche principali: il tipo di zona di collocazione e il comportamento rispetto alle fonti di emissione dominanti. Per il primo aspetto si distinguono zone urbane (ossia edificate in modo continuo), zone suburbane (ossia zone caratterizzate da insediamenti continui di edifici intervallati da aree non urbanizzate come terreni agricoli, boschi o piccoli laghi) e zone rurali (non urbanizzate). La classificazione basata sulle fonti di emissioni dominanti prevede invece le stazioni di traffico (quelle situate in posizione tale che il livello

di inquinamento sia influenzato prevalentemente dalle emissioni provenienti da strade limitrofe), stazioni industriali (situate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole industrie o da zone industriali) e di fondo (stazioni non influenzate direttamente dal traffico o dalle attività industriali). Dalle varie combinazioni si ottengono stazioni di traffico urbano, fondo urbano, fondo suburbano e così via.

Il monitoraggio (rispettando rigorosi obiettivi di qualità per l'incertezza della misura, la raccolta minima dei dati e il periodo minimo di copertura) è obbligatorio in quelle zone dove sono superate determinate soglie, ed esteso a ciascuna zona o agglomerato in cui è suddiviso il territorio del paese, con modalità diverse in base ai livelli rilevati per ciascun inquinante. I dati vengono quotidianamente e periodicamente diffusi al pubblico e sono condivisi tra gli stati membri dell'Unione. I dati delle reti sono inoltre fondamentali per le simulazioni modellistiche, in particolare nella stima dell'incertezza di tali applicazioni, e nel miglioramento delle stime previsionali ottenibili dalle stesse simulazioni.

Stato e trend dell'inquinamento atmosferico

Nel seguito sono riportate le informazioni più recenti relative allo stato (aggiornato al 2021) e al trend dell'inquinamento atmosferico in Italia (riferito al periodo 2012-2021).

Nonostante si continui a osservare una lenta riduzione dei livelli di PM₁₀, PM_{2.5} e NO₂ in Italia, coerente con quanto osservato in Europa nell'ultimo decennio (e.g. EEA, 2022), come risultato della riduzione congiunta delle emissioni di particolato primario e dei principali precursori del particolato secondario (ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ammoniaca), osservando i dati più recenti disponibili il raggiungimento degli obiettivi della Commissione, per quanto riguarda l'Italia, appare ancora di difficile realizzazione. Si riporta nel seguito un dettaglio per i principali inquinanti. I dati sono riferiti al 2021.

Materiale particolato PM₁₀

È stato registrato un superamento del valore limite annuale (pari allo 0,2% dei casi). Il valore limite giornaliero è stato superato in 118 stazioni (pari al 22% dei casi) in larga parte situate nel bacino padano e in alcune aree urbane del Centro - Sud. Risultano infine superati nella maggior parte delle stazioni di monitoraggio sia il valore di riferimento annuale dell'OMS (91% dei casi), sia quello giornaliero (91% dei casi).

I superamenti del valore limite giornaliero hanno interessato 29 zone su 82 distribuite in 10 regioni, mentre i superamenti del valore limite annuale hanno interessato 3 zone su 82 distribuite in 2 regioni.

Materiale particolato PM_{2.5}

Il valore limite annuale del PM_{2.5} (25 µg/m³) è rispettato nella quasi totalità delle stazioni: sono stati registrati superamenti in una stazione pari allo 0,3% dei casi. Risulta tuttavia superato nella maggior parte delle stazioni di monitoraggio il valore di riferimento annuale dell'OMS (98,6% dei casi). I superamenti del valore limite annuale hanno interessato 4 zone su 82 distribuite in 2 regioni (una in Lombardia e tre nel Lazio; il superamento in questo caso è stato valutato mediante l'uso di modelli).

Biossido di azoto

Il valore limite orario è rispettato ovunque: in nessuna stazione si è verificato il superamento di 200 µg/m³, come media oraria, per più di 18 volte. Il valore di riferimento OMS, che non prevede superamenti dei 200 µg/m³, è superato in 7 stazioni (pari al 1,2 % delle stazioni con copertura temporale sufficiente, Figura 2). Il valore limite annuale, pari a 40 µg/m³ come media annua, è superato in 20 stazioni (3,3 %). Il valore di riferimento OMS per gli effetti a lungo termine sulla salute umana, pari a 10 µg/m³ come media annua, è superato in 469 stazioni (77,8 %).

La quasi totalità dei superamenti sono stati registrati in stazioni orientate al traffico, localizzate in importanti aree urbane.

Nel 2021 il superamento del valore limite annuale ha interessato 11 zone, su 82, appartenenti a 8 regioni e una provincia autonoma.

Ozono

Nel 2021 l'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (OLT) è stato superato in 298 stazioni su 337, pari all'88% delle stazioni con copertura temporale sufficiente secondo i criteri dell'Allegato I D.Lgs. 155/2010; l'OLT è stato superato per più di 25 giorni in 149 stazioni (44%). Le 39 stazioni in cui non sono stati registrati superamenti dell'OLT sono localizzate in siti urbani, suburbani e rurali. Le soglie di informazione e di allarme sono state superate rispettivamente in 76 (23%) e 1 stazione su 337. Il valore OMS, riferito all'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana pari a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come 99° percentile, è quasi sempre superato (316 stazioni su 337, pari al 94%). L'obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione (AOT40v) è stato superato in 149 stazioni su 162 (92%) con valori molto superiori al limite normativo ($6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$).

Benzo(a)pirene (contenuto totale nel PM_{10})

Il valore obiettivo ($1,0 \text{ ng}/\text{m}^3$) è stato superato in 13 stazioni (7,8% dei casi).

Nel 2021 il valore obiettivo è stato superato prevalentemente in quelle zone (bacino padano e zone pedemontane appenniniche e alpine, Valle del Sacco nel basso Lazio) dove è maggiore il consumo di biomassa legnosa per il riscaldamento civile e le condizioni meteorologiche invernali favoriscono l'accumulo degli inquinanti. I superamenti nel Savonese in Liguria sono dovuti invece a sorgenti industriali.

Nel 2021 i superamenti del valore obiettivo hanno interessato 9 zone su 76 distribuite in 4 regioni e una provincia autonoma.

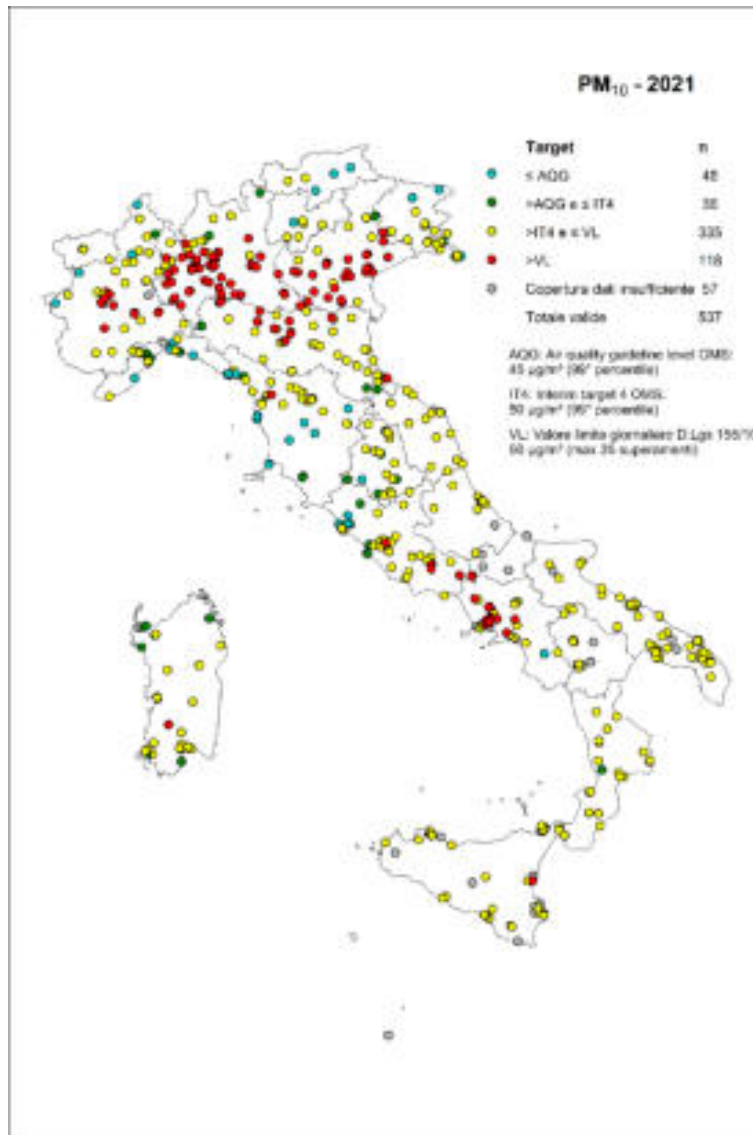


Figura 3-106: PM₁₀. Stazioni di monitoraggio e superamenti del valore limite giornaliero per la protezione della salute (2021). Fonte: elaborazioni ISPRA su dati SNPA, 2022



Figura 3-107: PM_{2.5}. Stazioni di monitoraggio e superamenti del valore limite annuale per la protezione della salute (2021). Fonte: elaborazioni ISPRA su dati SNPA, 2022



Figura 3-108: NO₂. Stazioni di monitoraggio e superamenti del valore limite annuale per la protezione della salute (2021).
Fonte: elaborazioni ISPRA su dati SNPA, 2022

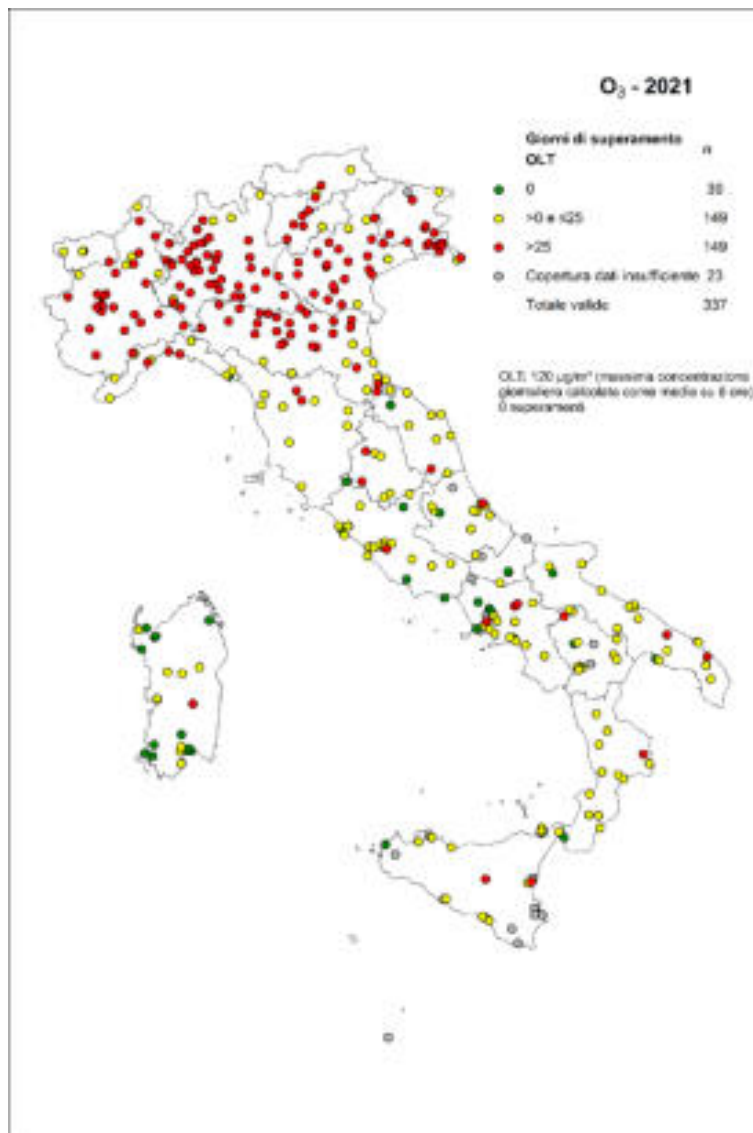


Figura 3-109: O₃. Stazioni di monitoraggio e superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute (2021). Fonte: elaborazioni ISPRA su dati SNPA, 2022



Figura 3-110 Benzo(a)pirene (contenuto totale nel PM_{10}) - Stazioni di monitoraggio e superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute (2021). Fonte: elaborazioni ISPRA su dati SNPA, 2022

3.8 Popolazione e salute umana

3.8.1 Popolazione

Introduzione

I cambiamenti climatici sono fortemente influenzati dalla crescita della popolazione che, insieme al benessere economico, è uno dei fattori chiave (driver) dell'incremento delle emissioni di gas serra in atmosfera.

La crescita della popolazione non è collegata al tema dei cambiamenti climatici solo dal punto di vista della mitigazione, ovvero della necessaria limitazione di emissioni di gas serra, ma anche sul fronte degli impatti che i cambiamenti climatici hanno sull'ambiente e sulle società e delle relative misure di adattamento. Da

questa prospettiva, oltre alla crescita del numero di persone sul pianeta, anche l'evoluzione della loro composizione, densità e distribuzione sono elementi cruciali.

In merito alla componente popolazione e salute umana sono state descritte le dinamiche demografiche della popolazione residente, con l'analisi del fenomeno dell'invecchiamento e della struttura delle famiglie e sono stati approfonditi i principali rischi per la salute associati al cambiamento climatico.

Dinamiche demografiche della popolazione

La popolazione residente in Italia al 1° gennaio 2021 ammonta a 59.236.213 individui.

Nel 2020, l'impatto della pandemia da COVID-19 ha inciso sulla dinamica naturale della popolazione: si accentua la diminuzione della popolazione residente, già riscontrata negli anni precedenti. Il decremento della popolazione iscritta in anagrafe è dovuto in larga misura alla dinamica naturale che, rispetto all'anno precedente registra un decremento del -0,7%.

Il tasso di crescita naturale registra un ulteriore picco negativo, attestandosi a -5,6 per mille. Importante è anche l'impatto sulla dinamica migratoria: il tasso migratorio con l'estero è in forte diminuzione rispetto all'anno precedente (1,5 per mille nel 2020 rispetto al 2,6 per mille del 2019).

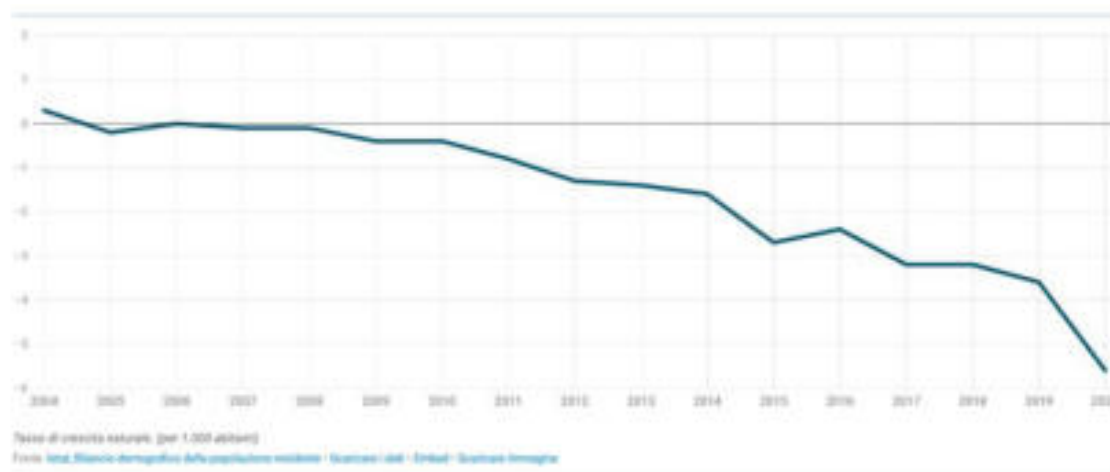


Figura 3-111: Tasso di crescita naturale (per 1000 abitanti)

Nel 2020, le donne residenti in Italia hanno in media 1,24 figli (1,27 nel 2019), accentuando la diminuzione in atto dal 2010, anno in cui per il tasso di fecondità totale si è registrato il massimo relativo di 1,44 figli per donna. Le donne residenti in Italia hanno accentuato il rinvio dell'esperienza riproduttiva verso un'età sempre più avanzata: l'età media al parto aumenta, raggiungendo i 32,2 anni.

Nel 2021, la speranza di vita alla nascita della popolazione residente italiana è di 80,1 anni per gli uomini e di 84,7 per le donne. L'indicatore, per entrambi i generi, dopo un decremento nel 2019, fa segnare un lieve recupero nel 2020 attestandosi nel 2021 su livelli simili a quelli del 2015.

Nel 2020, rispetto all'anno precedente, si assiste ad un crollo dei matrimoni dovuto all'impatto della pandemia da COVID-19 e alla conseguente sospensione delle cerimonie civili e religiose in concomitanza della prima ondata tra marzo e maggio 2020. I matrimoni celebrati in Italia sono stati 96.841, il 47,4% in meno rispetto al 2019. Il calo più consistente ha riguardato i matrimoni con rito religioso (-67,9%) e i primi matrimoni (-52,3%). Il quoziente di nuzialità pari a 3,1 matrimoni per mille abitanti nel 2019, scende a 1,6 nel 2020.

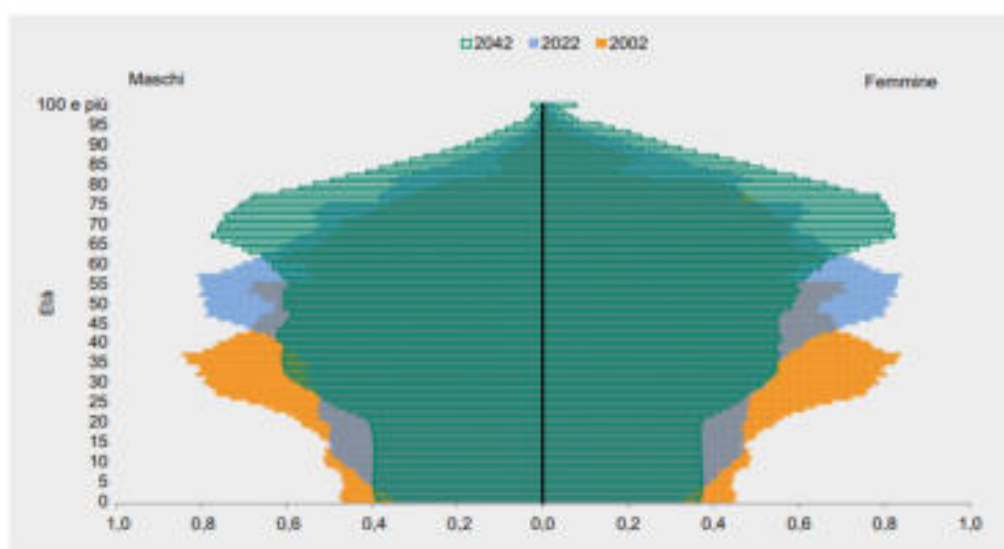
Rispetto a gennaio 2020, l'indice di vecchiaia continua a crescere con un aumento di 3,2 punti percentuali, raggiungendo al 1° gennaio 2021 quota 182,6 anziani ogni cento giovani. Si conferma la crescita costante dell'indice, in atto oramai da un ventennio. Nonostante il decremento dell'indice di dipendenza nell'area del Nord Italia, tra il 1° gennaio del 2020 e del 2021, gli incrementi registrati nel Centro e nel Mezzogiorno portano l'indice ad una crescita a livello nazionale (da 56,7 a 57,3), confermando la presenza di uno squilibrio fra le generazioni.

Invecchiamento della popolazione

L'evoluzione demografica italiana è caratterizzata da una persistente bassa natalità e da una longevità sempre più marcata. Gli attuali squilibri strutturali trovano le loro radici nelle profonde trasformazioni demografiche e sociali avviate nel secolo scorso.

Già alla fine degli anni Settanta, in Italia, il numero medio di figli per donna è sceso definitivamente sotto la soglia dei due figli, portando nel corso del tempo a nuove generazioni sempre meno numerose rispetto a quelle dei loro genitori. Il quadro demografico che ne deriva è una popolazione sempre più invecchiata.

Al 1° gennaio 2022 la stima dell'indice di vecchiaia – anziani di almeno 65 anni per 100 giovani di età inferiore a 15 anni – è pari al 187,9 per cento; aumentato in 20 anni di oltre 56 punti percentuali, nei prossimi 20 anni si prevede un aumento di oltre 100 punti con l'indice di vecchiaia pari al 293 per cento nel 2042.



Fonte: Istat, Popolazione per sesso, età e stato civile e Previsioni della popolazione e delle famiglie, base 1.1.2021, scenario nazionale ad hoc
(a) I dati del 2042 sono stimati.

Figura 3-112: Piramidi di età della popolazione residente dal 1 Gennaio 2002, 2022 e 2042 (valori percentuali)

Per effetto della dinamica naturale negativa, la popolazione ha da tempo perso la sua capacità di crescita, non riuscendo più a “sostituire” chi muore con chi nasce; è stato solo grazie all’apporto positivo delle immigrazioni se, a partire dalla fine del secolo scorso e fino al 2013, la popolazione residente è comunque cresciuta, arrivando a 60,3 milioni al primo gennaio 2014.

L’ampliarsi del deficit tra nascite e decessi e la contrazione del saldo migratorio ha innescato dal 2014 una inversione di tendenza.

Al 1° gennaio 2022, secondo i primi dati provvisori, la popolazione scende a 58 milioni e 983 mila unità; in questo senso nell'arco di 8 anni la perdita cumulata si può dire sia stata pari a 1 milione e 363 mila.

Il quadro demografico del 2020 e del 2021 ha risentito inevitabilmente degli effetti, diretti e indiretti, della pandemia che hanno accentuato le tendenze recessive della dinamica demografica. Negli ultimi due decenni ha assunto un ruolo predominante l'impatto sui comportamenti familiari del ridimensionamento delle generazioni nate successivamente al baby boom degli anni Sessanta, i cui contingenti sono via via sempre meno numerosi per effetto del rapido calo della fecondità osservato dalla metà degli anni Settanta. L'entrata di queste generazioni nella fase della vita adulta si traduce, a parità di propensione a sposarsi e avere figli, in un calo del numero assoluto di nozze e di nascite. La progressiva diminuzione della popolazione femminile tra 15 e 49 anni spiega, infatti, il 60 per cento del decremento registrato nei nati degli ultimi dieci anni, mentre la restante quota dipende dalla diminuzione della fecondità: dal massimo relativo di 1,42 gli per donna del 2011 a 1,25 del 2021.

Struttura delle famiglie

Pur a fronte di una riduzione della popolazione, si è andata consolidando in Italia la crescita del numero delle famiglie; per effetto della semplificazione della dimensione e della composizione interna si sono ridotte le famiglie multiple o estese, sono aumentate le persone che vivono sole e le famiglie composte da un nucleo con un solo genitore e figli.

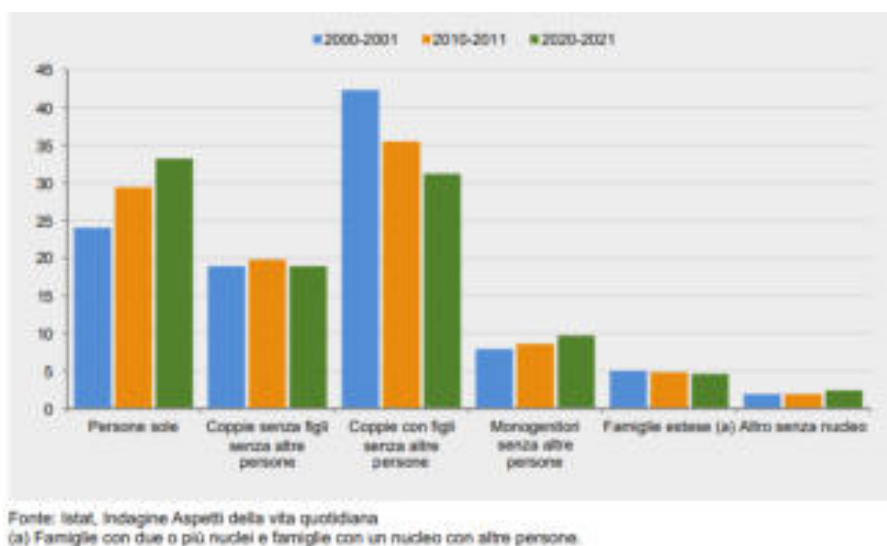


Figura 3-113: Famiglie per tipologia. Medie 2000-2001, 2010-2011, 2020-2021 (per 100 famiglie)

L'evoluzione delle strutture familiari dall'inizio degli anni Duemila mostra che alcuni cambiamenti profondi sono stati più accentuati nei primi dieci anni del nuovo millennio rispetto al decennio più recente. È il caso della crescita del numero delle famiglie, dapprima più veloce e poi più lenta, +13,0 per cento di incremento nel primo periodo e +4,4 nel secondo (per un totale di poco meno di 25,6 milioni di famiglie nel biennio 2020-2021), trainata dall'incremento delle famiglie costituite da persone che vivono da sole (passate dal 24,0 al 33,2 per cento del totale).

Crescono le famiglie costituite da individui appartenenti tutti alla stessa "generazione" (persone sole e coppie senza figli) che insieme arrivano a superare la metà di tutte le famiglie, mentre si riduce il peso delle famiglie con più generazioni: quelle, ad esempio, in cui sono presenti almeno un figlio e un genitore, oppure un nonno e un nipote. In vent'anni il cambiamento più forte (-11,1 punti percentuali) è quello riscontrato in corrispondenza delle famiglie mononucleari di coppie con figli e senza altre persone, che si attestano a poco

più di tre famiglie su dieci (complessivamente quasi 8 milioni) nel biennio 2020-2021. Al contrario, crescono, ma con un'intensità inferiore, in primo luogo, le famiglie unipersonali (+9,2 punti) arrivando a una su tre del totale (quasi 8,5 milioni di famiglie).

I rischi per la salute associati al cambiamento climatico

Secondo il report "[Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016](#)" (Cambiamenti climatici, impatti e vulnerabilità in Europa al 2016) dell'Agenzia Europea dell'Ambiente, i cambiamenti osservati nel clima stanno già avendo ripercussioni di ampia portata in Europa sugli ecosistemi, l'economia, la salute umana e il benessere.

Continuano a registrarsi nuovi record relativamente alle temperature globali ed europee, all'incremento del livello del mare e alla riduzione della banchisa nell'Artico. Il carattere delle precipitazioni sta cambiando, generalmente rendendo le regioni umide in Europa ancora più umide e quelle secche ancora più secche. Il volume dei ghiacciai e del manto nevoso sono in diminuzione. Allo stesso tempo, gli eventi climatici estremi, quali ondate di calore, forti precipitazioni e siccità, stanno aumentando in frequenza e intensità in molte regioni. In base alle indicazioni fornite da più accurate proiezioni climatiche, gli eventi estremi legati al cambiamento climatico aumenteranno in molte regioni europee.

I principali effetti che i cambiamenti climatici hanno sulla salute sono legati ad eventi climatici estremi, ai cambiamenti nella distribuzione delle malattie sensibili al clima e alle variazioni delle condizioni ambientali e sociali. Negli ultimi dieci anni, le inondazioni dei fiumi e delle aree costiere hanno colpito in Europa milioni di persone. Tra gli effetti sulla salute si riscontrano lesioni, infezioni, esposizione ai rischi chimici e conseguenze per la salute mentale. Le ondate di calore sono diventate più frequenti e intense, causando decine di migliaia di morti premature in Europa. Qualora non vengano adottate misure di adattamento adeguate, questa tendenza è destinata ad aumentare e ad intensificarsi. La diffusione di specie di zecche, della zanzara tigre asiatica e di altri vettori di malattie aumenta il rischio di insorgenza di malattie quali la malattia di Lyme, l'encefalite da zecche, la febbre del Nilo occidentale, la dengue, la chikungunya e la leishmaniosi.

Lo studio dell'**Agenzia Europea dell'Ambiente** (AEA) dal titolo "[Verso una giusta resilienza: non lasciare indietro nessuno quando ci si adatta ai cambiamenti climatici](#)", pubblicato nel giugno 2022, rivela che gli europei sono sempre più vulnerabili e sempre più esposti a pericolose ondate di calore, a causa della combinazione di aumento delle temperature, urbanizzazione, invecchiamento della popolazione. Le aree soggette a **inondazioni** in alcuni paesi tendono ad avere quote più elevate di anziani o disoccupati che potrebbero non essere in grado di trasferirsi o pagare assicurazioni per proteggersi dalle inondazioni per le loro case. L'analisi dell'AEA mostra inoltre che quasi la metà delle **scuole** e degli **ospedali** nelle città europee si trova all'interno di isole di calore urbano intenso e una scuola o un ospedale su dieci in Europa può essere esposto a inondazioni.

3.8.2 Salute

Il cambiamento climatico è una delle principali minacce globali alla salute umana del XXI secolo (Watts et al, 2021): 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.). Quindi in generale il cambiamento climatico influisce su mortalità e morbilità di malattie legate al caldo, malattie cardiorespiratorie e di malattie di origine infettiva. A queste vanno sommati i decessi e traumi dovuti a disastri (frane, inondazioni, incendi) resi più probabili dal mutare delle condizioni climatiche.

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 (2022) 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, 2018).

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., 2021). 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. (2020) 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 morbilità 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. (2017) 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., 2015) e a diventare il più grande rischio ambientale per l'Italia (Lim et al., 2012).

Un altro elemento impattante sulla salute e connesso al cambiamento climatico sono le malattie cardio-respiratorie. In questo caso il cambiamento climatico agisce in maniera duplice: da un lato l'incremento della temperatura ne aumenta il fattore di rischio, dall'altro esso contribuisce a peggiorare la qualità dell'aria entrando in relazione con inquinanti atmosferici locali. Una minore quantità di precipitazioni, così come l'alterazione della velocità del vento, possono influenzare le concentrazioni nell'atmosfera di emissioni inquinanti antropogeniche e biogeniche (pollini e muffe) e avere un impatto negativo sul sistema respiratorio. Ad esempio, la produzione di ozono a livello locale che viene facilitata dalle condizioni climatiche in relazione con gli inquinanti atmosferici di origine urbana può aumentare i casi e la gravità di crisi allergiche. Inoltre bisogna anche considerare che il cambiamento sulla flora e gli ecosistemi terrestri può alterare la fenologia dei pollini, prolungando il periodo di fioritura e aggravando la morbilità di crisi respiratorie.

Il cambiamento climatico può aggravare l'impatto che le malattie infettive hanno sulla salute. Infatti, la mutazione delle condizioni climatiche favorisce la diffusione in aree temperate di insetti vettori di malattie

normalmente originarie di paesi tropicali. Aumenta così il rischio sia di nuove malattie emergenti, sia di malattie riemergenti che erano state debellate in passato in Italia (ad esempio la malaria).

Fra le malattie trasmesse da vettori, un importante gruppo è costituito dalle arbovirosi, ossia dalle infezioni virali trasmesse da artropodi. Esistono infatti oltre 100 virus classificati come arbovirus in grado di causare malattia umana. In Italia sono presenti sia arbovirosi autoctone, fra cui si annoverano la malattia di West Nile, l'infezione da virus Usutu, l'infezione da virus Toscana e l'encefalite virale da zecche, sia arbovirosi prevalentemente di importazione, come le infezioni causate dai virus Chikungunya, Dengue e Zika. Sempre più spesso, tuttavia, sia a livello nazionale che internazionale, si assiste ad eventi epidemici, anche di dimensioni rilevanti.

I cambiamenti climatici impattano sulla fisiologia, sul comportamento, sul ciclo vitale e sulla distribuzione geografica delle specie, sulla composizione delle comunità ecologiche terrestri e sulle interazioni interspecifiche. L'anticipazione dell'arrivo in Italia di molte specie di uccelli migratori potrebbe modificare il ciclo di trasmissione dei virus West Nile e Usutu, mentre il precoce sviluppo dello stadio alato delle zanzare potrebbe influenzare la comparsa di epidemie di diverse arbovirosi. Inoltre, è modificata la distribuzione di specie, come nel caso delle zecche, che sono risalite di quota, rendendo possibile la trasmissione del virus dell'encefalite virale in aree precedentemente non affette.³²

Inoltre, altre malattie infettive possono essere diffuse attraverso la filiera alimentare in quanto il cambiamento climatico favorisce la diffusione di micotossine e di batteri legati al cibo (salmonella, listeria), nonché l'alterazione delle qualità nutrizionali degli alimenti, a volte a detrimento della salute. Infine, l'acqua, sia per il consumo umano sia per la balneazione, può essere un vettore di contagio di malattie infettive e le mutate condizioni climatiche possono favorire il diffondersi di patogeni con un conseguente impatto negativo.

Per quanto concerne ulteriori impatti diretti, vanno considerati i danni e i rischi connessi a frane e inondazioni. I dati relativi alla esposizione della popolazione a pericolosità da alluvione (Figura 3-114, Tabella 3-14, a), a pericolosità da frana (Tabella 3-15, Figura 3-115) ed i dati riferiti al periodo 1972-2021 del Rapporto Periodico sul Rischio posto alla popolazione italiana da frane e inondazioni (CNR-IRPI, 2022) (Tabella 3-16) rendono conto dell'ampiezza del problema.

³² Fonte: Ministero della Salute. Piano Nazionale di prevenzione, sorveglianza e risposta alle arbovirosi (PNA) 2020-2025

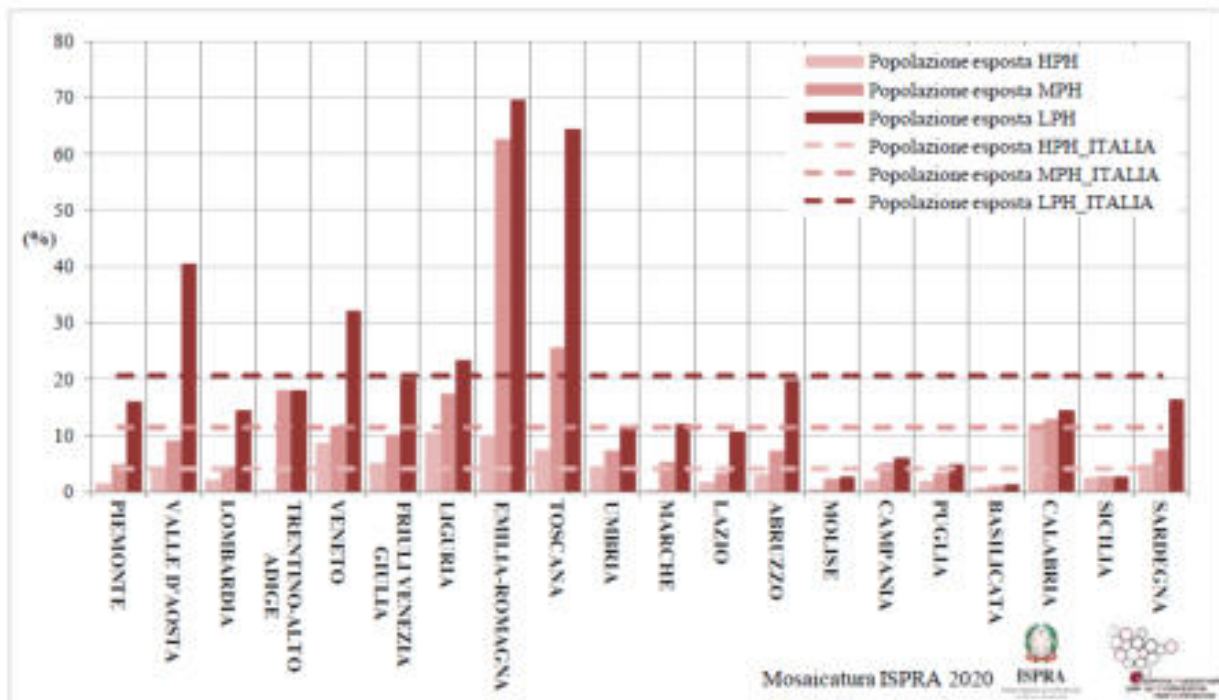


Figura 3-114: Percentuale di popolazione regionale residente in aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione e valori calcolati alla scala nazionale – Mosaicatura ISPRA, 2020 (FONTE: Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati. ISPRA 353/21)

Tabella 3-14: popolazione residente in aree allagabili nelle Regioni italiane per i diversi scenari di probabilità di alluvione (FONTE: Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati. ISPRA 353/21)

ID	Regione	Popolazione Reg. (n. Abitanti)	HPH		MPH		LPH	
	Nome		(n. Ab)	(%)	(n. Ab)	(%)	(n. Ab)	(%)
1	Piemonte	4.363.916	64.503	1,5	213.655	4,9	699.621	16,0
2	Valle d'Aosta	126.806	4.587	3,6	11.508	9,1	51.373	40,5
3	Lombardia	9.704.151	203.751	2,1	430.196	4,4	1.398.322	14,4
4	Trentino-Alto Adige	1.029.475	10	0,0	185.610	18,0	185.610	18,0
5	Veneto	4.855.904	422.659	8,7	568.131	11,7	1.557.994	32,1
6	Friuli Venezia Giulia	1.220.291	62.409	5,1	121.318	9,9	242.850	19,9
7	Liguria	1.570.694	164.897	10,5	273.583	17,4	365.762	23,3
8	Emilia-Romagna	4.342.135	428.568	9,9	2.714.773	62,5	3.014.805	69,4
9	Toscana	3.672.202	271.208	7,4	938.199	25,5	2.359.397	64,3
10	Umbria	884.268	33.992	3,8	63.947	7,2	103.316	11,7
11	Marche	1.541.319	2.664	0,2	79.717	5,2	186.471	12,1
12	Lazio	5.502.886	93.982	1,7	175.851	3,2	583.507	10,6
13	Abruzzo	1.307.309	39.814	3,0	94.563	7,2	259.237	19,8
14	Molise	313.660	1.261	0,4	7.152	2,3	8.176	2,6
15	Campania	5.766.810	115.490	2,0	293.525	5,1	346.535	6,0
16	Puglia	4.052.566	76.114	1,9	135.932	3,4	198.021	4,9
17	Basilicata	578.036	3.995	0,7	6.172	1,1	7.169	1,2
18	Calabria	1.959.050	236.707	12,1	250.035	12,8	282.577	14,4
19	Sicilia	5.002.904	126.751	2,5	131.545	2,6	137.791	2,8
20	Sardegna	1.639.362	78.485	4,8	122.963	7,5	268.893	16,4
	ITALIA	59.433.744	2.431.847	4,1	6.818.375	11,5	12.257.427	20,6

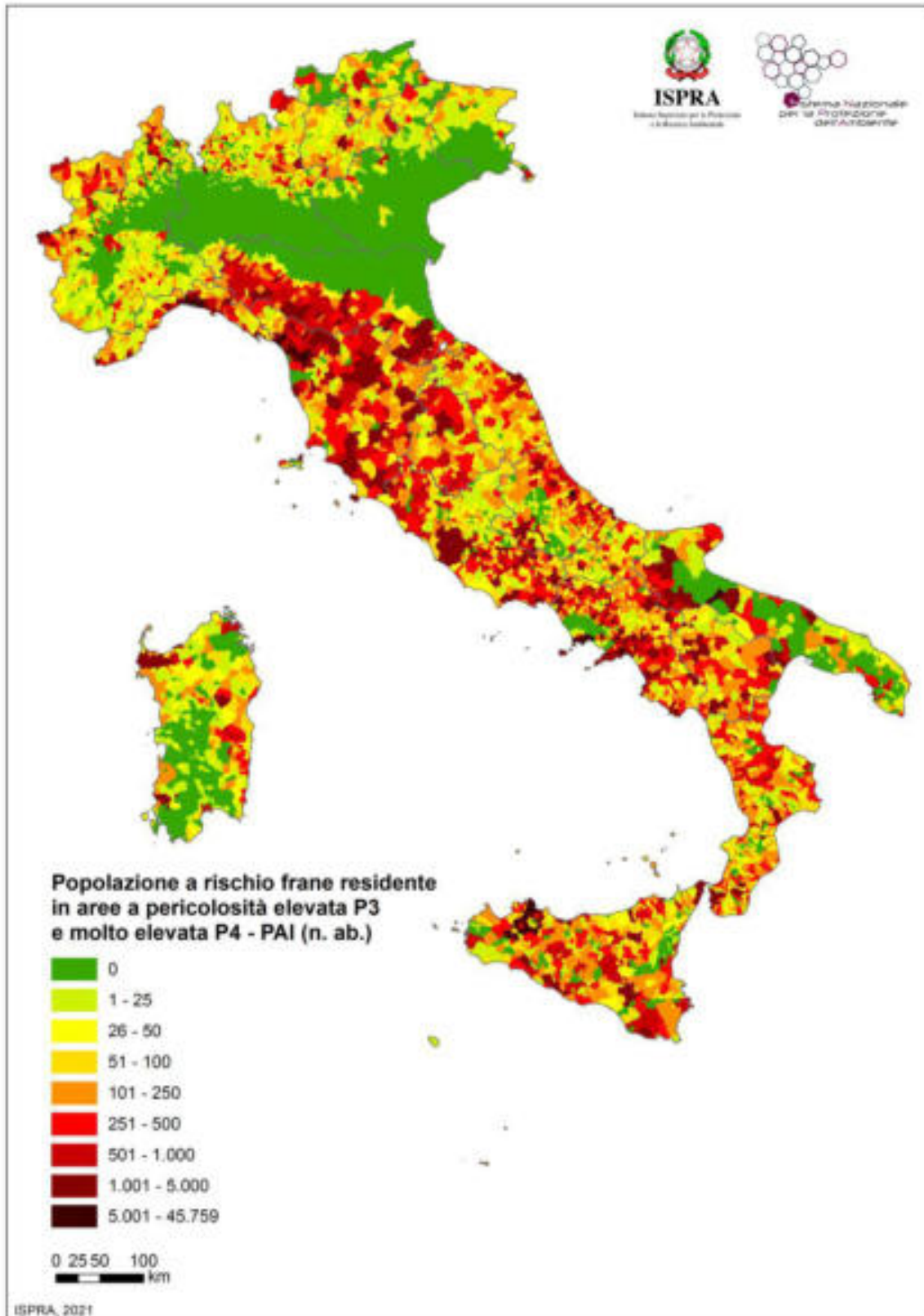


Figura 3-115: Popolazione a rischio frane residente in aree a pericolosità elevata e molto elevata (FONTE: Disserto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischi – ISPRA 356/2021)

Tabella 3-15: Popolazione a rischio residente in aree a pericolosità da frana PAI su base regionale (FONTE: Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischi – ISPRA 356/2021)

COD REG	Regione	Popolazione residente (ISTAT 2011) ²²	Popolazione a rischio residente in aree a pericolosità da frana				Popolazione a rischio residente in aree di attenzione	Popolazione a rischio residente in aree a pericolosità da frana elevata e molto elevata		Popolazione a rischio residente in aree a pericolosità da frana	
			Molto elevata	Elevata	Media	Moderata		P4 + P3		P4 + P3 + P2 + P1 + AA	
			n. ab.	n. ab.	n. ab.	n. ab.		n. ab.	n. ab.	%	n. ab.
1	Piemonte	4.363.916	36.843	45.771	64.891	0	0	82.614	1,9%	147.505	3,4%
2	Valle D'Aosta	126.806	4.925	10.405	45.772	0	0	15.330	12,1%	61.102	48,2%
3	Lombardia	9.704.151	19.584	25.938	306.892	0	0	45.522	0,5%	352.414	3,6%
4	Trentino- Alto Adige	1.029.475	4.413	17.558	42.807	69.875	0	21.971	2,1%	134.653	13,1%
	<i>Bolzano</i>	504.643	4402	7274	6963	152	0	11.676	2,3%	18.791	3,7%
	<i>Trento</i>	524.832	11	10284	35844	69723	0	10.295	2,0%	115.862	22,1%
5	Veneto	4.855.904	1.730	4.864	6.362	3.399	6.183	6.594	0,1%	22.538	0,5%
6	Friuli Venezia Giulia	1.220.291	1.775	2.687	2.164	1.183	128	4.462	0,4%	7.937	0,7%
7	Liguria	1.570.694	8.467	84.685	304.453	464.895	493	93.152	5,9%	862.993	54,9%
8	Emilia- Romagna	4.342.135	23.608	63.031	18.435	29.676	53.163	86.639	2,0%	187.913	4,3%
9	Toscana	3.672.202	32.431	121.437	315.061	611.896	5.850	153.868	4,2%	1.086.675	29,6%
10	Umbria	884.268	1.261	16.254	84.575	72.540	0	17.515	2,0%	174.630	19,7%
11	Marche	1.541.319	3.195	29.946	45.564	16.123	0	33.141	2,2%	94.828	6,2%
12	Lazio	5.502.886	71.641	16.841	11.976	10.264	144.707	88.482	1,6%	255.429	4,6%
13	Abruzzo	1.307.309	34.314	38.983	536	17.705	9.208	73.297	5,6%	100.746	7,7%
14	Molise	313.660	7.159	11.921	2.351	6.560	10.198	19.080	6,1%	38.189	12,2%
15	Campania	5.766.810	128.597	158.963	218.344	429.801	225.098	287.560	5,0%	1.160.803	20,1%
16	Puglia	4.052.566	17.134	40.574	54.279	238	1.460	57.708	1,4%	113.685	2,8%
17	Basilicata	578.036	19.055	21.496	25.352	13.914	24.107	40.551	7,0%	103.924	18,0%
18	Calabria	1.959.050	28.534	36.428	65.689	6.362	10.473	64.962	3,3%	147.486	7,5%
19	Sicilia	5.002.904	48.187	41.081	23.663	20.414	185.880	89.268	1,8%	319.225	6,4%
20	Sardegna	1.639.362	6.896	15.054	81.042	231.798	0	21.950	1,3%	334.790	20,4%
	Totale Italia	59.433.744	499.749	803.917	1.720.208	2.006.643	676.948	1.303.666	2,2%	5.707.465	9,6%

Tabella 3-16: Statistiche degli eventi di frana e di inondazione con vittime nel periodo 1972-2021 (Fonte: CNR-IRPI)

	Morti	Dispersi	Feriti	Evacuati e senzateo
per Frana	1.071	10	1.423	145.548
per Inondazione	539	32	452	160.313

Totali	1.610	42	1.875	305.861
---------------	-------	----	-------	---------

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.

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).

3.9 Patrimonio culturale

Introduzione

Il contesto territoriale italiano presenta un'altissima diversità di beni culturali e paesaggistici intesi quali elementi strutturanti dell'ambiente di vita della popolazione e dell'identità di un territorio e che pertanto rappresentano un elemento chiave del benessere individuale e sociale, come riconosciuto dalla Convenzione europea del Paesaggio (Firenze, 2000). La principale norma di riferimento nazionale per la tutela del paesaggio e dei beni culturali è il D.lgs. 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" e s.m.i., che attribuisce al Ministero della Cultura il compito di tutelare, conservare e valorizzare il patrimonio culturale nazionale. Tale patrimonio culturale è infatti composto, secondo l'art. 2 del suddetto Decreto, dai **beni culturali** ossia le cose immobili e mobili che, ai sensi degli articoli 10 e 11, presentano interesse artistico, storico, archeologico, etnoantropologico, archivistico e bibliografico e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge quali testimonianze aventi valore di civiltà, e dai **beni paesaggistici** ossia gli immobili e le aree indicati all'articolo 134, costituenti espressione dei valori storici, culturali, naturali, morfologici ed estetici del territorio, e gli altri beni individuati dalla legge o in base alla legge. Inoltre, ad integrazione del D.lgs. 42/2004, il D.lgs. 63/2008 all'art. 2 co. 1 interpreta il paesaggio come *"il territorio espressivo di identità, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni"* e stabilisce che *"la valorizzazione del paesaggio concorre a promuovere lo sviluppo della cultura"* ed *"è attuata nel rispetto delle esigenze della tutela"* e quindi *"lo Stato, le regioni, gli altri enti pubblici territoriali nonché tutti i soggetti che, nell'esercizio di pubbliche funzioni, intervengono sul territorio nazionale, informano la loro attività ai principi di uso consapevole del territorio e di salvaguardia delle caratteristiche paesaggistiche e di realizzazione di nuovi valori paesaggistici integrati e coerenti, rispondenti a criteri di qualità e sostenibilità"*.

Una stima dello stato del patrimonio culturale italiano, seppur qualitativa, è particolarmente complesso anche solo limitandosi ad un'analisi dei beni sottoposti a tutela secondo il D. Lgs. 42/2004.

Tali valutazioni sono infatti caratterizzate da una forte componente soggettiva e interpretativa e l'uso di indicatori quantitativi può rappresentare solo un supporto parziale alla descrizione e caratterizzazione dei fenomeni.

3.9.1 Strumenti di tutela dei beni culturali e paesaggistici

L'individuazione degli elementi del patrimonio culturale spetta sia al Ministero competente mediante appositi Decreti ministeriali, sia alle Regioni mediante appositi atti amministrativi, leggi regionali ovvero mediante la predisposizione dei Piani territoriali quali i Piani paesaggistici regionali o i Piani territoriali regionali. La tutela del paesaggio e il relativo vincolo sono stati introdotti in Italia dalla Legge n. 1497/1939 e sono oggi disciplinati dal D.lgs. 42/2004 e s.m.i. "Codice dei beni culturali e del paesaggio", principale riferimento legislativo che attribuisce al Ministero della Cultura il compito di:

- Garantire la conservazione degli elementi costitutivi e delle morfologie dei beni paesaggistici;
- Minimizzare la visibilità delle opere, con particolare riferimento ai punti di maggiore fruizione;
- Garantire la migliore integrazione paesaggistica delle opere.

Ai fini della *tutela del patrimonio culturale e paesaggistico*, il D.lgs. 42/2004 prevede norme per l'individuazione e la tutela per i seguenti beni, la cui valenza è riconosciuta con *provvedimenti di vincolo*:

- i beni culturali che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico (art. 10, co. 2,3,4);
- i beni paesaggistici (art. 134) quali:
 - a) gli immobili e le aree di cui all'articolo 136³³, individuati ai sensi degli articoli da 138 a 141;
 - b) le aree di cui all'articolo 142³⁴;
 - c) gli ulteriori immobili ed aree specificamente individuati a termini dell'articolo 136 e sottoposti a tutela dai piani paesaggistici previsti dagli articoli 143 e 156;
- gli oggetti archeologici e storici rinvenuti nei fondali della zona di mare estesa dodici miglia marine a partire dal limite esterno del mare territoriale (art. 94);
- le zone di rispetto del vincolo (tutela indiretta) con l'obiettivo di evitare che sia messa in pericolo l'integrità dei beni culturali immobili, ne sia danneggiata la prospettiva o la luce o ne siano alterate le condizioni di ambiente e di decoro (art. 45/46/47);
- le zone di rispetto del vincolo (tutela indiretta) volte ad assicurare la conservazione dei valori espressi dai beni protetti nel caso di aperture di strade e di cave, di posa di condotte per impianti industriali e civili e di palificazioni nell'ambito e in vista delle aree indicate alle lettere c) e d) del comma 1 dell'articolo 136 ovvero in prossimità degli immobili indicati alle lettere a) e b) del comma 1 dello stesso articolo (art. 152);
- le espressioni di identità culturale collettiva contemplate dalle Convenzioni UNESCO per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale e per la protezione e la promozione delle diversità culturali (art. 7). Tali aree sono dotate di specifico Piano di gestione che hanno come obiettivo primario quello di assicurare un'efficace protezione del bene, per garantirne la trasmissione alle future generazioni.

³³ Sono sottoposti a vincolo paesaggistico, ai sensi dell'art. 136 del D.lgs. 42/2004 e s.m.i.: "a) le cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale, singolarità geologica o memoria storica, ivi compresi gli alberi monumentali; b) le ville, i giardini e i parchi, non tutelati dalle disposizioni della Parte seconda del presente codice, che si distinguono per la loro non comune bellezza; c) i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, inclusi i centri ed i nuclei storici; d) le bellezze panoramiche e così pure quei punti di vista o di belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si goda lo spettacolo di quelle bellezze".

³⁴ Sono sottoposti a vincolo paesaggistico, ai sensi dell'art. 142 del D.lgs. 42/2004 e s.m.i.: "a) i territori costieri compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i terreni elevati sul mare; b) i territori contermini ai laghi compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi; c) i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi ..., e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna; d) le montagne per la parte eccedente 1.600 metri sul livello del mare per la catena alpina e 1.200 metri sul livello del mare per la catena appenninica e per le isole; e) i ghiacciai e i circhi glaciali; f) i parchi e le riserve nazionali o regionali, nonché i territori di protezione esterna dei parchi; g) i territori coperti da foreste e da boschi, ancorché percorsi o danneggiati dal fuoco, e quelli sottoposti a vincolo di rimboscimento...; h) le aree assegnate alle università agrarie e le zone gravate da usi civici; i) le zone umide incluse nell'elenco previsto dal d.P.R. 13 marzo 1976, n. 448; l) i vulcani; m) le zone di interesse archeologico".

Inoltre, vanno annoverati tra i beni la cui particolare valenza è riconosciuta da **provvedimenti di tutela** anche:

- i Siti UNESCO (vedi tabella seguente), distinti per Area Core e Buffer, in valore assoluto e in percentuale rispetto all'estensione del sito tutelati attraverso appositi Piani di gestione (Fonte: MiC);
- le Aree soggette a disposizioni di tutela dei Piani paesaggistici e/o altri strumenti di pianificazione territoriale (Fonte: Pianificazione territoriale, paesaggistica, urbanistica);
- il Patrimonio monumentale (Fonte: Carta del Rischio – ICR);
- i Centri storici (Fonte: Pianificazione territoriale, paesaggistica, urbanistica);
- le Aree a rischio paesaggistico (Fonte: Carta del Rischio – ICR);
- le Aree di riqualificazione paesaggistica (Fonte: Pianificazione territoriale, paesaggistica, urbanistica).

Tabella 3-17: Siti UNESCO presenti in Italia. Fonte: MiC - ViR Vincoli in Rete

Codice	Denominazione	Localizzazioni	Culturale	Naturale
1	Arte Rupestre In Valcamonica	Italia Lombardia Brescia	Si	No
2	Chiesa e convento domenicano di Santa Maria delle Grazie con l'"Ultima cena" di Leonardo Da Vinci	Italia Lombardia Milano	Si	No
3	Centro storico di Roma, le proprietà extraterritoriali della Santa Sede nella città e San Paolo fuori le mura	Italia Lazio Roma	Si	No
4	Centro storico di Firenze	Italia Toscana Firenze	Si	No
5	Piazza del Duomo, Pisa	Italia Toscana Pisa	Si	No
6	Venezia e la sua laguna	Italia Veneto Venezia	Si	No
7	Centro storico di San Gimignano	Italia Toscana Siena	Si	No
8	I Sassi e il Parco delle Chiese rupestri di Matera	Italia Basilicata Matera	Si	No
9	La città di Vicenza e le Ville del Palladio nel Veneto	Italia Veneto Rovigo	Si	No
10	Crespi d'Adda	Italia Lombardia Bergamo	Si	No
11	Ferrara, città del Rinascimento e il delta del Po	Italia Emilia-Romagna Ferrara	Si	No
12	Centro storico di Napoli	Italia Campania Napoli	Si	No
13	Centro storico di Siena	Italia Toscana Siena	Si	No
14	Castel del Monte	Italia Puglia Bari Corato	Si	No
15	I monumenti paleocristiani di Ravenna	Italia Emilia-Romagna Ravenna	Si	No
16	Centro storico della città di Pienza	Italia Toscana Siena	Si	No
17	I Trulli di Alberobello	Italia Puglia Bari	Si	No
18	Il Palazzo Reale del XVIII secolo di Caserta con il Parco, l'Acquedotto vanvitelliano ed il Complesso di S. Leucio	Italia Campania Benevento	Si	No
19	Area archeologica di Agrigento	Italia Sicilia Caltanissetta	Si	No
20	Aree archeologiche di Pompei, Ercolano e Torre Annunziata	Italia Campania Napoli	Si	No
21	Orto Botanico di Padova	Italia Veneto Padova	Si	No

Codice	Denominazione	Localizzazioni	Culturale	Naturale
22	Modena: Cattedrale, Torre Civica e Piazza Grande	Italia Emilia-Romagna Modena	Si	No
23	Costiera Amalfitana	Italia Campania Salerno	Si	No
24	Portovenere, Cinque Terre e le isole (Palmaria, Tino e Tinetto)	Italia Liguria La Spezia	Si	No
25	Residenze Sabaude	Italia Piemonte Torino	Si	No
26	Su Nuraxi di Barumini	Italia Sardegna Sud Sardegna	Si	No
27	Villa Romana del Casale	Italia Sicilia Enna	Si	No
28	Area archeologica di Aquileia e basilica Patriarcale	Italia Friuli-Venezia Giulia Udine	Si	No
29	Parco Nazionale del Cilento e del Vallo di Diano con i siti archeologici di Paestum e Velia e la Certosa di Padula	Italia Campania Salerno	Si	No
30	Urbino	Italia Marche Pesaro e Urbino Pesaro	Si	No
31	Villa Adriana (Tivoli)	Italia Lazio Roma	Si	No
32	Assisi, la Basilica di San Francesco e altri siti francescani	Italia Umbria Perugia	Si	No
33	Città di Verona	Italia Veneto Verona	Si	No
34	Isole Eolie	Italia Sicilia Messina	No	Si
35	Villa d'Este a Tivoli	Italia Lazio Roma	Si	No
36	Le città tardo-barocche del Val di Noto (Sicilia sud-orientale)	Italia Sicilia Ragusa	Si	No
37	Sacri Monti di Piemonte e Lombardia	Italia Lombardia	Si	No
38	Monte San Giorgio	Svizzera	No	Si
39	Le necropoli etrusche di Cerveteri e Tarquinia	Italia Lazio Roma	Si	No
40	Val d'Orcia	Italia Toscana Siena	Si	No
41	Siracusa e la necropoli rupestre di Pantalica	Italia Sicilia Siracusa	Si	No
42	Genoa: Le Strade Nuove and the system of the Palazzi dei Rolli	Italia Liguria Genova	Si	No
43	Foreste di faggio antiche e primordiali dei Carpazi e di altre regioni d'Europa	Austria	No	Si
44	Mantova e Sabbioneta	Italia Lombardia Mantova	Si	No
45	La Ferrovia Retica nel paesaggio dell'Albula e del Bernina	Italia	Si	No
46	Le Dolomiti	Italia	No	Si
47	"I Longobardi in Italia. I luoghi del potere (568-774 d.C.)"	Italia	Si	No
48	I siti palafitticoli preistorici dell'arco alpino	Italia	Si	No

Codice	Denominazione	Localizzazioni	Culturale	Naturale
49	Ville e Giardini medicei della Toscana	Italia	Si	No
50	Monte Etna	Italia	No	Si
51	Paesaggi vitivinicoli del Piemonte: Langhe-Roero e Monferrato	Italia	Si	No
52	Palermo arabo-normanna e le cattedrali di Cefalù e Monreale	Italia Sicilia Palermo	Si	No
53	Opere di difesa veneziane tra XVI e XVII secolo: Stato da Terra Stato da Mar occidentale	Montenegro	Si	No
54	Ivrea	Italia Piemonte Torino Ivrea	Si	No
55	Le colline del Prosecco di Conegliano e Valdobbiadene	Italia Veneto Treviso Conegliano	Si	No
56	Le Grandi Città Termali d'Europa	Italia Toscana Pistoia Montecatini-Terne	Si	No
57	I cicli affrescati del XIV secolo a Padova	Italia Veneto Padova	Si	No
58	I Portici di Bologna	Italia Emilia-Romagna Bologna	Si	No

Come detto, ai sensi dell'art. 143 del D. Lgs. 42/2004, anche i *Piani paesaggistici regionali* o i *Piani territoriali regionali a valenza paesaggistica* prevedono specifiche norme prescrittive di tutela e di utilizzo dei suddetti beni e di altri beni e contesti sottoposti a forme di tutela ai sensi di leggi regionali.

3.9.2 Beni culturali

La nozione di "bene culturale", come descritto precedentemente, è desumibile dall'art. 2, co. 2, e dagli artt. 10 e 11 del "Codice dei beni culturali e del paesaggio" (D.lgs. 42/2004). In particolare, l'art. 10 – più volte modificato – individua le categorie di beni culturali assoggettati alle disposizioni di tutela contenute nel Titolo I della Parte II dello stesso Codice, tra le quali sono ricomprese, in particolare, misure di protezione (artt. 21 e ss., che stabiliscono, tra l'altro, le tipologie di interventi vietati o soggetti ad autorizzazione), misure di conservazione (artt. 29 e ss., che includono anche obblighi conservativi), nonché misure relative alla circolazione dei beni (artt. 53 e ss.) e misure di tutela concernenti i beni inalienabili (artt. 54 e ss.). Tra le categorie di cui all'art. 10 rientra, anzitutto, quella dei beni culturali ex lege che, in quanto tali, non necessitano di alcun tipo di accertamento (co. 2). Vi sono, poi, la categoria dei beni culturali appartenenti a soggetti pubblici (o a persone giuridiche private senza fine di lucro) (co. 1 e 4), che divengono tali solo a seguito della verifica dell'interesse culturale di cui all'art. 12, e quella dei beni culturali appartenenti a privati, o a chiunque appartenenti (co. 3 e 4), che diventano tali solo a seguito della dichiarazione di interesse culturale di cui all'art. 13. L'art. 11 individua, invece, i beni oggetto solo di specifiche disposizioni di tutela, indicate di volta in volta.

La tabella seguente riporta, a livello regionale, il numero dei beni culturali immobili relativamente alle categorie architettura, complessi archeologici, monumenti archeologici, parchi/giardini, siti archeologici (Fonte: ViR Vincoli in Rete <http://vincoliinrete.beniculturali.it/vir/vir/vir.html>).

Le regioni che presentano il maggior numero di beni archeologici e architettonici immobili, ciascuna poco sopra al 10% del totale, sono Veneto ed Emilia-Romagna.

Tabella 3-18: Beni archeologici e architettonici immobili. Fonte: MiC - ViR Vincoli in Rete

Regione	Totale beni immobili	%
Piemonte	16.685	7,2
Valle d'Aosta	348	0,2
Lombardia	20728	9,0
Trentino-Alto Adige	1.757	0,8
Veneto	27.833	12,1
Friuli-Venezia Giulia	7.278	3,2
Liguria	12.797	5,6
Emilia-Romagna	25.505	11,1
Toscana	19.915	8,6
Umbria	6.228	2,7
Marche	22.832	9,9
Lazio	14.355	6,2
Abruzzo	4.787	2,1
Molise	5.939	2,6
Campania	12.167	5,3
Puglia	9.535	4,1
Basilicata	2.380	1,0
Calabria	5.082	2,2
Sicilia	8.498	3,7
Sardegna	5.785	2,5
Italia	230.434	100,0

In riferimento alla *Valutazione dello Stato di conservazione dei beni storico-architettonici*, poiché il carattere qualitativo e sito-specifico di tali beni è fondamentale e rilevante, risulta complessa una caratterizzazione esaustiva dei beni culturali italiani. Per i beni culturali possono costituire una indicazione utile, anche in relazione alla definizione del "Codice dei beni culturali e del paesaggio", le considerazioni relative alla rilevanza e all'integrità del bene. La *rilevanza* può essere valutata in prima istanza secondo un approccio giuridico-amministrativo come verifica di sussistenza di vincoli provvedimenti o ope legis che definiscano un livello di attenzione formalmente accertato; mentre per tutto il territorio ci si può avvalere di criteri definibili tecnico-disciplinari, che indicano percorsi di valutazione non automatici che definiscano un giudizio complessivo circa la rilevanza di un bene secondo differenti modi di valutazione che tengano conto dell'aspetto morfologico-strutturale, visivo e simbolico. Per valutare il livello di *integrità* di un bene occorre prioritariamente definire la struttura originaria di quel bene e successivamente individuare le permanenze di elementi e caratteri identitari (o viceversa la loro perdita). Anche per questa operazione non ci si può avvalere di strumenti che permettano una valutazione automatica ed univoca; è possibile effettuare una verifica obiettiva dell'entità delle trasformazioni avvenuta nel corso del tempo ma è tuttavia sempre necessario attivare un processo critico valutativo di maggiore complessità per formulare un giudizio di valore delle trasformazioni rilevate.

Tali valutazioni appaiono maggiormente pertinenti alle analisi sito-specifiche relative alla pianificazione locale e alla progettazione attuativa.

3.9.3 Beni paesaggistici

Il contesto territoriale italiano presenta un'altissima diversità di paesaggi rappresentativi di una identità il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni (art. 131 D. Lgs. 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio"). Il *paesaggio* è quindi inteso come manifestazione delle organizzazioni spaziali e strutturali del territorio così come viene percepito dall'uomo; tale manifestazione è l'espressione sensibile di segni antropici, modificazioni di sistemi naturali, strutture geomorfologiche ed ecosistemi. Sono beni culturali tutte le testimonianze, materiali e immateriali, aventi valore di civiltà, che hanno un valore storico, artistico, di memoria, mentre per beni paesaggistici si intendono gli immobili e le aree che costituiscono espressione dei valori storici, culturali, naturali, morfologici ed estetici di un territorio.

La componente ambientale paesaggio comprende, oltre al patrimonio storico - culturale, architettonico, archeologico, anche gli agro ecosistemi, gli ambiti ad alta vocazione agricola, gli ambiti destrutturati e marginali, gli ambiti agricoli periurbani, le aree di accertata rilevante consistenza archeologica, le aree interessate da bonifiche storiche, i capisaldi collinari montani, le aree di collina, costa, crinale, i dossi, i paleodossi, le zone di tutela degli elementi della centuriazione, le zone di interesse storico testimoniale, le zone di particolare interesse naturale, paesaggistico e ambientale, le zone di tutela agro naturalistica.

A tale sistema ne corrisponde un altro altrettanto articolato di gestione, conservazione e tutela del patrimonio culturale e dei paesaggi di maggior interesse identitario, che spazia dagli obiettivi di tutela ricadenti sotto il D. Lgs. 42/2004 agli indirizzi in materia di paesaggio derivanti dalla Convenzione Europea del Paesaggio del 2000, che aprono la strada a forme di tutela attiva. La normativa sulla tutela dei beni paesaggistici è stata aggiornata dal Decreto legislativo di cui sopra, sulla base della delega contenuta nell'articolo 10 della legge n. 137/2002, che ha introdotto il "Codice dei beni culturali e del paesaggio", meglio noto come "Codice Urbani". Detto Codice costituisce la diretta attuazione dell'articolo 9 della Costituzione, ai sensi del quale la Repubblica Italiana tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della nazione, la cui espressione deve essere interpretata in una accezione più generale, con il significato di forma visibile dell'ambiente.

La centralità del paesaggio e la rilevanza della sua tutela tra i valori costituzionalmente garantiti sono principi riconosciuti nell'ordinamento giuridico della Repubblica. Detta centralità è riconosciuta anche da un consolidato orientamento della Corte costituzionale, ai sensi del quale, la tutela del bene paesaggistico è elevata a valore primario dell'ordinamento, non è suscettibile di essere subordinata ad altri interessi e costituisce un interesse pubblico fondamentale, primario ed assoluto che va salvaguardato nella sua interezza. Recentemente, tali principi sono stati riaffermati in una importante sentenza della sesta Sezione del Consiglio di Stato, secondo la quale l'articolo 9 della Costituzione erige il valore estetico-culturale del bene paesaggistico a valore primario dell'ordinamento e la tutela del paesaggio, che sovrintende a superiori interessi pubblici, deve realizzarsi a prescindere da ogni valutazione dei singoli interessi privati.

Le aree vincolate ai sensi del "Codice dei beni culturali e del paesaggio" (art. 136 e 142 del D. Lgs. 42/2004) definite quali beni paesaggistici coprono circa il 34% del territorio nazionale (ISPRA, ADA 2018) e sono ripartite a livello regionale al netto delle sovrapposizioni come da tabella seguente (Tabella 3-19).

Tabella 3-19: Beni paesaggistici vincolati (art. 142 lett. a, b, c, d, l e art. 136)

Regione	Suolo soggetto a vincoli (ha)
Piemonte	998.504
Valle d'Aosta	263.457
Lombardia	751.481
Trentino-Alto Adige	1.192.617

Veneto	665.647
Friuli-Venezia Giulia	201.815
Liguria	275.772
Emilia-Romagna	538.274
Toscana	605.656
Umbria	188.481
Marche	358.543
Lazio	557.627
Abruzzo	594.239
Molise	253.340
Campania	376.317
Puglia	296.975
Basilicata	346.116
Calabria	421.116
Sicilia	774.743
Sardegna	652.277
Italia	10.312.996

Un'ulteriore fonte di documentazione istituzionale è costituita dal SITAP - Sistema Informativo Territoriale Ambientale e Paesaggistico, la Banca dati a riferimento geografico su scala nazionale per la tutela dei beni paesaggistici che contiene il catalogo di tutte le aree sottoposte a vincolo paesaggistico, dichiarate di notevole interesse pubblico dalla Legge n. 1497/1939 e dalla Legge n. 431/1985 (oggi ricomprese D.lgs. n. 42/2004). Detto sistema, aperto alla consultazione pubblica, raccoglie i dati relativi ai livelli informativi cartografici di base (limiti amministrativi di regioni, province e comuni basati sui dati ISTAT rilevati con il censimento del 2001; idrografia completa acquisita dall'IGM in scala 1:25.000; infrastrutture di trasporto; cartografia IGM in scala 1:25.000) e le informazioni identificativo-descrittive dei vincoli paesaggistici originariamente emanati ai sensi della Legge n. 77/1922 e della legge n. 1497/1939 o derivanti dalla Legge n. 431/1985 ("Aree tutelate per legge"), e normativamente riconducibili alle successive disposizioni del Testo unico in materia di beni culturali e ambientali (D.lgs. n. 490/99) prima, e del D.lgs. n. 42/2004 e ss.mm.ii (Codice dei beni culturali e del paesaggio).

Paesaggi rurali storico-culturali

All'interno dell'accezione di paesaggio culturale storico (urbano, produttivo, patrimonio immateriale), con riferimento alla conservazione e valorizzazione delle identità culturali e produttive locali, va ricordato il *paesaggio rurale storico e tradizionale* che connota fortemente il territorio italiano definito come *"quell'attività che l'uomo, nel corso ed ai fini delle sue attività produttive agricole, coscientemente e sistematicamente imprime al paesaggio naturale"* (Sereni E., 1961). Per l'identificazione e la valutazione dei paesaggi rurali tradizionali storici, di norma, vengono adottati i criteri di *significatività, persistenza e unicità*. Più nello specifico, per la selezione delle aree e degli elementi del paesaggio di interesse tradizionale e storico, tale concetto di significatività tiene conto del rispettivo eccezionale valore universale (UNESCO World Heritage Convention, <http://whc.unesco.org/en/>).

Il concetto di paesaggio rurale storico viene collegato soprattutto alla nozione di persistenza storica della struttura degli ordinamenti culturali. In particolare, si tiene conto di caratteristiche di storicità del paesaggio associate anche alla permanenza di pratiche tradizionali che li determinano.

Il concetto di *significatività storica* ha valore a livello nazionale e viene definito con riferimento a:

- le caratteristiche di configurazione e composizione dell'uso del suolo;

- l'assetto vegetazionale;
- le colture praticate e le forme di allevamento caratterizzate da un ridotto impiego di energie sussidiarie esterne;
- la presenza, anche parziale, di ordinamenti culturali economici locali tradizionali;
- la stabilità o l'evoluzione molto lenta nel tempo.

La *persistenza* riguarda la possibilità di individuare nel paesaggio contemporaneo assetti paesaggistici riconducibili ad epoche precedenti, con ordinamenti culturali caratterizzati da una presenza continua e da forti legami con i sistemi sociali ed economici locali che li hanno prodotti, la persistenza storica sia dell'assetto insediativo che delle forme:

- autenticità e integrità dei paesaggi presenti in un determinato territorio da lungo tempo;
- significativa armonia tra aspetti culturali, produttivi e ambientali;
- caratteristiche delle tessere (parcelle) dei campi;
- sistemazioni idraulico agrarie riconoscibili, oltre che dall'uso del suolo, dalle tecniche di coltivazione e di appoderamento;
- elementi lineari del paesaggio quali la viabilità, la rete idrica artificiale, le sistemazioni vegetazionali;
- caratteristiche di organizzazione insediativa del territorio e tipologie di edilizia rurale.

Il Decreto n. 17070 del 19 novembre 2012, relativo all'istituzione dell'*Osservatorio Nazionale del Paesaggio rurale, delle pratiche agricole e conoscenze tradizionali* (ONPR), ha contestualmente previsto, all'articolo 4, l'istituzione del "*Registro nazionale dei paesaggi rurali di interesse storico, delle pratiche agricole e delle conoscenze tradizionali*".

L'Osservatorio:

- Identifica e cataloga nel Registro i paesaggi rurali tradizionali o di interesse storico, le pratiche e le conoscenze tradizionali correlate presenti sul territorio nazionale, definendo la loro significatività, integrità e vulnerabilità, tenendo conto sia di valutazioni scientifiche, sia dei valori che sono loro attribuiti dalle comunità, dai soggetti e dalle popolazioni interessate;
- Organizza e gestisce la raccolta, l'analisi e la classificazione dei dati assicurando la loro conservazione per le generazioni future e l'accessibilità, anche attraverso un apposito sito internet, ai potenziali fruitori;
- Seleziona dal Registro le eventuali candidature di paesaggi rurali per l'iscrizione nella Lista Rappresentativa del Patrimonio Mondiale dell'Umanità dell'UNESCO nonché le pratiche agricole e le conoscenze tradizionali da candidare nella Lista Rappresentativa del Patrimonio Immateriale dell'UNESCO. Ove ne sussistano le condizioni, l'Osservatorio seleziona dal Registro i paesaggi rurali da inserire nella Rete UNESCO delle Riserve di Biosfera nell'ambito del Programma MAB, nel rispetto delle procedure internazionali vigenti.

Il Registro nazionale è stato costituito al fine di raccogliere le candidature provenienti dagli Enti interessati su tutto il territorio nazionale, che soddisfino determinati requisiti di ammissibilità, quest'ultimi approvati in sede di Conferenza permanente Stato-Regioni.

Ad oggi sono stati identificati 123 paesaggi distribuiti in tutte le regioni italiane, raccolti in schede descrittive che prendono in considerazione il loro valore storico, i prodotti tipici e le criticità che minacciano la loro integrità, proponendo indirizzi per la loro valorizzazione.

3.9.4 Patrimonio culturale e cambiamenti climatici

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. Per una valutazione completa del rischio è necessario introdurre il concetto di valutazione della *vulnerabilità dei beni esposti*; l'analisi della vulnerabilità rappresenta un compito fondamentale e non semplice per perseguire la resilienza ai disastri. La vulnerabilità può essere caratterizzata da parametri che contemplano diversi aspetti (ad esempio fisica, sociale, economica, ambientale e istituzionale) ed è fortemente dipendente dalla scala (ad esempio un sistema considerato invulnerabile, ad esempio una città, può includere sottosistemi vulnerabili, come edifici specifici) e dalla sua evoluzione (la vulnerabilità varia nelle stagioni e con il tempo, nonché in funzione della cronologia degli eventi). La vulnerabilità, in termini pratici, può essere interpretata come la combinazione di tre fattori principali di un sistema: suscettibilità, esposizione e resilienza che devono essere caratterizzati per poterne fornire una valutazione. Dall'analisi dello stato dell'arte e delle lacune ancora esistenti nella conoscenza del settore, risulta urgente investire risorse e sforzi nella produzione di strumenti e soluzioni per migliorare la preparazione del Patrimonio Culturale nell'affrontare gli eventi legati ai cambiamenti climatici.

Secondo la stima dell'*esposizione dei beni culturali al pericolo di frana*, (Fonte: Trigila A., Iadanza C., Lastoria B., Bussetini M., Barbano A. (2021), *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021*, ISPRA) 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.

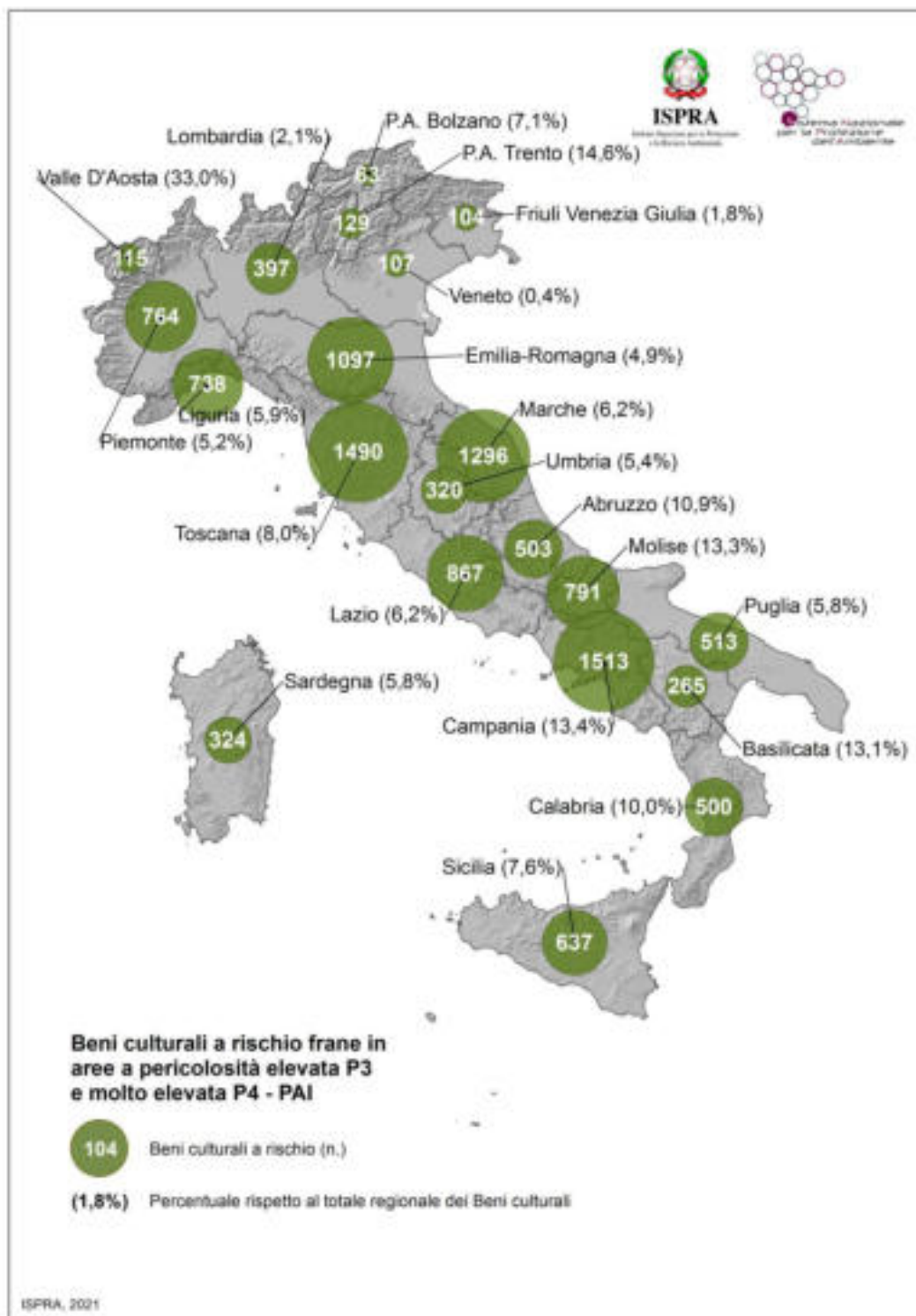


Figura 3-116 - Beni Culturali a rischio in aree a pericolosità da frana PAI (P3+P4) su base regionale. Fonte: Trigila A., Iadanza C., Lastoria B., Bussetтини M., Barbano A. (2021,) *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021, ISPRA.*

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 (Fonte: Lastoria B., Bussetтини M., Mariani S., Piva F.,

Braca G., 2021: *Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati*, ISPRA).

Tabella 3-20: *Aggregazione dei dati a livello Nazionale. Beni culturali presenti in aree allagabili per i diversi scenari di probabilità di alluvione – Mosaicatura ISPRA, 2020.*

HPH High Probability Hazard		MPH Medium Probability Hazard		LPH Low Probability Hazard	
(n. beni culturali)	(%)	(n. beni culturali)	(%)	(n. beni culturali)	(%)
16.025	7,8	33.888	16,5	49.903	24,3

In Figura 3-117 sono riportati, su base regionale, i valori dell'esposizione alla pericolosità da alluvione per i tre scenari di probabilità relativamente ai beni culturali, espressi in termini percentuali rispetto al totale di beni culturali presenti in ciascuna Regione. Le Regioni Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Liguria ed Emilia-Romagna hanno percentuali di beni culturali esposti a rischio di alluvione superiori ai valori calcolati alla scala nazionale per tutti gli scenari di pericolosità. In dettaglio, le maggiori percentuali di beni culturali esposti a rischio di alluvione si registrano per lo scenario di pericolosità elevata (HPH) in Veneto (21,2%) e Liguria (18,6%), per lo scenario medio (MPH) in Emilia-Romagna (55,4%) e per lo scenario di pericolosità bassa (LPH) in Emilia-Romagna (63,8%) e in Toscana (40,0%).

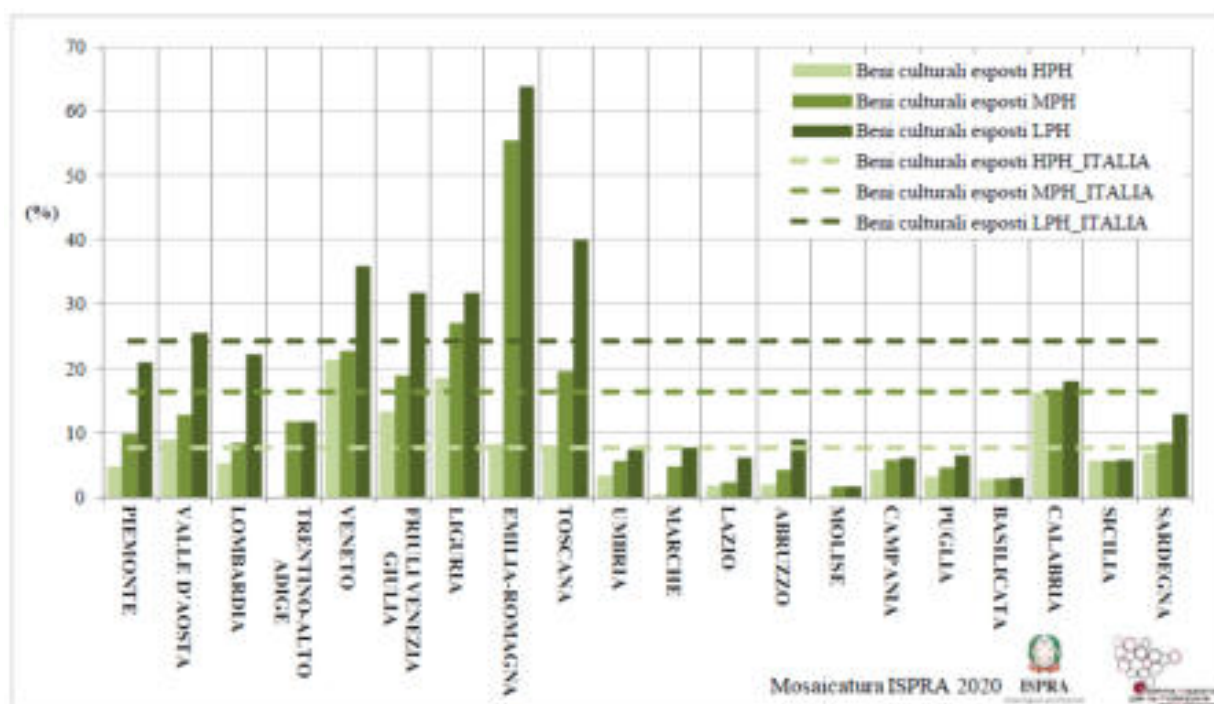


Figura 3-117: *Percentuale di beni culturali a scala regionale ricadenti in aree allagabili per i tre scenari di probabilità di alluvione e valori calcolati alla scala nazionale – Mosaicatura ISPRA, 2020. Fonte: Lastoria B., Bussetini M., Mariani S., Piva F., Braca G., 2021: Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati, ISPRA.*

3.9.5 Degrado dei beni culturali

La conoscenza dell'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio in Italia diventa essenziale e richiede innanzitutto l'identificazione dei parametri climatici prioritari che determinano il degrado sia in ambiente esterno (patrimonio architettonico, archeologico, etc.) che in ambiente interno (musei, chiese, ipogei, etc.). Nella fase successiva devono essere messe a punto strategie per la conservazione del patrimonio dagli impatti e per la riduzione del contributo antropico a questi, attraverso azioni che coinvolgano non solo gli enti preposti alla conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale, ma anche quelli coinvolti nello sviluppo economico e sociale.

La SNACC contiene l'identificazione dei principali processi di degrado che si verificano sui materiali che costituiscono il patrimonio collocato prevalentemente all'aperto e che si riportano sinteticamente di seguito: a) corrosione sui metalli; b) danno meccanico e crescita fungina su legno; c) recessione superficiale, annerimento, stress termico, alterazione causata dal gelo, cristallizzazione dei sali, biodegrado su pietra, mattoni e malte. Inoltre, tramite l'uso di funzioni di danno vengono fornite valutazioni quantitative degli effetti dei cambiamenti climatici lenti (es. recessione di superficie).

In base alle conoscenze disponibili emerge il ruolo predominante dell'acqua come fattore di degrado diretto e indiretto dei materiali costituenti i beni culturali. Eventi estremi, sempre più frequenti come precipitazioni intense fino ad alluvioni e tempeste, sono responsabili di danni anche strutturali negli edifici storici, in particolare per quanto riguarda gli elementi ornamentali (guglie, pinnacoli, sculture, finiture, etc.).

I modelli di previsione indicano che durante il XXI secolo la dissoluzione chimica dei materiali lapidei carbonatici sarà dovuta principalmente alle precipitazioni e all'aumento della concentrazione di CO₂ atmosferica, determinando in Italia un aumento massimo della recessione superficiale pari al 30% rispetto al periodo di riferimento 1961-1999 e corrispondente a valori medi di 30 µm/anno. I dati dimostrano che le regioni mediterranee 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 (*termoclastismo*), con valori a volte superiori a 200 eventi all'anno alla fine del secolo e con danni amplificati dall'erosione eolica proprio sui siti archeologici e sui materiali del barocco leccese e siciliano. Anche 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.

Il Patrimonio Culturale collocato invece sulle coste italiane sarà soggetto all'aumento dell'incidenza degli eventi estremi, all'innalzamento del livello del mare e ai fenomeni di erosione costiera con probabile perdita di accessibilità ai siti archeologici e ai complessi monumentali costieri. L'aumento degli eventi estremi potrebbe causare allagamenti soprattutto dei siti ipogei e dei centri storici.

Per quanto riguarda il paesaggio, la sua vulnerabilità legata all'evoluzione di fattori culturali e socioeconomici è aggravata dalla presenza di rischi naturali, connessi alla realtà fisica del suo ambiente, fra i quali assumono un ruolo rilevante sia le caratteristiche geomorfologiche sia i fattori climatici del contesto territoriale. A titolo di esempio si può citare la dinamica di rapida crescita dell'urbanizzazione, in particolare nelle zone pianeggianti e costiere che sta rendendo particolarmente critica la situazione di detti territori e dei paesaggi che li caratterizzano, mentre per ciò che riguarda le aree montane, oggi sempre più esposte al rischio di progressivo spopolamento, il fattore che minaccia la conservazione dei paesaggi culturali è rappresentato dall'abbandono del pascolo e dell'agricoltura tradizionale.

Con riferimento diretto ai rischi climatici, è utile citare il surriscaldamento termico che sta creando problemi di trasformazione del paesaggio con lo spostamento in quota dei limiti altitudinali delle fasce di vegetazione, mentre, sempre a titolo di esempio, la vulnerabilità dei paesaggi dell'area mediterranea, per sua natura più calda e arida, risulta essere fra le più critiche per i processi di desertificazione in atto (Vos W. e Meekes H., 1999; Adger W. N. et al., 2009; Caneva G., 2010), oltre alla registrata tendenza di incremento della frequenza

di eventi estremi che comporta un aumento di rischio di danneggiamento e di perdita irreversibile di paesaggi ed edifici storici.

Nelle aree alpine, prealpine e appenniniche l'aumento di temperatura previsto potrebbe presentare non solo delle minacce, ma anche delle opportunità, si pensi al recupero di piccoli borghi semiabbandonati (patrimonio culturale diffuso) e alla possibile ricolonizzazione da parte di cittadini in fuga dalle ondate di calore urbane. La riduzione dei cicli di gelo-disgelo correlato all'aumento della temperatura previsto potrebbe comportare anche un minor degrado dei materiali da costruzione, ma l'aumento della frequenza di eventi estremi correlati alle precipitazioni richiederebbe nelle stesse aree una buona cura del patrimonio immobiliare pubblico ed ecclesiastico, soprattutto quello caratterizzato da strutture lignee.

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;
- *effetti legati al mal adattamento (maladaptation)*, 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.

La ricerca sull'impatto che i cambiamenti climatici produrranno sul patrimonio culturale è stata fino ad ora molto limitata; gli scenari disponibili si riferiscono principalmente ai materiali da costruzione, mentre mancano valutazioni di impatto relativi ai sistemi complessi, quali centri storici e siti archeologici, sottoposti anche a intensa azione antropica determinata dai flussi turistici. È urgente quindi inserire il patrimonio culturale nella catena dei valori dello sviluppo sostenibile, la problematica numero uno che si trova a fronteggiare il mondo oggi.

Le *interrelazioni tra il patrimonio culturale e il paesaggio e le tematiche trattate* negli altri paragrafi del presente capitolo sono numerose ed emerge la forte necessità di coordinare le azioni che possono avere incidenza sul patrimonio culturale, in quanto il paesaggio può rivestire un ruolo strategico, se si assume quanto dichiarato dalla Convenzione Europea del Paesaggio che lo definisce come il risultato dell'evoluzione degli eventi naturali e antropici. In particolare, dovranno essere considerati gli impatti diretti e indiretti relativi al degrado e ai danni materici da agenti atmosferici, da stress termico ed eventi meteorologici avversi, ondate di calore urbano con effetti sul turismo e la fruizione dei luoghi culturali, il rischio incendio, la desertificazione, il degrado e l'erosione dei suoli, dei paesaggi rurali storici, la trasformazione dei paesaggi tradizionali per la diminuzione della biodiversità, lo spostamento di specie vegetali e la diffusione di specie invasive, la contrazione dell'habitat per fitopatologie, l'erosione delle coste, l'aumento dei costi di manutenzione del patrimonio culturale, paesaggistico e forestale. Per un'analisi di tali impatti dei CC sui fattori ambientali con ricadute indirette sul patrimonio culturale si rimanda ai paragrafi dedicati relativi a

Risorse Idriche; degrado del territorio; Dissesto geologico e idraulico; Ecosistemi terrestri; Foreste; Agricoltura; Acquacoltura; Pesca marittima; Zone costiere.

Fonti informative

Si riporta di seguito una lista non esaustiva di strumenti a supporto dell'analisi e della caratterizzazione del patrimonio culturale.

- WebGis RAPTOR – geodatabase che censisce i siti archeologici nazionali www.raptor.beniculturali.it;
- Siti dei Piani Paesaggistici Regionali e Piani Territoriali Regionali con valenza paesaggistica;
- Sistema Informativo Territoriale Ambientale e Paesaggistico – SITAP: <http://sitap.beniculturali.it/>;
- Carta del Rischio – ICR: <http://vincolinrete.beniculturali.it/vir/vir/vir.html>;
- Annuario dei Dati Ambientali di ISPRA: <https://annuario.isprambiente.it>;
- SICaR – Sistema Informativo per la documentazione e la progettazione dei Cantieri di Restauro <http://www.sicar.beniculturali.it>;
- Siti Italiani UNESCO e relativi Piani di Gestione;
- Piano Strategico Nazionale della Rete Rurale Nazionale, https://www.reterurale.it/PAC_2023_27/PianoStrategicoNazionale;
- Registro Nazionale dei Paesaggi Rurali Storici, <https://www.reterurale.it/registropaesaggi>.

3.10 Settori antropici

Nel presente quadro ambientale inerente agli aspetti più rilevanti in tema di impatti dei cambiamenti climatici e vulnerabilità settoriali che caratterizzano il territorio italiano, sono trattati anche i settori socio-economici, già inclusi all'interno della Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (MATTM, 2015), più vulnerabili ai cambiamenti climatici nel nostro paese.

3.10.1 Energia

La principale relazione tra cambiamenti climatici ed energia è inerente all'incremento della domanda di raffrescamento che determina un incremento dei consumi di energia elettrici nel periodo estivo. Tale incremento è direttamente collegato all'innalzamento delle temperature medie. Lo stesso fenomeno determina una minore richiesta di energia per soddisfare la domanda di riscaldamento nel periodo invernale. La valutazione della domanda elettrica in tale periodo deve tuttavia considerare il previsto incremento dei consumi elettrici legato alla crescente diffusione di pompe di calore che determineranno un incremento del vettore elettrico a scapito di consumi termici soddisfatti finora da gas naturale o altro combustibile. La domanda di riscaldamento e raffrescamento non è soddisfatta solo dall'elettrico, poiché tale bisogno è soddisfatto anche da altri vettori energetici. Pertanto, l'incremento della domanda energetica per il raffrescamento determinerà un impatto anche nel settore dei consumi non legati al settore elettrico. Direttamente connesso all'incremento della domanda elettrica nel periodo estivo è da considerare l'aumento del rischio di blackout e delle interruzioni della fornitura elettrica.

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 allo scioglimento dei ghiacciai in atto ed alla conseguente variazione del regime dei corsi d'acqua da questi alimentati.

L'aumento della temperatura incide 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.”*

Un ulteriore impatto sulla trasmissione e distribuzione elettrica dovuto all'aumento della temperatura è il previsto incremento della resistenza dei cavi, e quindi delle perdite di rete, e una più difficile dissipazione del calore.

In relazione ai consumi di energia la seguente figura mostra l'andamento dei consumi finali lordi dal 2005 nei comparti elettrico e termico per riscaldamento e raffreddamento (H&C). Per ogni comparto è riportata la quota di consumo soddisfatta da energia rinnovabile. In merito al settore termico occorre precisare che per riscaldamento e raffreddamento si intende anche l'utilizzo per le attività economiche (forni industriali, serre, refrigerazione, ecc.) e che non sono disponibili statistiche per distinguere tali usi finali dal riscaldamento e raffreddamento per il benessere negli ambienti, uso finale direttamente connesso all'impatto dei cambiamenti climatici. L'innalzamento delle temperature determinerà anche un aumento della domanda energetica per la refrigerazione nel settore dei servizi.

Dal grafico emergono due aspetti rilevanti: il primo inerente alla diminuzione dei consumi di energia nel settore termico, il secondo inerente all'incremento della quota rinnovabile di energia consumata. Questo secondo aspetto appare di rilevante importanza in relazione al nesso tra adattamento e mitigazione, poiché le fonti rinnovabili, insieme all'incremento dell'efficienza che riduce i consumi, consentono riduzioni significative delle emissioni di gas serra. Il grafico mostra inoltre la rilevanza dei consumi termici rispetto ai consumi elettrici.

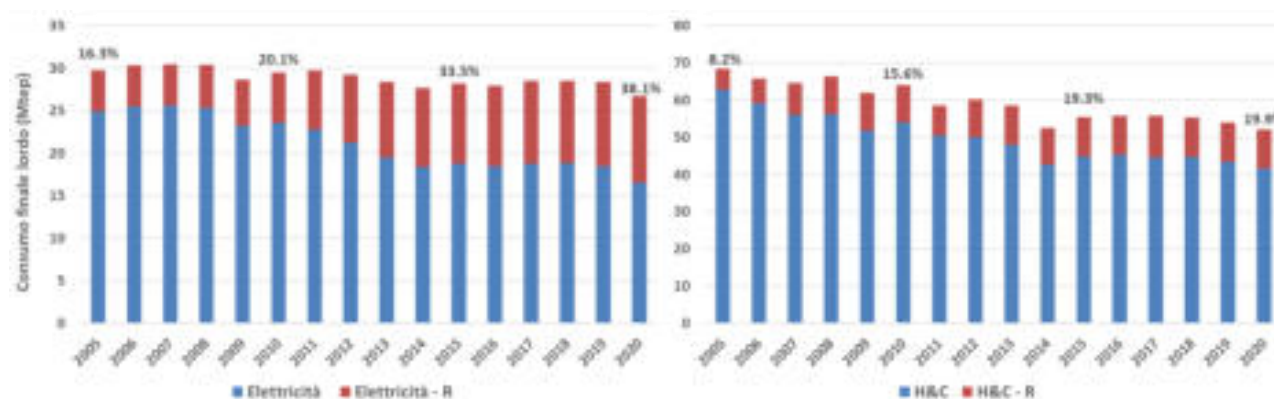


Figura 3-118: Consumi finali lordi nei comparti elettrico e termico per riscaldamento e raffreddamento (H&C)

Nel dettaglio del settore termico appare di rilievo sottolineare lo sviluppo dei consumi di teleriscaldamento e di pompe di calore, soluzioni che possono essere ricondotte al riscaldamento e raffreddamento degli ambienti per il benessere e che incideranno, sia pure in differente misura e direzione, sulla domanda energetica, in particolare quella soddisfatta dal sistema elettrico. All'aumento di tali voci corrisponde infatti un incremento della domanda elettrica.

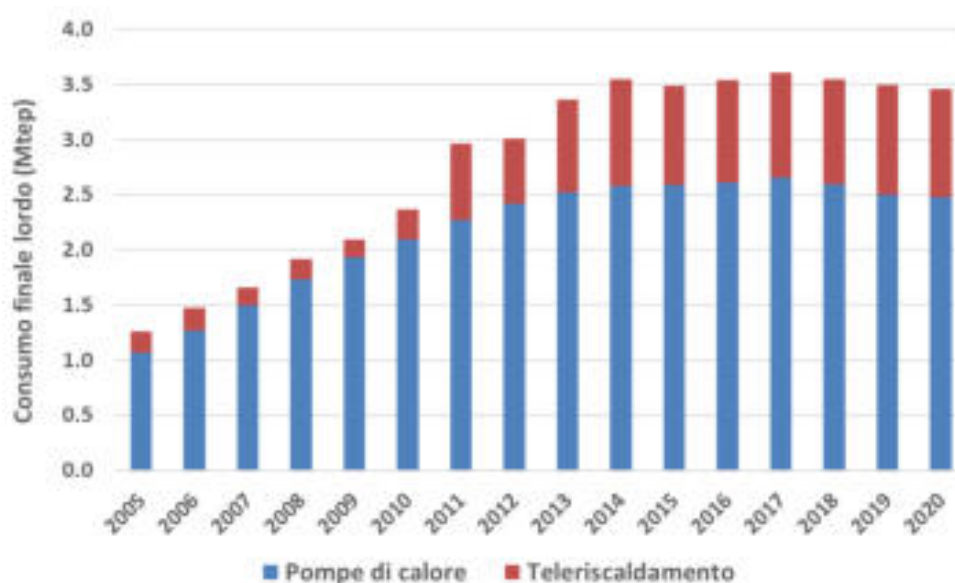


Figura 3-119: Consumi finali lordi di teleriscaldamento e di pompe di calore

I consumi nazionali di energia finale per tutti i settori mostrano il ruolo prevalente e in continua crescita del settore civile (residenziale e servizi), la cui quota passa dal 38% al 46% dal 2005 al 2020. Si sottolinea il ruolo del settore civile, soprattutto residenziale, poiché i relativi consumi sono prevalentemente riconducibili al riscaldamento e al raffrescamento.

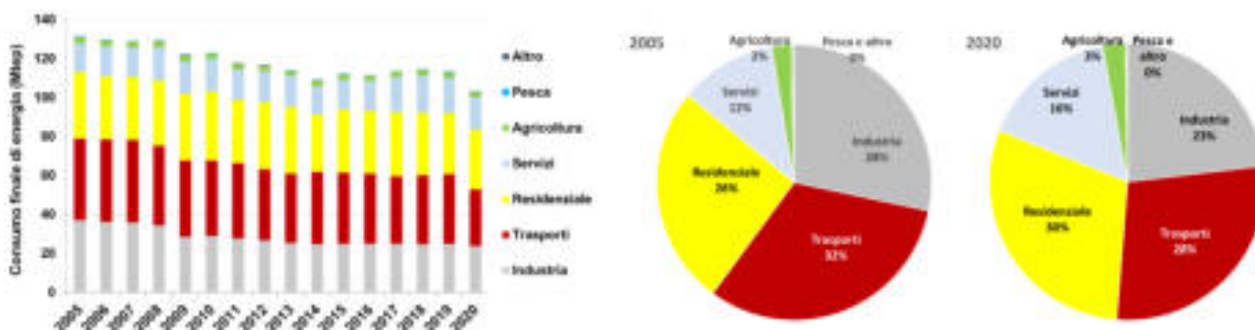


Figura 3-120: Consumi finali di energia per settori

Per il settore residenziale sono disponibili statistiche che mettono in evidenza la rilevanza dei consumi finali destinati al riscaldamento (65% dei consumi totali nel 2020). Il raffrescamento incide in Italia per lo 0,7% dei consumi del settore. Un dato interessante emerge dalla separazione dei vettori energetici: combustibili (fossili e rinnovabili), elettrico, pompe di calore e teleriscaldamento. Il vettore elettrico incide per il 19% dei consumi finali. In merito ai consumi delle pompe di calore la quota è 0.3%, quota che mostra la scarsa diffusione di questo vettore nel settore residenziale sul territorio nazionale rispetto alla media europea (2.5% in EU27). Considerando esclusivamente il vettore elettrico gli utilizzi diversi da illuminazione e apparecchiature elettriche incidono in Italia per il 27%. Anche in merito a questi usi dell'energia elettrica nel residenziale si rileva una notevole distanza dalla media EU27 con il 42%. In merito agli usi elettrici per il raffrescamento degli ambienti la quota nazionale è del 3.6%, più alta di quella europea (1.5%).

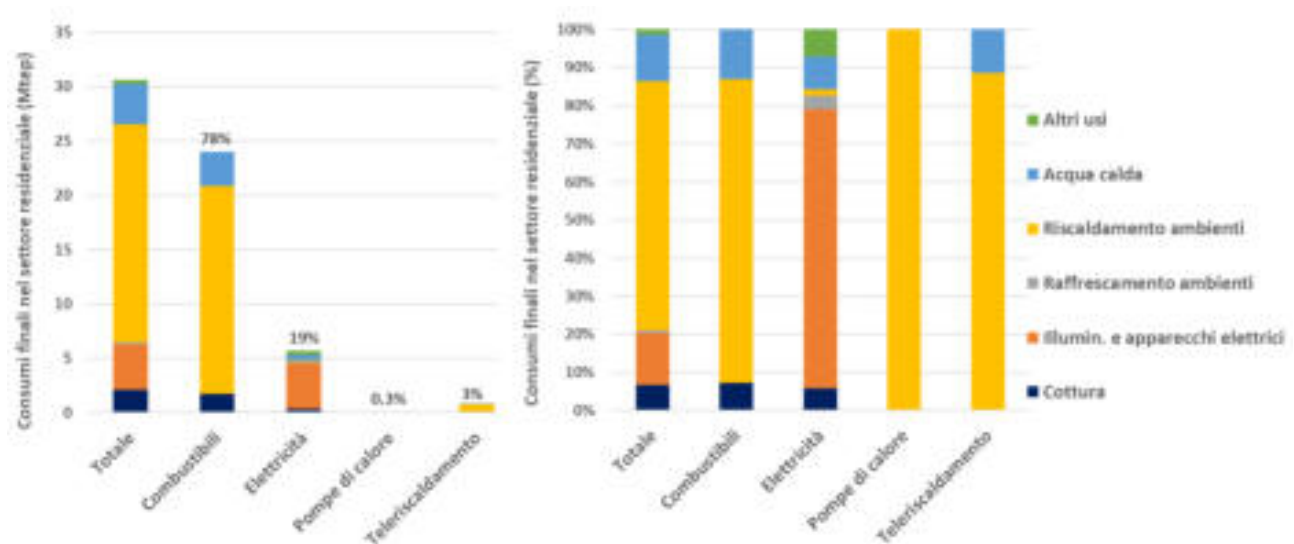


Figura 3-121: Consumi finali nel settore residenziale

Non sono disponibili analoghe statistiche per i servizi ma è ragionevole considerare che il riscaldamento degli ambienti occupi una quota di comparabile rilevanza a quella registrata nel settore residenziale. In merito alle pompe di calore, prevalentemente destinate al riscaldamento, si rileva che la quasi totalità dei consumi di pompe da calore in Italia (96%) sono dovuti ai servizi. Inoltre, nel 2020 la quota di consumi finali nazionali da tale vettore energetico nei servizi rispetto ai consumi finali totali del settore è del 14.4%, tra le più elevate in Europa la cui media è del 4%. D'altro canto, l'elettrificazione dei consumi finali del settore in Italia è inferiore a quella registrata in EU27 (39.1% vs 47.9%), analogamente al teleriscaldamento (1.8% vs 7.1%).

Quanto riportato fornisce un quadro dei consumi energetici dei diversi vettori nel settore civile. Nel residenziale sono disponibili dettagli circa la destinazione per riscaldamento e raffrescamento degli ambienti, mentre nel settore dei servizi mancano statistiche di destinazione d'uso. Alla luce del previsto incremento dell'elettrificazione dei consumi finali e dell'incremento dei consumi elettrici per il raffrescamento è chiara la necessità di implementare indicatori relativi alla destinazione d'uso dei consumi finali nel settore terziario analogamente a quanto disponibile nel residenziale.

I consumi nazionali di energia elettrica su scala annuale sono rappresentati nella seguente figura e ripartiti per settore. Nel 2020 il settore civile ha assorbito il 50% dei consumi nazionali. Si menzionano questi due settori poiché, come precedentemente visto per il residenziale, una quota dei consumi elettrici è destinata al riscaldamento e al raffrescamento, nella misura in cui le pompe di calore richiedono energia elettrica per il loro funzionamento. È tuttavia da sottolineare che anche nei settori dell'industria e dell'agricoltura una quota dei consumi elettrici siano destinati alla domanda di raffrescamento e riscaldamento, non solo per il benessere degli operatori ma anche per le attività produttive (forni elettrici, serre agricole, refrigerazione, ecc.) e che anche i consumi relativi alla refrigerazione sono ragionevolmente previsti in aumento con l'innalzamento della temperatura media. Tuttavia mancano statistiche dettagliate per entrare nel merito degli eventuali impatti sul consumo elettrico delle diverse attività.

È opportuno sottolineare la quota dei consumi del vettore elettrico nei consumi finali dei settori diversi dal civile già considerato per fornire un contesto alla valutazione dell'impatto di possibili blackout elettrici. Di particolare rilievo è il dato dell'industria che nel 2020 registra una quota di consumi elettrici del 42.3%, tra le più elevate in Europa, dopo Malta, Estonia e Lussemburgo. Questo dato mostra che l'industria italiana potrebbe essere particolarmente vulnerabile al rischio di blackout elettrico. I trasporti, sebbene la quota dei

elettrificazione nazionale sia al terzo posto in Europa, dopo Svezia e Austria, mostrano il valore più basso tra i diversi settori (3%). L'elettrificazione dell'agricoltura è del 19.2%, poco sopra la media Europea.

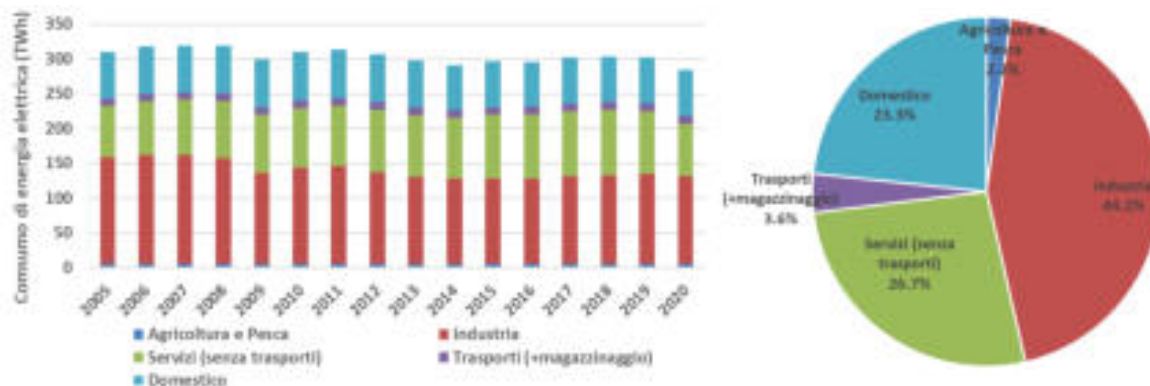


Figura 3-122: Consumi nazionali di energia elettrica

In merito alle perdite di energia elettrica dalla rete nazionale la percentuale di perdite rispetto all'energia richiesta è stata del 5.8% nel 2020 con un andamento decrescente dal 1990, quando era del 6.9%. Le perdite di rete incidono sulla quantità di energia elettrica prodotta e/o importata per soddisfare la domanda elettrica e dal 1990 al 2020 hanno comportato maggiori richieste da 16 a 21 TWh. È evidente che l'incremento delle perdite di rete in seguito all'aumento delle temperature determina la necessità di una non trascurabile produzione/importazione supplementare.

Come già riportato sopra le variazioni di temperatura interannuali determinano direttamente un minor o un maggior utilizzo delle risorse energetiche, in particolare nel settore residenziale dove le modifiche dei consumi sono legate in gran parte alle necessità dei cittadini di raffrescare o riscaldare le proprie abitazioni. Al fine di monitorare questa relazione si può far riferimento all'indicatore "Gradiente del consumo per riscaldamento di gas naturale". L'indicatore stima la relazione tra le variazioni dei gradi giorno di riscaldamento e dei consumi di gas naturale per riscaldamento, vettore principale in questo settore. Essendo l'indicatore strettamente correlato alla stagionalità termica invernale, le oscillazioni annuali e la tendenza sul lungo periodo rendono possibile una buona valutazione della modifica dei consumi energetici in relazione ai cambiamenti climatici.

Il gradiente di consumo stimato sugli ultimi diciannove anni assume un valor medio stagionale a livello nazionale pari a 11,3 Mm³/GG, con un andamento che nel corso dell'inverno mostra il suo massimo nei mesi più freddi raggiungendo i 12,4 Mm³/GG nel mese di gennaio. In aggiunta, l'andamento del gradiente medio mensile annuale mette in evidenza, l'inverno dell'anno 2005, come il più rigido nel periodo di riferimento, con un valore minimo pari a 9,2 Mm³/GG e quello più caldo del 2014, in cui si registra un valore massimo di 13,8 Mm³/GG (Report SNPA 21/2021).

Ai fini della valutazione degli eventuali impatti dovuti all'incremento della domanda elettrica per il raffrescamento appare utile esaminare l'andamento della punta oraria di fabbisogno energetico nei mesi estivi. A tale scopo è stato elaborato un indicatore che fornisce informazioni sulla variazione delle punte orarie di fabbisogno di energia elettrica nel periodo estivo (maggio-settembre) per il raffrescamento rispetto ai picchi di fabbisogno dovuti a tutti gli altri usi. I picchi di richiesta di energia elettrica in questo periodo dell'anno dipendono da vari fattori, tra cui il raffrescamento degli edifici. All'aumento delle temperature corrisponde un incremento dell'utilizzo di impianti di raffrescamento e quindi di domanda elettrica.

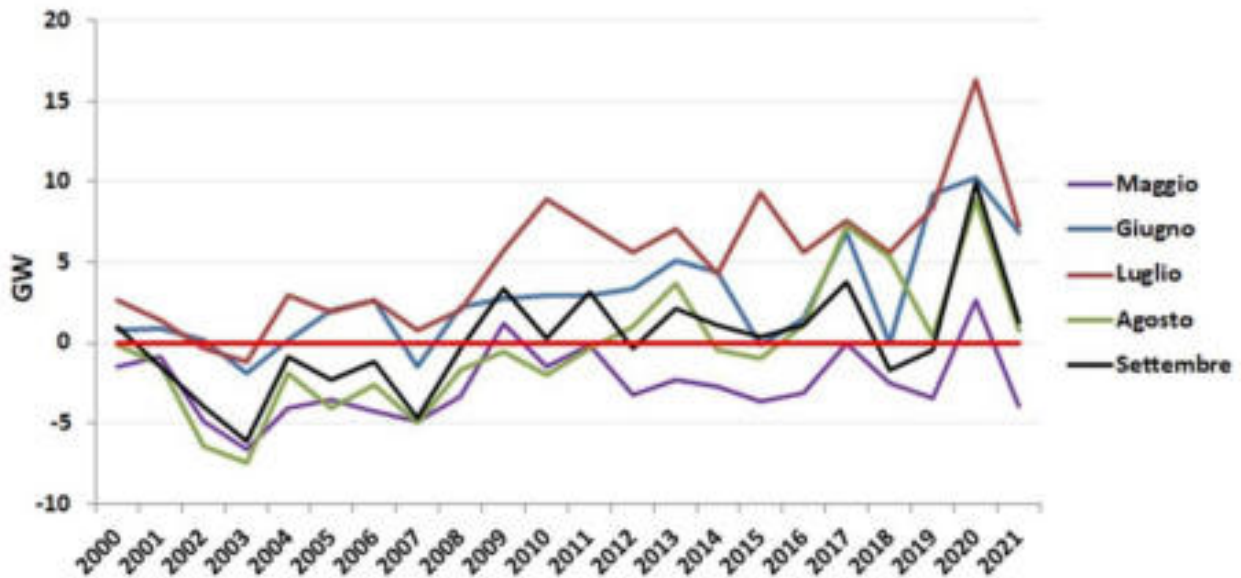


Figura 3-123: Punta oraria di fabbisogno di energia elettrica (FONTE: ISPRA ADA 2021)

Le punte di fabbisogno di energia elettrica nei mesi considerati mostrano un andamento in crescita nei mesi estivi, con tassi differenti per i diversi mesi. In particolare, nel mese di luglio si registra un incremento continuo dei picchi dovuti al raffrescamento. Lo stesso andamento, sebbene più debole, si registra anche nei mesi di giugno e agosto. Nel 2021 si registra per il mese di luglio il picco assoluto del fabbisogno energetico (55 GW) della serie storica considerata.

In merito alla produzione idroelettrica si illustra l’andamento storico della produzione e della relativa potenza installata. 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.

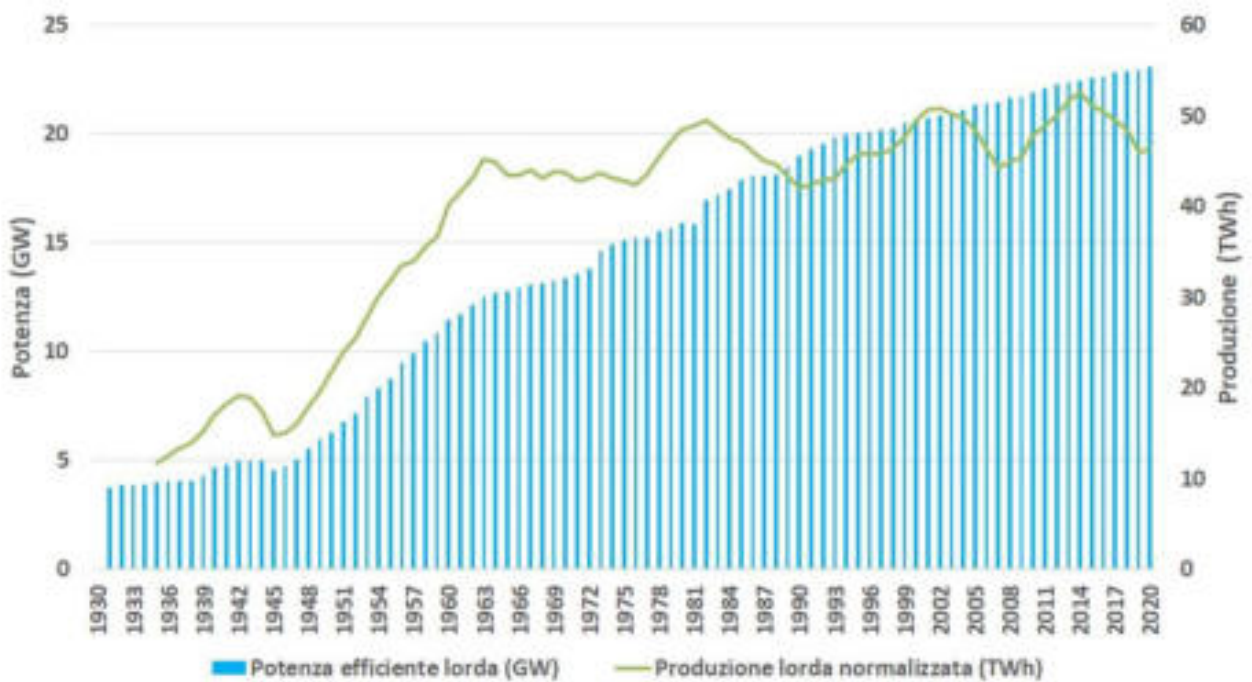


Figura 3-124: l’andamento della produzione idroelettrica e della relativa potenza installata

Nel periodo 1935-1963 la capacità installata presenta un incremento costante e la produzione idroelettrica segue un andamento parallelo. Successivamente si osservano andamenti ciclici intorno a un valore medio della produzione elettrica con un trend in lieve crescita. Dalla Figura 3-124, inoltre, si evince che il rapporto tra la produzione e la potenza installata subisce un'evidente diminuzione, indice della necessità di una maggiore potenza installata per unità di produzione. Negli anni '60 il rapporto medio è stato di circa 3,4 TWh / GW, a fronte di un valore pari a 2,1 negli ultimi cinque anni. Dal 2015 si registra una diminuzione costante della produzione idroelettrica. Il picco di massima produzione è stato registrato nel 2014 con 52,7 TWh, Nel 2020 si registra una produzione lorda pari a 49,5 TWh, con un incremento del 7,8% rispetto all'anno precedente, a fronte di una potenza efficiente lorda installata di 23,1 GW.

Criticità

La maggiore domanda di raffrescamento nel periodo estivo e il conseguente incremento del picco di potenza elettrica necessario a soddisfarla può aumentare il rischio di blackout. Tale rischio deve essere considerato anche alla luce dei consumi elettrici dei vari settori produttivi. In particolare, l'elevata elettrificazione dell'industria rende tale settore particolarmente vulnerabile.

L'aumento dei periodi di siccità determina una criticità direttamente connessa con la disponibilità di acqua. L'utilizzo di questa fondamentale risorsa nei vari settori potrebbe subire impatti che rendono necessaria il contingentamento degli usi. Non c'è settore produttivo o civile che non faccia uso di acqua ed è pertanto necessaria una conoscenza dettagliata delle quantità indirizzate in agricoltura, industria, settore elettrico, settore civile e altri usi.

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 e richiede la conoscenza dei prelievi idrici dalle diverse fonti per le varie destinazioni d'uso. Senza tale conoscenza nessuna azione programmatica può essere intrapresa con la necessaria accuratezza.

La variazione del regime pluviometrico, nonché lo scioglimento dei ghiacciai, è una criticità per la produzione idroelettrica che costituisce una quota rilevante della produzione elettrica da fonti rinnovabili. La caduta della produzione idroelettrica si ripercuote quindi in maniera significativa anche sul raggiungimento degli obiettivi nazionali legati alla produzione elettrica da fonti rinnovabili.

Il previsto aumento delle perdite della rete elettrica in seguito all'aumento delle temperature determina inevitabilmente l'aumento della produzione elettrica necessaria a soddisfare la domanda elettrica.

3.10.2 Agricoltura

Inquadramento e stato

Nel nostro paese il contesto agricolo è caratterizzato da una consolidata diversificazione territoriale, da numerose filiere produttive e una diffusa elevata qualità, aspetti che lo rendono uno dei comparti di rilievo dell'economia nazionale. Le politiche agricole implementate nel corso degli ultimi anni hanno, inoltre, messo in evidenza il ruolo fondamentale che esso svolge per lo sviluppo e la crescita delle aree rurali, per la salvaguardia dell'ambiente e del paesaggio e hanno favorito la crescita di un nuovo modello di agricoltura, che affianca alla funzione primaria la produzione di beni e servizi collaterali, quali la salvaguardia delle risorse naturali e la tutela dell'ambiente (Arzeni, 2021). Se vogliamo quindi quantificare il valore complessivo della produzione agricola italiana, è necessario considerare sia le attività tradizionali delle coltivazioni e degli allevamenti, sia queste attività di supporto e secondarie.

I dati forniti da ISTAT sulla contabilità nazionale relativi al 2019 hanno permesso di ricavare il valore complessivo della produzione agricola, che è stato pari a 57.316 milioni di euro, con un limitato incremento dello 0,1% rispetto al 2018. La situazione generale appare piuttosto stabile, visto l'incremento trascurabile dello 0,1%, dovuto essenzialmente ad una contrazione del settore delle coltivazioni (-0,7%), a cui ha fatto da contraltare un incremento della produzione degli allevamenti (+0,9%) e un ancora più consistente aumento della produzione ascrivibile alle attività di supporto (+2,2%). La maggiore incidenza economica è da associare alle coltivazioni agricole (cereali, ortaggi e fiori, altri seminativi, vite, olivo, altri fruttiferi), che ne rappresentano oltre il 51% del totale (con circa 27.500 milioni di euro). Seguono gli allevamenti (erbivori, granivori, altri allevamenti) con il 28,47%, che continuano ad essere concentrati nelle regioni settentrionali, le attività di supporto con il 12,22% e le attività secondarie realizzate all'esterno del settore agricolo (Figura 3-125, Figura 3-126). Notevoli sono le differenze a livello territoriale, a causa soprattutto degli effetti climatici stagionali sulle coltivazioni agricole, con un incremento nel valore della produzione in alcune regioni come Calabria (+13,7%), Liguria (+6,7%) e Campania (+5%) e un calo evidente in altre aree del paese, come nelle province di Trento e Bolzano (rispettivamente -8,5% e -6,3%) e il Veneto (-3,6%).

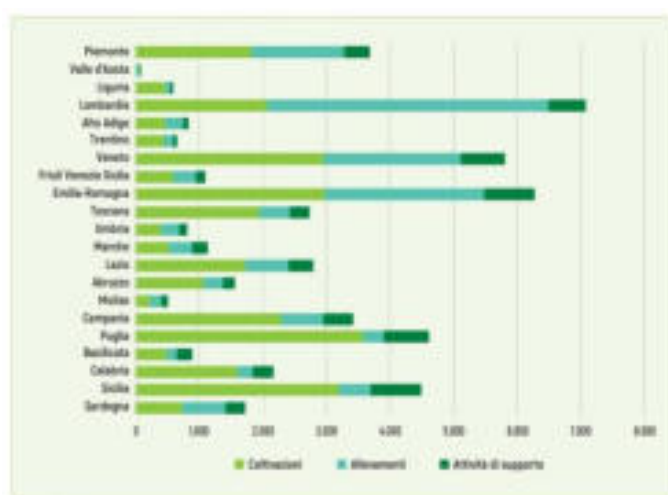


Figura 3-125: Produzione agricola per comparto e territorio nel 2019 (valori in milioni di euro) (fonte: ISTAT, Conti territoriali)

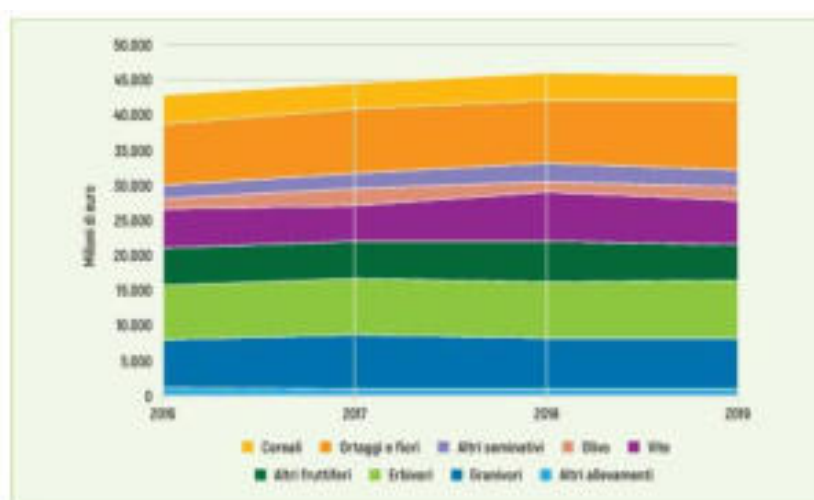


Figura 3-126: Produzione agricola per comparto e anno (fonte: ISTAT, Conti territoriali)

I ricavi totali aziendali sono mediamente pari a 67.116 euro, in modo simile al dato del triennio precedente. Le differenze territoriali sono marcate, con valori più elevati nelle regioni settentrionali a vocazione zootecnica e con maggiori dimensioni economiche: la Lombardia, con oltre 134.000 euro presenta un valore

medio più che doppio rispetto a quello nazionale, seguono Emilia-Romagna, Piemonte e Veneto. Le regioni centrali sono caratterizzate da valori abbastanza in linea con la media nazionale mentre le aree meridionali presentano minore consistenza, soprattutto Calabria (circa 33.000) e Sicilia (38.000), dove sono molto diffuse gli agrumi e l'olivo, caratterizzati da minori risultati economici.

Gli aiuti pubblici rivestono un ruolo decisamente significativo per gli agricoltori, rappresentando mediamente quasi il 36% del reddito netto aziendale; tale percentuale supera il 50% in Calabria, Molise, Marche, Sardegna, Umbria, Valle d'Aosta. Un forte sostegno economico al settore agricolo italiano è fornito dalla Politica Agricola Comune: il sostegno pubblico associato a questa rappresenta il 12,6% del ricavo totale e ha una importanza significativa per la sopravvivenza delle aziende agricole (Figura 3-127). Nel 2019 ne hanno beneficiato il 90% delle aziende rappresentate dalla RICA e costituisce mediamente quasi il 36% del reddito netto aziendale e la sua incidenza supera il 50% in Calabria, Molise, Marche, Sardegna, Umbria e Valle d'Aosta.

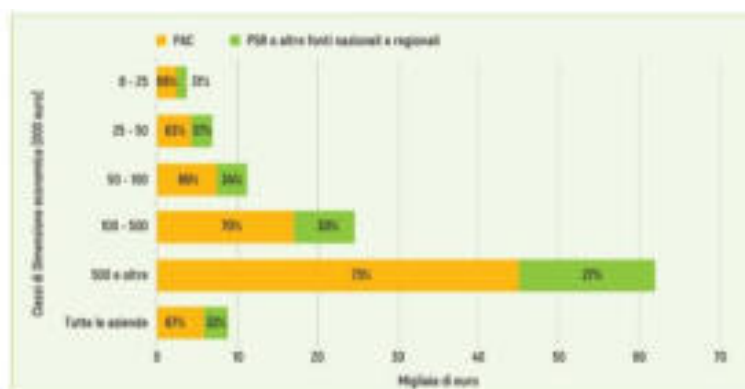


Figura 3-127: Supporto pubblico alle aziende per fonte di finanziamento e classe dimensionale nel 2019 (medie aziendali in migliaia di euro) (fonte: elaborazione CREA-PB su dati RICA Italia)

In ambito europeo, la Strategia tematica per l'uso sostenibile delle risorse naturali ribadisce l'importanza di integrare profili di tutela ambientale nelle politiche legate all'uso delle risorse naturali anche in campo agricolo. Tale Strategia richiede l'elaborazione di indicatori aggregati utili a valutare la capacità delle politiche nazionali di slegare la crescita del PIL (che misura l'attività economica complessiva) da quella della ricchezza e del benessere della società nel contesto europeo. Ciò vale soprattutto per i settori agricolo e della pesca, per i quali l'emanazione delle politiche sono competenza esclusiva della Commissione europea. L'attuazione di questa strategia porterà anche all'erogazione degli incentivi necessari per passare a modalità di produzione e di consumo più sostenibili. In questo contesto particolare rilevanza assume l'indicatore dell'Eco-efficienza in agricoltura recentemente sviluppato da ISPRA. L'indicatore analizza la capacità dell'agricoltura nazionale di stimolare la crescita economica, riducendo al tempo stesso le pressioni e gli impatti sull'ambiente. Scopo dell'indicatore è misurare l'eco-efficienza del settore agricolo, cioè la capacità di disaccoppiare (decoupling) i fattori di crescita economica dall'aumento dei fattori di pressione e di impatto. In generale i dati analizzati da ISPRA evidenziano un buon andamento della eco-efficienza, l'evoluzione delle variabili testimonia, infatti, un miglioramento dell'eco-efficienza dell'agricoltura italiana nel periodo oggetto di analisi (1990-2018). Ciò si evince se si rapporta l'andamento della variabile economica (rappresentata dal valore aggiunto ai prezzi di base), a quello delle pressioni che, a parte l'uso di energia, risultano essere tutte in decrescita. (Figura 3-128)

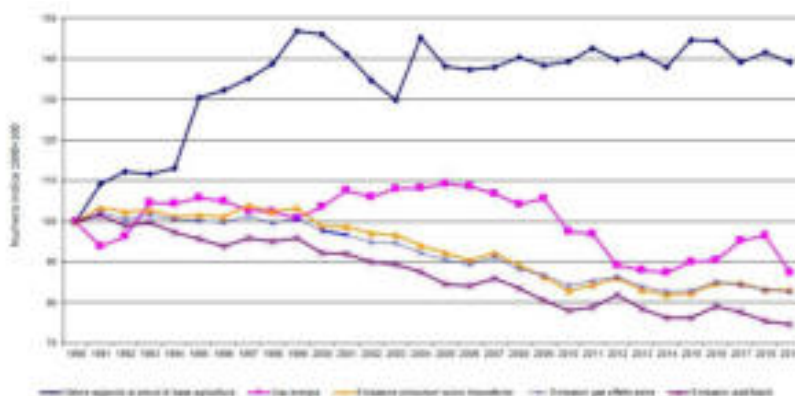


Figura 3-128: Eco-efficienza in agricoltura, espressa come indice integrato di valore aggiunto ai prezzi di base in agricoltura, uso dell'energia ed emissioni di inquinanti (fonte: ISPRA, 2021)

3.10.2.1 Agricoltura biologica

Le pratiche agricole biologiche evidenziano effetti positivi rispetto a quelle convenzionali, non solo in termini di maggiore biodiversità (genetica, di specie e di paesaggio), ma anche di riduzione degli effetti negativi, tra cui l'erosione e la perdita di qualità dei suoli, le emissioni di ammoniaca e di ossido di azoto, il consumo di acqua ed energia. Inoltre, l'agricoltura biologica porta ad un aumento della concentrazione di sostanza organica nel suolo, con incremento della fertilità naturale e del sequestro di carbonio. Il biologico, quindi rappresenta una scelta valida per la mitigazione e per l'adattamento del settore agricolo ai cambiamenti climatici.

Il Rapporto di Sostenibilità Ambientale, pubblicato da ISPRA nel 2020, evidenzia che nel 2017 quasi 2 milioni di suoli biologici in Italia hanno sequestrato tra le 573 e 950 mila tonnellate di carbonio. Espressa come CO₂, questa equivale ad un valore compreso tra 2 e 3,5 milioni di tonnellate, corrispondenti a circa lo 0,6% delle emissioni nazionali totali (428 milioni di tonnellate di anidride carbonica).

Nel 2019 l'agricoltura biologica in Italia ha raggiunto una superficie coltivata di quasi 2 milioni di ettari, coinvolgendo circa 80 mila operatori biologici. Negli ultimi 29 anni l'andamento è stato crescente sia in termini di operatori sia di superficie coltivata, in controtendenza rispetto allo storico declino della superficie agricola utilizzata in Italia. Rispetto al 2018 si registra un incremento sia degli operatori sia della superficie utilizzata di circa il 2% (Figura 3-129). In ambito europeo, secondo l'ultima revisione EUROSTAT, nel 2019, l'Italia si pone al 5° posto nell'Unione Europea (UE) per percentuale di superficie agricola destinata a biologico (con un valore di superficie coltivata a biologico pari a oltre il 15% della SAU). L'agricoltura biologica italiana si concentra prevalentemente in tre regioni del Sud: Sicilia, Puglia e Calabria, nell'ordine, che vanno a rappresentare il 42% della superficie agricola biologica nazionale e il 38% delle aziende. (Figura 3-130) da allevamento.



Figura 3-129: Evoluzione del numero di operatori controllati e di superficie agricola utilizzata con il metodo biologico (1990-2019) (fonte: ISPRA, 2021)

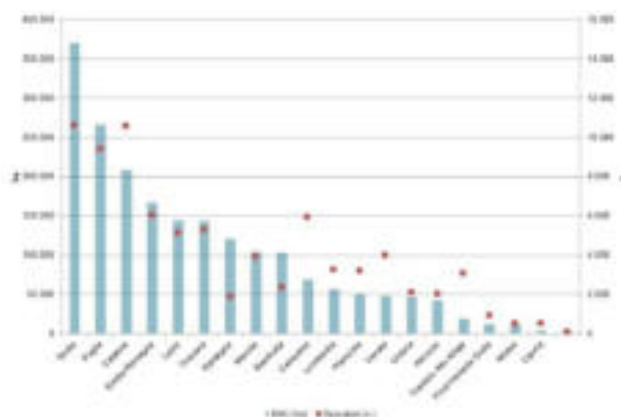


Figura 3-130: Numero di operatori controllati e superficie agricola utilizzata con il metodo biologico nelle regioni italiane (2019) (fonte: ISPRA, 2021)

Relativamente agli animali allevati con il metodo biologico il pollame e gli ovini sono le tipologie zootecniche maggiormente presenti (Figura 3-131)

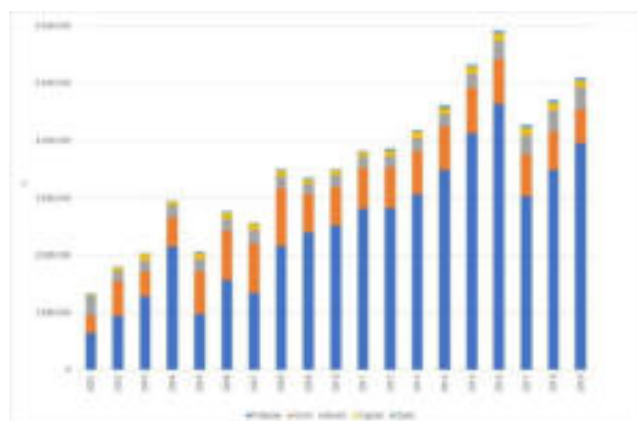


Figura 3-131: Tipologie di capi allevati con metodo biologico in Italia (fonte: ISPRA, 2021)

3.10.2.2 Interrelazioni fattori climatici e agricoltura

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.

Le variazioni climatiche attese per le prossime decadi influenzeranno fortemente lo sviluppo del settore agricolo e le sue dinamiche produttive, soprattutto in aree altamente vulnerabili come quelle mediterranee (Bindi e Olesen, 2010). La produttività dei sistemi agricoli è fortemente influenzata dalla sensibilità alle condizioni ambientali dei processi biofisici e biochimici che li regolano (Ammassari et al., 2011). In particolare, l'aumento di concentrazione atmosferica di anidride carbonica (CO₂) può agire sia direttamente sulle produzioni (ad esempio come effetto "fertilizzante" della CO₂) sia indirettamente, tramite il suo ruolo di gas ad effetto serra. Tuttavia, tali effetti diretti della CO₂ sulle colture sono ancora controversi data la complessità dei fenomeni che regolano questi meccanismi. Gli effetti indiretti dell'incremento di concentrazione di CO₂ riguardano invece l'alterazione delle variabili climatiche. Tra questi, quelli che maggiormente influenzano la produttività dei sistemi agricoli sono l'incremento di temperatura, la variazione del regime delle precipitazioni e l'intensità e la frequenza del verificarsi di eventi meteorologici estremi (ondate di calore, periodi siccitosi prolungati e intensi, alluvioni, etc.). Nello specifico, le colture saranno soggette a variazioni in termini di durata del ciclo fenologico, produttività e potenziale spostamento degli areali di coltivazione tipici (verso nord e quote più elevate), con risposte differenti in intensità e segnale a seconda della specie e delle aree geografiche di riferimento (Moriondo et al., 2013a e 2013b). In generale, le colture risentiranno dell'incremento di temperatura riducendo la lunghezza del ciclo di crescita con conseguente minore accumulo di biomassa e quindi riduzione della resa (Lobell e Field, 2007) (Lobell et al., 2011). Le maggiori riduzioni di resa sono previste per le colture a ciclo primaverile-estivo (mais, girasole, soia). 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.

Tutti questi fenomeni, oltre a causare variazioni alla produttività degli agrosistemi, possono portare anche a aumenti delle emissioni di gas serra e modifiche nella diffusione e azione della maggior parte delle fitopatie (es. funghi, batteri, virus, insetti), con effetti non solo sulle produzioni vegetali ma anche su quelle animali.

Il benessere animale e la produttività delle attività zootecniche, infatti sono fortemente compromessi dagli effetti dei cambiamenti climatici sia nei sistemi di tipo intensivo che in quelli di tipo estensivo. Le variabili climatiche che maggiormente incideranno sugli animali da reddito sono la temperatura, l'umidità relativa, la radiazione solare e la ventosità, mentre la piovosità avrà un ruolo importante nella disponibilità delle risorse foraggere soprattutto per i sistemi estensivi. Le temperature elevate, che già caratterizzano le estati italiane e che gli scenari climatici futuri che si prevedono in aumento, hanno un impatto negativo diretto sui processi fisiologici e comportamentali dell'animale come la termoregolazione, l'ingestione di alimenti e la risposta immunitaria. A questi effetti diretti si aggiungono inoltre gli effetti indiretti che i cambiamenti climatici possono avere ad esempio sugli alimenti (contaminazione da micotossine, qualità e disponibilità alimenti) e sulle dinamiche ecologiche e biologiche dei patogeni e dei loro vettori (Kipling et al., 2016). Ulteriori impatti indiretti possono distinguersi tra impatti su allevamenti estensivi o intensivi. Per quanto riguarda i primi, gli impatti principali sono prevalentemente associati alla disponibilità foraggera e alla qualità degli alimenti a causa di probabili riduzione e modifiche delle specie presenti sulle superfici destinabili a pascolamento a seguito di fenomeni di desertificazione, salinizzazione delle falde o di avanzamento della macchia foresta nelle aree prative e pascolive. Per quanto riguarda gli allevamenti intensivi in stalla, questi sono meno dipendenti dalle condizioni climatiche avverse (ad es. siccità) per la produzione dei foraggi rispetto ai sistemi

estensivi. Anche l'elevato utilizzo della tecnologia e la maggiore capacità di attrarre investimenti, insieme alla possibilità di condizionare il microclima della stalla, permettono ai sistemi intensivi di avere un maggior grado di resilienza nei confronti dei fenomeni climatici estremi (es. ondate di calore) rispetto a quelli estensivi. Per contro, la ridotta biodiversità dei sistemi intensivi con la prevalenza di razze ad alta produttività e con scarsa resistenza alle malattie rende questi sistemi più vulnerabili ai cambiamenti climatici rispetto ai sistemi estensivi che sono caratterizzati da una grande biodiversità e da razze locali più rustiche. Altre problematiche dei sistemi intensivi sono associate a fattori che possono mettere a rischio attività imprenditoriali di alto valore aggiunto su cui le imprese agricole sono particolarmente esposte dal punto di vista finanziario (ad esempio impatti di eventi come alluvioni su fabbricati e attrezzature).

Nonostante in alcune aree e per alcune colture si possano avere anche ripercussioni potenzialmente positive, il settore agricolo e, conseguentemente, quello agro-alimentare saranno soggetti ad un generale calo delle capacità produttive, accompagnato da una probabile diminuzione delle caratteristiche qualitative dei prodotti. Sia per le produzioni vegetali sia per quelle animali sono attualmente disponibili diverse soluzioni che possono aumentare il grado di adattamento ai cambiamenti climatici. Tali soluzioni comprendono ad esempio la realizzazione di interventi strutturali, l'implementazione di adeguate pratiche di gestione colturale e aziendale, la selezione genetica e l'adozione di atteggiamenti proattivi. I programmi di sviluppo rurale, implementati su scala nazionale e regionale, hanno tra i loro obiettivi l'adattamento ai cambiamenti climatici e diverse misure sono state programmate in questo senso. Tra le azioni di adattamento preferenziali ci sono quelle che includono anche obiettivi di mitigazione e quindi tutte le misure che seguono i principi della Climate Smart Agriculture (FAO, 2013) che unisce gli obiettivi della sostenibilità delle produzioni alle necessità di adattamento ai cambiamenti climatici e di mantenimento dei livelli di reddito. Un aumento della resilienza dei sistemi produttivi potrebbe allo stesso tempo concorrere all'aumento del sequestro del carbonio nei suoli e quindi alla riduzione delle emissioni derivanti dal comparto agricolo.

Indicatori

L'indicatore di stato più rappresentativo dell'agricoltura, a cui è già stato riferimento in precedenza, è quello relativo alle aziende e Superficie Agricola Utilizzata (SAU), basato su dati provenienti dall'ISTAT. I dati provenienti dal 7° censimento generale dell'agricoltura 2021 riferiti all'annata agraria 2019-2020 (https://www.istat.it/it/files//2022/06/REPORT-CENSIAGRI_2021-def.pdf), evidenziano che nel 2020 risultano attive in Italia 1.133.023 aziende agricole (Figura 3-132). Nell'arco dei 38 anni intercorsi dal 1982 – anno di riferimento del 3° Censimento dell'agricoltura, i cui dati sono comparabili con quelli del 2020 – sono scomparse quasi due aziende agricole su tre. Nel dettaglio, il numero indice del numero di aziende agricole (con base 1982=100), pari a 36,2, indica una flessione del 63,8%. La riduzione è stata più accentuata negli ultimi vent'anni: il numero di aziende agricole si è infatti più che dimezzato rispetto al 2000, quando era pari a quasi 2,4 milioni. È importante notare come, nel confronto con il 1982, le flessioni della Superficie Agricola Utilizzata (SAU) e della Superficie Agricola Totale (SAT) siano state molto più contenute rispetto al numero di aziende (rispettivamente -20,8% e -26,4%). In 38 anni, come conseguenza della diminuzione più veloce del numero di aziende agricole rispetto alle superfici, la dimensione media delle aziende agricole è più che raddoppiata sia in termini di SAU (passata da 5,1 a 11,1 ettari medi per azienda) che di SAT (da 7,1 a 14,5 ettari medi per azienda).

ANNO	Dati assoluti (migliaia di ettari)			Indici a base 1982=100			Medie per azienda (ettari)	
	Numero di aziende	SAU	SAT	Numero di aziende	SAU	SAT	SAU	SAT
2020	1.133.023	12.635	16.474	36,2	79,2	73,6	11,1	14,5
2010	1.620.884	12.856	17.081	51,7	81,2	76,3	7,9	10,5
2000	2.396.274	13.182	18.767	76,5	83,3	83,8	5,5	7,8
1990	2.848.136	15.026	21.628	90,9	94,9	96,6	5,3	7,6
1982	3.133.118	15.833	22.398	100,0	100,0	100,0	5,1	7,1

Figura 3-132: Aziende agricole, superfici agricole utilizzate (SAU) e superfici agricole totali (SAT), dal 1982 al 2020 (valori assoluti, indici a base 1982=100, dimensioni medie) (fonte: ISTAT).

Per effetto di tali dinamiche, nel 2020 solo poco più di 2 aziende agricole su 10 hanno meno di un ettaro di SAU contro circa 3 su 10 del 2010 e più di 4 su 10 nel 2000. Al contempo, l'incidenza del numero di aziende agricole con almeno 10 ettari di SAU e meno di 100 è più che raddoppiata tra il 2000 e il 2020 (da 8,9% a 20,2%), mentre quella delle aziende agricole con almeno 100 ettari è rimasta sostanzialmente invariata (da 1,5% a 1,6%) (Figura 3-133).

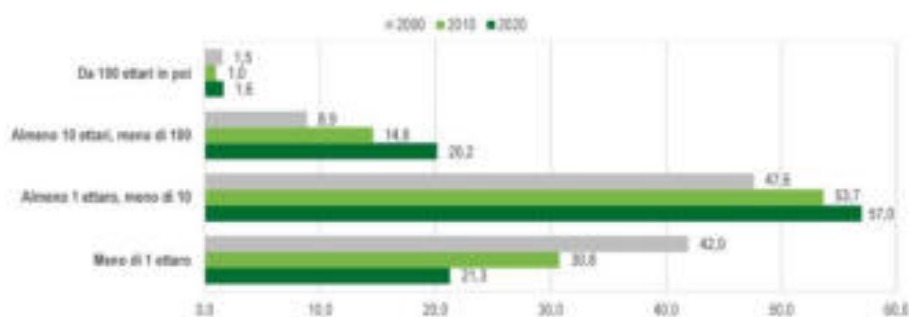


Figura 3-133: Aziende agricole per classi di superficie (SAU), ai censimenti 2020, 2010 e 2000 (composizioni percentuali su un totale aziende agricole = 100) (fonte: ISTAT)

I dati del censimento ISTAT vengono utilizzati anche dall'ISPRA per l'indicatore aziende e Superficie Agricola Utilizzata (SAU), pubblicato sull'Annuario dei Dati Ambientali.

Attualmente per quanto riguarda il settore agricolo non sono stati individuati, a scala nazionale, indicatori utili a valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura. Tuttavia, la regione Emilia Romagna ha sviluppato, a scala regionale, un indicatore utile a quantificare l'impatto dei cambiamenti climatici relativi all'aumento della siccità sui sistemi agricoli: l'indicatore di deficit traspirativo (<http://climadat.isprambiente.it/>), calcolato come differenza tra traspirazione massima e traspirazione effettiva. Tale indicatore è stato applicato per alcune colture agricole rappresentative dell'Emilia-Romagna (erba medica, mais, vite). In figura 10 è riportato l'andamento del deficit calcolato per la Regione Emilia Romagna 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) (fig. 10), e per i 90 giorni un trend di 20 mm/decennio, rispetto ai 18 mm/decennio per l'erba medica e la vite (Figura 3-134).

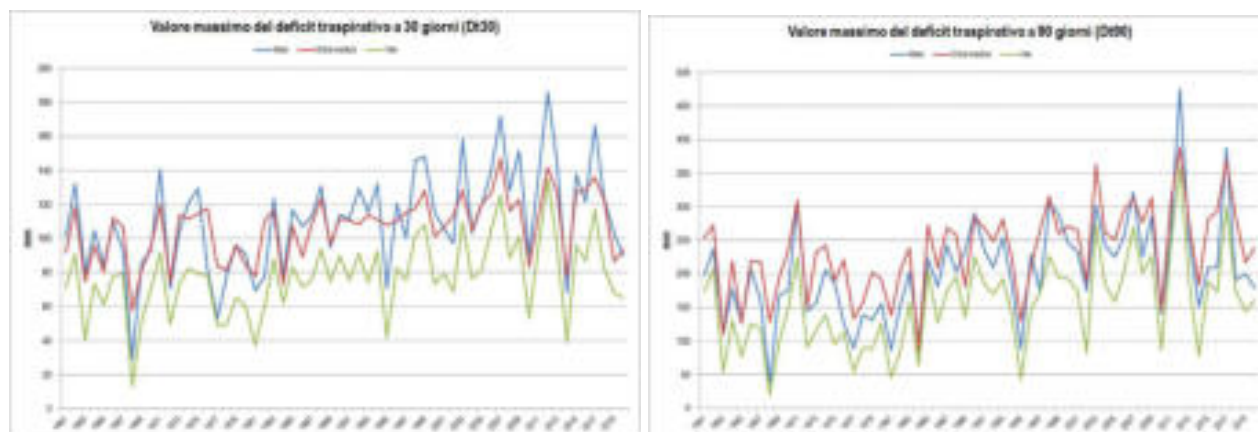


Figura 3-134: Indicatore di impatto dei cambiamenti climatici deficit traspirativo, utilizzato dalla Regione Emilia Romagna (fonte: <http://climadat.isprambiente.it/>)

3.10.3 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 socio-economica, 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, 2021a), con un tasso medio di prelievo superiore al doppio del massimo rendimento sostenibile (ISPRA, 2021b). 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. Attualmente, come anticipato, non sono rilevabili ancora effetti sostanziali e la maggior parte degli stock ittici presenta tuttora valori ridotti di biomassa, con forte incidenza di individui giovani e/o immaturi (FAO, 2022). I cambiamenti climatici hanno effetti sulla composizione delle comunità, perché specie termofile e specie non indigene, in particolare di origine subtropicale, tendono a stabilirsi nei mari italiani entrando in competizione con alcune specie autoctone che necessitano di temperature dell'acqua inferiori e divengono, quindi, sempre meno abbondanti. Essendo però relativamente poche le specie apprezzate dal mercato, queste variazioni tendono ad avere effetti per lo più negativi per la pesca.

Oltre che sugli stock ittici, i cambiamenti climatici avranno impatti locali, anche assai diversificati, con effetti sia sulla produttività delle risorse che sulle operazioni di pesca. A ciò si aggiunge il fatto che i pescatori dovranno più frequentemente adattare le tattiche di pesca, che dovranno necessariamente differire, almeno in parte, da quelle del passato e, quindi, le conoscenze tramandate o apprese per esperienza diverranno meno utili.

Infine, è da considerare l'esiguità delle risorse economiche dedicate agli interventi mitigativi degli impatti dei cambiamenti climatici o di adattamento ad essi, dovuta anche all'ormai cronica scarsa redditività della pesca marittima nazionale, collegata alla concorrenza dei prodotti dell'acquacoltura o provenienti dalla pesca in aree extra mediterranee (nonché, in modesta misura, da aree extra-nazionali nell'ambito del Mediterraneo).

Effetti dei cambiamenti climatici sulle comunità ittiche sfruttate dalla pesca

Il riscaldamento degli oceani è attualmente considerato una delle principali forzanti che causano cambiamenti nella struttura delle comunità marine (Portner e Peck 2010). 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., 2014). Pertanto, tali cambiamenti influenzano i servizi ecosistemici forniti dal mare, come la pesca (Gamito et al., 2015).

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., 2022). 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., 2014). 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., 2022). 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., 2014), con possibili effetti a cascata sulla rete trofica (Garzke et al., 2014). Nelle zone costiere prossime alle foci di grandi fiumi, le quali, in ambito mediterraneo, sono le più idonee alla pesca per effetto degli apporti in termini di nutrienti e di sostanza organica in sospensione (e.g., Darnaude et al., 2004), si registra una contrazione della produttività primaria a causa del calo delle precipitazioni e quindi della portata dei fiumi (Gualdi et al., 2009). 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).

Il pluriennale calo del pescato e le frequenti morie di vongola comune (*Chamelea gallina*) in Adriatico, ad esempio, sono state attribuite allo stress fisiologico indotto da elevate temperature dell'acqua, associate a scarsa presenza di plancton (Romanelli e Giovanardi, 2012). Inoltre, l'acidificazione delle acque marine (legata alla maggiore concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, e alla sua successiva dissoluzione in mare; Cossarini et al., 2015) potrebbe diventare un elemento critico per la deposizione del carbonato di calcio della conchiglia, in particolare negli stadi larvali, determinando ulteriore stress, sia a livello individuale che di popolazione, per i molluschi in generale.

Un'altra specie di grande interesse commerciale, il nasello (*Merluccius merluccius*), sembra risentire negativamente del riscaldamento delle acque. Vi sono indicazioni circa il negativo andamento del reclutamento in anni con inverni o estati più calde della norma (Abella et al., 2008; Bartolino et al., 2008). Si può quindi ipotizzare che i cambiamenti climatici abbiano già effetti sulla consistenza delle popolazioni di questa specie, aggiungendosi all'impatto legato al sovrasfruttamento.

La temperatura del mare è importante anche per spiegare le fluttuazioni di acciughe (*Engraulis encrasicolus*) e sardine (*Sardina pilchardus*) e, più in generale, delle piccole specie pelagiche (Checkley et al., 2017). L'aumento della temperatura può favorire le specie che preferiscono acque più calde per la deposizione delle

uova (come l'alaccia *Sardinella aurita* e il lanzardo *Scomber colias*) rispetto a quelle che preferiscono acque più fredde (come la sardina e lo spratto *Sprattus sprattus*).

Va infine rimarcato come lo stato di sovrasfruttamento delle risorse riduce la capacità di discriminare gli effetti della sovrappesca da quelli dei cambiamenti climatici, e probabilmente amplifica la vulnerabilità complessiva del settore.

Poiché numerosi lavori scientifici hanno dimostrato che i cambiamenti climatici tendono ad influenzare molteplici processi ecologici tra cui anche la produttività degli stock, appare di fondamentale importanza ridurre il tasso di sfruttamento delle stesse popolazioni, così da renderle più resilienti rispetto ad oscillazioni, anche non trascurabili, dei parametri chimico-fisici e di produzione primaria delle acque marine o costiere ove essi vivono o nelle relazioni intercorrenti con altre specie biologiche presenti negli stessi ambienti.

Vulnerabilità della pesca ai cambiamenti climatici

La vulnerabilità di un'attività di pesca ai cambiamenti climatici dipende dai cambiamenti indotti negli stock ittici che influenzano la composizione delle specie e quindi l'abbondanza delle catture commerciali. Stock sovrasfruttati sono più vulnerabili ai cambiamenti climatici e pertanto una buona gestione della pesca e degli ecosistemi marini svolgerà un ruolo essenziale nell'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici (Sumaila et al., 2011). La pesca può infatti erodere la struttura per età e dimensione e la distribuzione spaziale degli stock, rendendo le popolazioni più suscettibili alle fluttuazioni ambientali (Ciannelli et al., 2013). La sinergia tra il riscaldamento degli oceani e la pressione di pesca può avere un elevato impatto sulle specie ittiche sensibili al riscaldamento del mare e ad alto valore commerciale, come ad esempio la sardina (Ramírez et al., 2018).

Un recente studio (Blasiak et al., 2017) ha valutato la vulnerabilità agli impatti dei cambiamenti climatici sulla pesca marittima in 147 paesi. La vulnerabilità al cambiamento climatico è stata definita come il prodotto di tre variabili: (1) esposizione agli impatti del cambiamento climatico; (2) sensibilità di un'economia/comunità/paese ai cambiamenti della capacità produttiva associati agli impatti dei cambiamenti climatici; e (3) capacità di adattamento, ovvero la capacità di modificare o adeguare la pesca per far fronte agli impatti negativi del cambiamento climatico e perseguire eventuali opportunità emergenti. Sono stati utilizzati tre diversi scenari (Representative Concentration Pathways - RCP) per fornire informazioni sui livelli di esposizione in caso di riduzione delle emissioni di gas serra di grande successo (RCP2.6 – molto ottimista), riduzioni delle emissioni più modeste (RCP4.5 – ottimista) e un continuo aumento delle emissioni di carbonio (RCP8.5 – più vicino al *business as usual*, un po' pessimista). Nello scenario di emissione RCP8.5 e per le proiezioni a breve termine (2016-2050), per l'Italia è stato calcolato un indice di vulnerabilità (V) pari a 0,25 (la vulnerabilità variava da 0,99 per Kiribati a 0,10 per l'Irlanda), risultando tra i paesi meno vulnerabili (al 124° posto, ovvero nel quarto quartile). Gli indicatori globali di vulnerabilità di solito collocano i paesi europei tra i meno a rischio rispetto ad altre nazioni (Blanchet et al., 2019). Ciò è dovuto principalmente ai buoni indicatori socioeconomici e ai minori tassi di dipendenza dalla pesca tra le economie europee.

La capacità dei pescatori e delle imprese di pesca di adattarsi ai cambiamenti climatici dipende da molti fattori, tra cui la mobilità della flotta peschereccia. Le flotte tecnologicamente più avanzate hanno maggiori probabilità di essere meglio preparate ad adattarsi ai cambiamenti climatici spostandosi verso altre zone di pesca e cambiando attrezzo (Sumaila et al., 2011). I progressi tecnologici emergenti migliorano l'efficienza delle attività di pesca, diminuendo i tempi di ricerca a causa dei cambiamenti stagionali o interannuali della distribuzione e contribuendo alla sicurezza delle operazioni di pesca. Secondo Gamito et al. (2016), i pescherecci a strascico hanno una maggiore capacità di adattamento e sono meno vulnerabili ai cambiamenti climatici rispetto ai pescherecci con reti a circuizione, data l'elevata mobilità della loro flotta, mentre le attività di pesca multi-attrezzo possono essere più flessibili nel cambiare le specie bersaglio, risultando meno

vulnerabili al cambiamento climatico. L'elevata età delle flotte italiane (media di 37 anni; FAO, 2022) può essere però motivo di preoccupazione per la sicurezza e può compromettere la capacità di adattarsi ai cambiamenti della distribuzione e composizione del pescato. Inoltre, la forte dipendenza della pesca dai combustibili fossili richiederebbe che anche questo settore riduca la sua impronta di carbonio - un cambiamento che sarebbe vantaggioso per la società in generale ma costoso per le imprese di pesca nel breve termine (Sumaila et al., 2011).

Impatti dei cambiamenti climatici sulla composizione del pescato delle flotte italiane

Il riscaldamento degli oceani sta determinando uno spostamento geografico delle specie marine più sensibili alla temperatura (Cheung et al., 2010). 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., 2011) 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 della pesca (Tsikliras et al., 2014), e questo può portare a cambiamenti nell'intensità e nella distribuzione spaziale dello sforzo di pesca (Haynie e Pfeiffer, 2012).

Questo fenomeno è descritto da un indicatore noto nella letteratura scientifica come "Mean Temperature of the Catch (MTC)" (Cheung et al., 2013), 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., 2015).

Nel 2021, l'indicatore MTC è stato incluso nell'Annuario dei Dati Ambientali (ISPRA, ADA 2022), e presenta un trend significativamente positivo 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 (Figura 3-135).

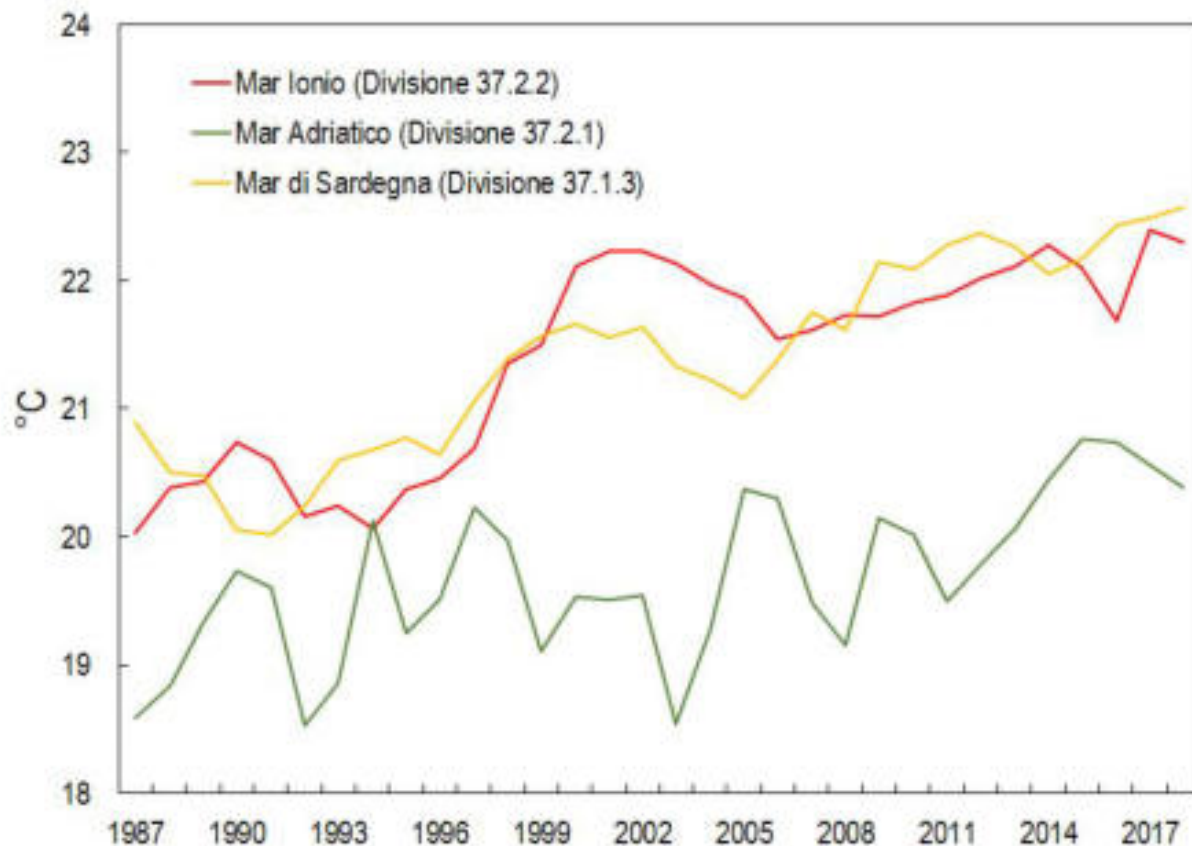


Figura 3-135: Andamento annuale dell'indicatore noto in letteratura come Mean Temperature of the Catch (MTC) che rappresenta l'affinità termica media delle catture della pesca commerciale delle flotte italiane nelle tre divisioni FAO in cui sono suddivisi i mari italiani. (Fonte: FAO-GFCM. 2021. Fishery and Aquaculture Statistics. GFCM capture production 1970-2018 (FishStatJ). In: 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., 2010). 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.

Impatti legati alle specie aliene

I cambiamenti climatici hanno sicuramente favorito, nel corso dell'ultimo decennio, la diffusione nelle acque del Mediterraneo settentrionale di numerose specie sia animali che vegetali, inclusi patogeni (Lejeune et al., 2010), prima presenti solo sul versante meridionale del bacino, o provenienti da aree subtropicali (Lasram and Mouillot, 2008; Zenetos et al., 2012).

Recentemente uno studio condotto a livello Mediterraneo considerando un dataset di 4015 osservazioni estratte da letteratura scientifica ha permesso di ricostruire la dinamica delle invasioni e introduzioni/post introduzioni di 188 specie esotiche ittiche, analizzando il loro tasso di espansione e correlandolo ai cambiamenti climatici (Azzurro et al., 2022). L'analisi, che considera corridoi di invasione quali il Canale di Suez e lo stretto di Gibilterra e i principali vettori antropici di diffusione (e.g., trasporto marittimo,

acquacoltura) dimostra una crescita dei tassi di arrivo dopo il 1990. Tale fenomeno appare essere associato al progressivo indebolimento delle barriere biogeografiche del canale di Sicilia e del nord Egeo, causato dai cambiamenti climatici, come dimostrato dalla accresciuta velocità di espansione degli ultimi arrivi; questo processo, considerando le attuali proiezioni di temperatura in funzione degli attuali scenari climatici, potrebbe facilitare lo scambio della fauna ittica tra oceani ora separati (Indo-pacifico e Atlantico) attraverso il Mediterraneo (Azzurro e D'Amen, 2022).

È in questo contesto di espansione e diffusione di specie non indigene, favorito dai cambiamenti climatici e dallo stato di degrado/alterazione degli ecosistemi a causa delle pressioni antropiche, che va rilevato come la diffusione geografica di alcune specie possa andare a determinare severi effetti negativi sia sulle risorse ittiche che sulle attività di prelievo alieutico.

Sono sempre maggiori, infatti, le evidenze di cambiamento nella composizione delle catture, in particolare nel mediterraneo meridionale, dove la diffusione di specie lessepsiane e specie invasive di altra origine ha modificato in modo radicale le attività di pesca. È il caso, ad esempio, del granchio blu (*Portunus segnis*), originario del Mar Rosso, che ha soppiantato diverse specie locali in Tunisia e recentemente è diventato una delle principali risorse ittiche commerciali di tale paese. Questa specie ha per ora raggiunto solo l'estremità meridionale dell'Italia, e la sua diffusione potrebbe però espandersi con i previsti incrementi della temperatura. Ciò ne permetterebbe una possibile diffusione, andando a competere con un'altra specie aliena di granchio blu, ovvero *Callinectes sapidus* (in questo caso di origine atlantica), che sta già alterando in modo significativo gli ecosistemi delle acque di transizione e costiere, danneggiando in modo significativo sia le attività di pesca artigianale che alcune attività di molluschicoltura, come recentemente avvenuto in Veneto (Sacca di Scardovari, comm. pers. Raicevich) e alla stregua di simili fenomeni osservati in altri estuari, come ad es. la foce dell'Ebro (Clavero et al., 2022).

"Negli ultimi anni è in aumento anche il fenomeno della meridionalizzazione (ampliamento della distribuzione di specie presenti nelle zone più a sud del mediterraneo) che interessa pure specie di interesse commerciale. In futuro, quindi, potrebbe aumentare l'abbondanza di barracuda (*Sphyraena* spp.), di alcuni Carangidi e di lampuga (*Coryphaena* spp.), offrendo nuove possibilità ai pescatori (Azzurro et al., 2011). In ogni caso, stime complessive sembrano indicare che questi contributi non saranno sufficienti, nel complesso, a bilanciare le diminuzioni o sparizioni di specie, per cui è attesa una generale riduzione delle risorse pescabili da parte della pesca (Cheung et al., 2009, 2012; Libralato et al., 2015), anche per il potenziale effetto negativo di nuovi patogeni (Lejeusne et al., 2010).

Un importante impatto sulle reti trofiche marine determinato nel Mediterraneo dai cambiamenti climatici degli ultimi decenni è il netto aumento della frequenza di eventi di esplosione demografica di scifomeduse (in particolare *Pelagia noctiluca*) e, più di recente, dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* in Adriatico o di altre forme di macrozooplancton "gelatinoso" (altre specie di meduse, ctenofori e taliacei), sia con riferimento a specie indigene che esotiche (Boero et al., 2008, 2009). Una delle principali cause è stata individuata nell'instaurarsi di condizioni ecologiche (aumentata stratificazione delle acque, irregolare afflusso di nutrienti veicolati dai corsi d'acqua dolce) che hanno determinato flussi trofici sensibilmente più intermittenti. Questo favorirebbe *bloom* ("fioriture") occasionali di queste specie, in quanto trattasi di organismi opportunisti, dotati di elevata capacità moltiplicativa (Boero et al., 2008, 2013). Dato che queste forme di macrozooplancton tendono a competere sia con altro zooplancton fitofago, sia con i pesci zooplanctofagi e spesso sono anche efficaci predatori degli stadi larvali di pesci, una loro eccessiva proliferazione può avere notevoli effetti negativi sulle risorse biologiche sfruttate dalla pesca. Tutto ciò è ben esemplificato dall'invasione dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* in Mar Nero, con conseguente collasso e poi parziale ripresa degli stock ittici (Daskalov, 2002; GFCM Secretariat, 2012). La probabilità del verificarsi di questo tipo di scenario, che interesserebbe un po' tutti i mari italiani, appare di media entità o, comunque, non trascurabile.

Sebbene non siano ad oggi confermati nei nostri bacini casi di collasso di stock a causa di tale ctenoforo, sono invece evidenti danni economici alle attività di pesca cagionati dai bloom di plancton gelatinoso. Ad es. i pescatori dell'alto Adriatico hanno lamentato a più riprese la perdita di giornate di pesca e il danneggiamento di attrezzi a causa del blocco meccanico esercitato sulle reti trainate dalla cattura di tali specie.

3.10.4 Acquacoltura

L'acquacoltura italiana

L'acquacoltura costituisce un importante settore del comparto agroalimentare italiano, comprende l'allevamento di oltre 20 specie di pesci, molluschi, crostacei in sistemi diversificati per ambienti e tecnologie di produzione. Le attività d'allevamento sono spesso molto radicate nei territori e nella tradizione e in alcune regioni, e rappresentano un'importante fonte di occupazione e di reddito per le comunità costiere e rurali (Marino et al., 2020).

Nel 2020 l'acquacoltura rappresenta 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). A livello regionale il Veneto rappresenta la regione con il maggior numero di impianti (26%), mentre l'Emilia-Romagna è la prima regione per volumi di produzione (26%). 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). Nella maggior parte delle regioni costiere prevale l'utilizzo della risorsa idrica salmastra/salata, con impianti localizzati in ambienti di transizione, costieri e marini.

Complessivamente, le produzioni d'acquacoltura nel periodo 2013-2020 sono diminuite del 13%; la flessione ha colpito tutti i comparti produttivi ed è da ascrivere in particolar modo alla situazione pandemica mondiale, causata dalla diffusione del virus Covid 19, unitamente ad altre criticità preesistenti, anche di natura ambientale, specifiche per ciascun comparto. In particolare, la molluschicoltura emerge tra i comparti più vulnerabili, proprio perché si concentra in aree particolarmente esposte ai cambiamenti climatici.

Gli impatti del CC sull'acquacoltura italiana

L'acquacoltura è considerata tra i settori socioeconomici più vulnerabili ai cambiamenti climatici (Collins, 2020; Falconer et al., 2022; WGII AR5 dell'IPCC). 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 socio-economici, 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., 2014).

L'impatto dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura è associabile a molteplici fattori di pressione diretti tra cui:

- l'aumento delle temperature superficiali;
- l'innalzamento del livello del mare;
- l'acidificazione delle acque;
- l'aumento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi;

- l'alterazione del regime delle piogge ed eventi di siccità con conseguenti condizioni di stress idrico e alterazione della qualità delle acque (es. salinità, carico di inquinanti e nutrienti, torbidità).

L'acquacoltura nazionale è inoltre molto sviluppata negli ecosistemi ritenuti più vulnerabili ai cambiamenti climatici, in particolar modo quelli di transizione e marino-costieri. 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, si concentrano per naturale vocazione del territorio, lungo le zone costiere e lagunari del Mar Adriatico, aree particolarmente esposte ai cambiamenti climatici.

Gli impatti sulla molluschicoltura italiana potranno quindi 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.

È da sottolineare come nel settore della molluschicoltura si siano già verificati numerosi episodi di mortalità, legati al peggioramento delle condizioni ambientali degli ambienti di allevamento (e/o raccolta da banchi naturali), legati all'aumento delle temperature nel periodo estivo, alla ridotta disponibilità di ossigeno e all'incremento delle crisi distrofiche. Tali episodi sono legati al fenomeno delle ondate di calore (cosiddette "heat waves", HWs) che possono causare mortalità di massa nelle popolazioni di molluschi bivalvi (Peruzza et al., 2022). A causa dei cambiamenti climatici si verifica un progressivo aumento della frequenza, durata ed intensità delle HWs (Galli et al., 2017), che potrebbero anche produrre effetti sub-letali sulle popolazioni dei molluschi bivalvi, in particolar modo a seguito di esposizioni prolungate nel tempo (Peruzza et al., 2022).

La qualità dei corpi idrici destinati alle attività di molluschicoltura risente notevolmente dell'effetto che i cambiamenti climatici hanno sull'incremento della componente fito-planctonica, sulla conseguente produzione di biotossine algali e sul loro bioaccumulo nei molluschi bivalvi, che determinano rischi concreti per la salute dei consumatori e ricadute economiche fortemente negative sul comparto produttivo.

È da segnalare anche l'effetto che i cambiamenti climatici possono determinare in relazione alla diffusione delle specie aliene e/o localmente assenti associate alla molluschicoltura (Chiesa et al., 2022; Di Blasio et al., 2022); tale rischio è legato anche alla diffusione di nuovi parassiti e patogeni, nonché alla comparsa di biotossine marine cosiddette "emergenti", alcune ad elevata tossicità per l'uomo (Siracusa et al., 2022).

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 trocicoltura, sviluppata soprattutto nel Nord-Est (Veneto e Friuli-Venezia Giulia), è un importante comparto (33.774 ton), soggetto 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.

La Figura 3-136 mostra l'analisi su base geografica della vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi produttivi in acquacoltura (Castellari et al., 2014).

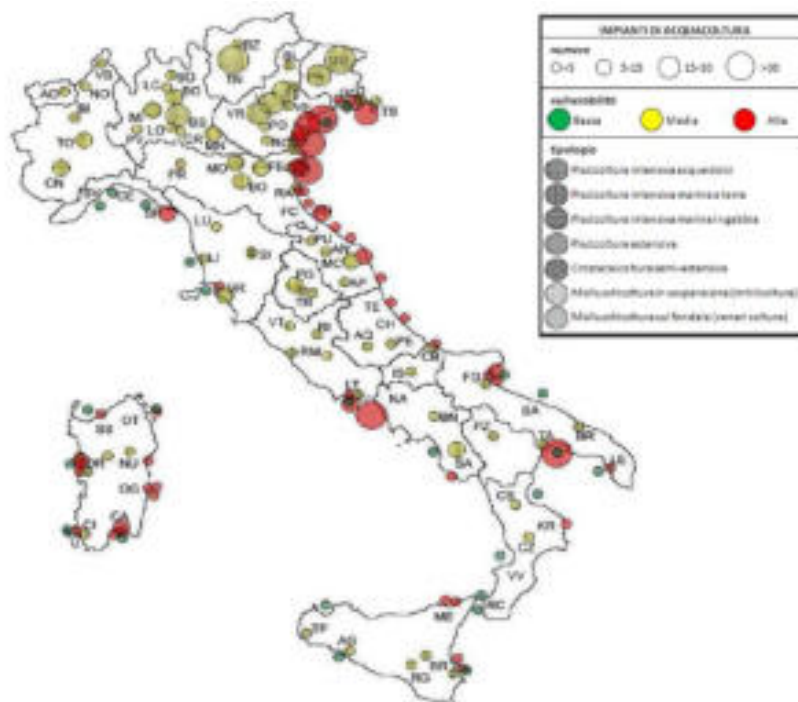


Figura 3-136: analisi su base geografica della vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi produttivi in acquacoltura (Castellari et al., 2014)

Va inoltre ricordato che l'acquacoltura, rispetto agli altri settori zootecnici, è il settore che ha la migliore impronta ecologica e con minor rilevanza nelle emissioni di gas serra, legate alla produzione dei mangimi e al consumo di energia elettrica. Inoltre, le attività di acquacoltura, ed in particolare la molluschicoltura, forniscono 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.

In particolare, è necessario acquisire informazioni 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 strategia d'intervento raccomandata (FAO, 2010; De Young et al., 2012) è quella di costruire la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici attraverso un approccio ecosistemico. In particolare, l'identificazione di nuove zone da assegnare all'acquacoltura (AZA) (FAO-GFCM, 2012) dovrà assicurare lo sviluppo sostenibile del settore anche in relazione ai rischi connessi con i cambiamenti climatici e ai possibili scenari di impatto. Le attuali strategie e normative ambientali di adattamento ai cambiamenti climatici, di pianificazione spaziale marittima, di transizione verde e blue economy (cfr cap.4.1, 4.2), costituiscono il contesto di riferimento all'interno del quale programmare misure di intervento, mitigazione e adattamento

al fine di assicurare lo sviluppo sostenibile e la resilienza dell'acquacoltura in uno scenario di cambiamenti climatici (Marino et al., 2020).

3.10.5 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, 2019).

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 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 (2013) 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, 2007), 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, 2020).

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).

3.10.6 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 (es. eventi di precipitazione intense, eventi estremi di temperature, riduzione delle precipitazioni, innalzamento del livello del mare). Tali effetti sono, inoltre, accentuati da un'elevata eterogeneità inter- e intra-specifica, determinata da caratteristiche topografiche, morfologiche, demografiche e socioeconomiche. È importante, comunque, sottolineare come l'elemento climatico rappresenti, nella maggioranza dei casi, un fattore esasperante criticità pregresse (CMCC, 2020).

In tema di gestione dell'acqua, nelle città italiane, 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, 2022).

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). Per ulteriori elementi in tema di consumo di suolo in ambito urbano si rimanda al paragrafo 0

In termini di occorrenza dei fenomeni alluvionali e di allagamento (Figura 3-137) la città di Milano, con più di 5 eventi, presenta un evidente problema di assetto idraulico delle acque sotterranee tombinate e/o incanalate, poichè viene 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 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, 2021).



Figura 3-137 – Numero di eventi alluvionali e di allagamento in area urbana (2000-2018). (Fonte: SNPA, 2022)

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., 2005). 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, 2022).

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 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, 2021 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 secolo (Consorzio Venezia Nuova, 2022).

3.10.7 Infrastrutture di Trasporto Terrestre

Le infrastrutture di trasporto terrestre comprendono le opere stradali e ferroviarie. I fenomeni climatici che generano impatti su tali infrastrutture sono rappresentati da ondate di calore, ondate di freddo, siccità, incendi, esondazioni fluviali e inondazioni costiere/allagamenti, frane e tempeste di vento.

Le ondate di calore tendono ad acuire i fenomeni di rottura e degradazione della pavimentazione stradale con conseguente aumento degli interventi - e associati costi - di manutenzione e ripristino necessari (Nemry & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). Per quanto concerne l'infrastruttura ferroviaria tra i principali impatti ascrivibili alle ondate di calore è possibile annoverare i fenomeni di deformazione dei binari causati dalla dilatazione termica (Nemry & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). Tali deformazioni compromettono il livello del servizio ferroviario: in tali circostanze, infatti, si registrano spesso aumenti dei tempi di percorrenza delle linee dovuti alla riduzione delle velocità di esercizio (Nemry & Demirel, 2012) e/o interruzioni di servizio. In casi più estremi si potrebbe arrivare a compromettere la sicurezza della marcia del treno. Altri impatti ascrivibili all'aumento delle temperature sono l'eccessivo surriscaldamento delle componenti di segnalamento e di telecomunicazione che potrebbe ridurne l'affidabilità e generare malfunzionamenti (Ferranti et al., 2016). Particolarmente significativi potrebbero risultare gli incrementi degli spostamenti richiesti ai dispositivi mobili di vincolo e ai giunti di dilatazione dei ponti stradali e ferroviari; ne possono derivare riduzioni inaccettabili del comfort di marcia o la percolazione di acque aggressive, quali quelle ricche di sali antigelo, provenienti dall'impalcato, con esaltazione dei fenomeni di degrado. Tali impatti fisici si traducono in conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali danneggiate e in una possibile riduzione di operatività.

Le ondate di freddo tendono a danneggiare la pavimentazione stradale (fenomeni di rottura e degradazione del manto stradale) e tali impatti richiedono interventi di manutenzione e possibili blocchi o disagi alla circolazione. Tali effetti risultano particolarmente accentuati dall'amplificarsi dei cicli di gelo-disgelo (OECD, 2016). Eventi nevosi e gelate richiedono inoltre interventi di rimozione di neve e ghiaccio con conseguenti simili impatti sulla circolazione nonché un aumento dei costi di manutenzione/ripristino. Una riduzione

eccessiva delle temperature può compromettere il funzionamento dei sistemi di segnalamento, comunicazione e instradamento treni, ad esempio a causa del loro congelamento, nonché la funzionalità della linea di contatto che non permette l'accoppiamento pantografo-fune.

Prolungati periodi di siccità possono acuire i fenomeni di subsidenza del terreno causando degradazione e deformazione del manto stradale con conseguente necessità di interventi di manutenzione (OECD, 2016).

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., 2020)

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 & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). 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. Tutti questi impatti fisici si traducono in conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali danneggiate/distrutte.

L'instabilità dei versanti, spesso generata da intense precipitazioni, rappresenta un ulteriore importante pericolo di origine climatica per le infrastrutture di trasporto terrestre. Fango, detriti e massi possono invadere le sedi, sia stradali che ferroviarie, interrompendo la circolazione (Klose et al., 2015). In presenza di eventi particolarmente severi, le frane possono generare danni a varie componenti dell'infrastruttura o addirittura distruggerle come nel caso del crollo di ponti e viadotti (OECD, 2016). Tutti questi impatti fisici si traducono in conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali danneggiate/ distrutte. La penisola italiana, per le sue particolarità geologiche, morfologiche e climatiche, è costituita da un territorio particolarmente soggetto a fenomeni di dissesto idrogeologico (Mysiak et al., 2013).

A seguito di forti raffiche di vento sia le carreggiate stradali che le sedi ferroviarie possono essere temporaneamente inutilizzabili per la presenza di rami e alberi caduti o di detriti trasportati dal vento. Inoltre gli alberi abbattuti dal vento potrebbero colpire, cadendo, le linee aeree di contatto interrompendo così il servizio ferroviario in modo prolungato (UNECE, 2020). In presenza di venti particolarmente forti si possono registrare danni strutturali alle componenti dell'infrastruttura sia ferroviaria che stradale in seguito all'impatto diretto con detriti trasportati dal vento o alla pressione esercitata dallo stesso (es. danni a ponti e viadotti strallati, agli stabilimenti) (Nemry & Demirel, 2012) (UNECE, 2020). Tali fenomeni possono richiedere interventi di manutenzione straordinaria con eventuali aumentati costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione delle componenti infrastrutturali colpite.

3.10.8 Trasporto aereo e infrastrutture aeroportuali

Le infrastrutture aeroportuali considerate comprendono le superfici destinate alle operazioni di operatività degli aeromobili, gli edifici a servizio, le zone di sosta veicoli a servizio delle aree aeroportuali e la relativa

viabilità di accesso. I fenomeni climatici che generano impatti su tali infrastrutture sono rappresentati da ondate di calore/aumento di temperatura media, ondate di freddo/precipitazioni nevose, esondazioni fluviali e inondazioni costiere, tempeste di vento/variazioni nella direzione del vento

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 aeromobili (Puempel & Williams, 2016) (Burbidge, 2016). 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 & 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 conseguenza è una diminuzione di carico pagante sul velivolo o la necessità di lavori di costruzione per l'allungamento della pista di volo. Effetti a più grande scala generati dal riscaldamento globale sul sistema climatico possono influire sul Jet Stream e in ultima analisi sulle rotte aeree (Puempel & Williams., 2016) (Burbidge, 2016). Il jet stream di media latitudine in ciascun emisfero è creato e sostenuto dalla differenza di temperatura tra i poli freddi e i tropici caldi. Questa differenza di temperatura sta diminuendo a livello del suolo a causa del riscaldamento polare, ma sta aumentando a livello di crociera in volo a causa del raffreddamento stratosferico inferiore. Tale cambiamento può modificare le rotte di volo ottimali aumentandone i tempi di viaggio e quindi i costi.

La presenza di ghiaccio sulle pavimentazioni in conseguenza di ondate di freddo riduce l'aderenza nelle fasi di decollo abortito e di atterraggio (ENAC, 2014). 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. Per questo, quando la temperatura scende sotto lo zero, negli aeroporti è necessario intensificare le operazioni di manutenzione straordinaria delle pavimentazioni e degli aeromobili. Precipitazioni nevose intense possono portare anche alla diminuzione della visibilità e quindi alla necessità di interruzione dell'operatività. La chiusura dell'aeroporto comporta l'atterraggio su un aeroporto alterato con aumento del consumo, e quindi del costo del carburante, oltre all'aumento dei costi per il trasporto dei passeggeri e del bagaglio e/o della merce dall'aeroporto alterato a quello di destinazione originario.

Negli aeroporti a quote basse in località costiere, l'innalzamento del livello del mare può aumentare il rischio di mareggiate, soprattutto in concomitanza di episodi di precipitazioni molto intense. Le inondazioni possono interessare sia direttamente gli aeroporti sia i percorsi di accesso all'aeroporto stesso, danneggiando infrastrutture e velivoli, con conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione, e compromettendone l'operatività (Puempel & Williams, 2016); (Burbidge, 2016); (JRC, 2018); (Cipriani, 2013). La chiusura dell'aeroporto comporta l'atterraggio su un aeroporto alterato con aumentati costi necessari per il trasferimento di passeggeri, bagagli e merci. Simili impatti possono originare da fenomeni di esondazioni fluviali per aeroporti in prossimità di corsi d'acqua.

Le tempeste di vento possono causare il danneggiamento delle strutture presenti in aeroporto in seguito alla pressione del vento o dell'impatto con detriti con conseguenti costi di ripristino/sostituzione/ricostruzione (Burbidge, 2016); (JRC, 2018); (Lopez, 2016). Inoltre, tali fenomeni estremi rendono generalmente necessaria la chiusura dell'aeroporto perché le operazioni diventano impossibili. La chiusura dell'aeroporto comporta l'atterraggio su un aeroporto alterato con aumentati costi necessari per il trasferimento di passeggeri, bagagli e merci. Anche variazioni nelle direzioni trasversale e prevalente del vento, non necessariamente legate a fenomeni estremi, possono avere importanti impatti su infrastrutture aeroportuali (Burbidge, 2016); (JRC, 2018); (Lopez, 2016). Le piste di volo sono orientate in base allo studio anemometrico del sito, in modo che sia sempre molto limitata la componente trasversale del vento, quella componente cioè che può limitare la governabilità degli aeromobili nelle fasi di decollo e in atterraggio. Un aumento di questa componente oltre

i limiti consentiti ha come conseguenza la chiusura della pista, con risultante perdita di operatività dell'aeroporto. Nel caso in cui siano presenti più piste con direzioni diverse, il cambiamento di direzione della componente trasversale porterebbe allo spostamento di una parte del traffico sulle altre piste con conseguente cambiamento dell'impatto ambientale (in particolare il rumore) nelle aree limitrofe all'aeroporto. L'installazione della strumentazione delle piste di volo per gli aiuti alla navigazione aerea per gli atterraggi di precisione è studiata in funzione della direzione prevalente del vento. Come è noto, infatti, gli aerei decollano e atterrano sempre con vento contrario, nel primo caso per aumentare la forza di portanza, nel secondo caso per aumentare la forza di resistenza che aiuta la frenata dell'aereo. Eccetto i grandi aeroporti internazionali, nella maggior parte degli aeroporti italiani, solo una testata è strumentata, quella che registra i venti prevalenti di direzione contraria alle operazioni di decollo e di atterraggio. Una variazione di direzione dei venti può pertanto limitare l'operatività della pista e un aumento dell'intensità del vento in coda richiede una lunghezza di pista maggiore, nel caso di nuove installazioni, o una riduzione del carico pagante a bordo degli aeromobili o l'annullamento di alcune operazioni, nel caso di piste già esistenti.

3.10.9 Ambienti portuali

Nella fascia costiera, le principali infrastrutture che possono essere fortemente condizionate dai cambiamenti climatici sono costituite dai porti commerciali e industriali e dalle rotte marittime.

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. In seguito all'entrata in vigore del decreto legislativo n.169 del 2016 (GU 31 agosto 2016) di riordino delle Autorità Portuali, sono state create 16 nuove Autorità di Sistema Portuale con il compito di programmare, coordinare e regolare i 57 porti di rilievo nazionale. Le Regioni possono chiedere l'inserimento nelle Autorità di Sistema di ulteriori porti di rilevanza regionale. Dalla riforma risultano semplificate anche le procedure per l'approvazione dei Piani regolatori portuali e prevista la scelta della sostenibilità energetica e ambientale dei porti con particolare riferimento alla mitigazione (Art.5).

L'infrastruttura più complessa nell'ambito dei porti commerciali marittimi prevede moli esterni, interni, banchine, fari, gru, magazzini e piazzali di stoccaggio, terminal, oltre a strade e ferrovie per le connessioni con il territorio.

Relativamente ai cambiamenti climatici in ambiente marino, il Mar Mediterraneo è considerato un oceano in miniatura: per tale motivo ci si attende che le risposte osservate siano più rapide di quanto non accada negli oceani veri e propri (Bianchi, 2007; Boero et al., 2008; Lejeune et al., 2010; Zecca and Chiari, 2012) e possano essere predittive di cambiamenti a scale più elevate (DeMartini et al., 2021). Il Mediterraneo è una delle aree nelle quali sono stati meglio documentati differenti aspetti dei cambiamenti climatici, sia in ambito costiero, che pelagico; tale particolare attenzione è giustificata dall'importanza strategica, ambientale, economica e sociale delle nostre coste. Si tratta nell'insieme di processi importanti che stanno determinando cambiamenti profondi nella biodiversità di tutto il bacino; tali cambiamenti sono prevalentemente di tipo fisico-chimico e riguardano **l'aumento di temperatura e salinità, la diminuzione della concentrazione di ossigeno, la diminuzione del pH, l'alterazione della circolazione, la modifica della distribuzione e degli effetti dei contaminanti e dei loro impatti** (Cramer et al., 2018) **la variazione del livello del mare e la variazione delle condizioni dello stato del mare e di apporto fluviale con il verificarsi di eventi estremi** (quali ad esempio siccità, uragani ed inondazioni; EPA.gov, 2022).

Fattori ambientali ed effetti sugli ambienti portuali

I valori medi di **temperatura superficiale del mare** sono chiaramente influenzati dalla latitudine. La particolare conformazione delle coste italiane e gli apporti fluviali determinano condizioni locali favorevoli alla formazione di aree a temperatura più calda, come, ad esempio, nel Tirreno meridionale, o più fredda, nel caso del nord Adriatico, influenzato dai fiumi padani. Le variazioni annue di temperatura superficiale del mare mostrano incrementi in tutti i mari italiani, con alterazioni marcate nel Mar Ligure, Adriatico e Ionio Settentrionale e valori attenuati nel canale di Sicilia. Si ipotizza un innalzamento della temperatura superficiale del mare, in termini di differenza fra il trentennio 2021-2050 rispetto al valore medio del trentennio 1981-2010, compreso fra 1 e 2 °C.

L'aumento di temperatura degli strati superficiali dell'oceano determinerebbe un aumento della differenza termica rispetto agli strati maggiormente profondi e quindi una maggiore stratificazione verticale. In un contesto costiero, soggetto sia ad una variazione di temperatura (ondate di calore/aumento di temperatura media) che a persistenti apporti eutrofici, l'aumentata stratificazione comporterebbe una ridotta ventilazione e di conseguenza il possibile instaurarsi di **condizioni di anossia**. Le condizioni anossiche si manifestano prevalentemente nel periodo estivo-autunnale e sono favorite dall'incremento della temperatura, la presenza di abbondante biomassa microalgale, la stasi idrodinamica e la stratificazione termica e/o salina. Secondo l'ultimo rapporto della COP25, dagli anni Sessanta a oggi, gli oceani hanno perso in media il 2% del loro contenuto di ossigeno (Laffoley and Baxter, 2019). Lo stato di anossia sul fondo, una volta innescatosi, si mantiene e si estende nel tempo in funzione delle correnti e si risolve in occasione di mareggiate importanti in grado di rimescolare l'intera colonna d'acqua. Gli ambienti costieri semichiusi, quali sono i porti, possono essere soggetti a situazioni di anossia amplificate dallo scambio limitato con le acque aperte (Zhang et al., 2010).

Il Mediterraneo sembra essere particolarmente sensibile all'**abbassamento del pH**. Touratier and Goyet (2009) riportano una riduzione di 0.15 unità di pH dall'epoca preindustriale. Secondo i dati attuali, l'IPPC prevede un abbassamento del pH del mare di 0.3-0.4 unità entro la fine di questo secolo. L'acidificazione potrà produrre un impatto a livello delle infrastrutture portuali relativamente all'incremento del fenomeno della corrosione delle armature metalliche delle infrastrutture.

L'ambiente costiero, alla luce dei futuri scenari climatici formulati dall'IPPC, è un ambiente critico, fortemente minacciato dal progressivo **innalzamento del livello del mare**, con sostanziali impatti che andranno a colpire, in modo rilevante, le infrastrutture in prossimità della costa. L'innalzamento del livello del mare, che potrebbe essere superiore ad 1 m nel 2100 (Vermeer and Rahmstorf, 2009), avrà un considerevole impatto su tutta la fascia costiera del Mediterraneo (Lionello et al, 2016). La problematica è particolarmente sentita soprattutto in quei paesi, come l'Italia, dove è presente una notevole irregolarità delle coste ed una forte antropizzazione delle aree costiere. Nel trentennio appena concluso, si sono verificati incrementi in gran parte dei mari italiani, soprattutto lungo le coste, con valori medi del trend pari a circa 2.2 mm/anno.

Le variazioni positive del livello medio del mare (innalzamenti) determinano un aumento delle aree potenzialmente soggette ad inondazione e della frequenza di eventi estremi, maggiore erosione costiera, intrusione di acqua salata e aumento di salinità nella riserva di acquadolce, "marinizzazione" delle lagune costiere, aumento della vulnerabilità dei centri abitati ed attività antropiche costiere.

Le cause correlate alle variazioni climatiche che possono aumentare la **frequenza e l'entità delle inondazioni costiere** originano principalmente dall'aumento del livello medio del mare causato dall'eustatismo e dall'intensificazione dei fenomeni estremi di vento, i quali determinano l'aumento sia del moto ondoso, sia del "sovralzo di tempesta" ("storm surge") (Svendsen, 1980). 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.

Le **esondazioni fluviali** in prossimità della costa possono essere acuite dalle variazioni climatiche a causa dell'aumento delle precipitazioni meteoriche intense e quindi dei deflussi fluviali e dell'aumento del livello medio del mare indotto dall'eustatismo (Bevacqua et al.,2020; Ward et al.,2018). I corsi d'acqua maggiormente sensibili a questi fenomeni improvvisi e violenti sono quelli a regime torrentizio, presenti in quasi tutte le regioni italiane e in particolare in Liguria, Calabria e Sicilia. I porti che possono essere interessati da esondazioni fluviali sono costituiti principalmente dai porti fluviali e canale.

Numerosi di questi porti, che generalmente si sviluppano in ambiente urbano, presentano rilevanti problemi di convivenza con i corsi d'acqua a causa dell'interrimento indotto dal trasporto solido fluviale e costiero e dell'escursione dei livelli idrici causati dalle piene fluviali. 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.

Laddove siano presenti punti di scarico (depuratori, scolmatori del troppo pieno), malfunzionamenti tecnici della rete fognaria e/o dei sistemi di trattamento delle acque reflue, punti di dilavamento del suolo, un aumento degli eventi estremi di precipitazione può causare un aumento nel numero di episodi di inquinamento di breve durata. In alcuni casi, questi eventi potrebbero determinare fenomeni di eutrofizzazione, che potrebbero a loro volta indurre condizioni di anossia e proliferazione di organismi potenzialmente pericolosi per l'ecosistema costiero. In questo contesto, si ritiene opportuno ricordare che il Descrittore 5 della Strategia Marina dell'UE (Direttiva 2008/56/CE), che pone come obiettivo la riduzione al minimo dell'eutrofizzazione di origine umana, prevede l'esecuzione di specifici piani di monitoraggio. I criteri relativi al monitoraggio per la stima dei carichi di nutrienti (intesi come da fonti fluviali, da acque reflue, da attività di acquacoltura in mare e da deposizione atmosferica) unitamente alla determinazione di un valore limite inferiore di 3 mg/L per l'ossigeno disciolto nelle acque di fondo, potrebbero trovare applicazione nella previsione di un indice di vulnerabilità correlato all'aumento di tali parametri.

Viceversa, **eventi siccitosi** di lunga durata, che si verificano almeno su scala regionale, possono indurre nei porti problemi di approvvigionamento idrico di acqua naturale per uso potabile e industriale.

Nel Mediterraneo si iniziano a registrare tempeste che rientrano nel campo dei cicloni tropicali, le quali, in analogia agli uragani, vengono denominati "medicane" (Emanuel, 2005). In Italia il mare che risulta più soggetto all'acuirsi di questi fenomeni è il Mar Adriatico, a causa della morfologia del suo bacino, delle coste e dei rilievi montuosi che lo delimitano (Pasquali et al., 2015). In particolare, all'aumento delle **frequenze di mare agitato** si associa un maggior rischio per le principali attività antropiche costiere, quali la navigazione, l'utilizzo delle zone limitrofe alla linea di costa, maggiore erosione costiera, variazione degli habitat, delle aree idonee per scopi ludici e produttivi.

Le **tempeste di vento**, oltre a generare danni strutturali, sono fenomeni che possono essere causa di interruzione della navigazione, sia per effetto diretto sull'attività portuale (manovrabilità delle imbarcazioni etc.), sia per effetto dell'incremento del moto ondoso che si verifica in presenza di ampi specchi d'acqua e talora, in concomitanza con altri eventi atmosferici (es. piogge) possono creare scenari estremamente critici.

Gli impatti diretti dell'**aumento delle precipitazioni** (anche sotto forma di eventi estremi) sulle infrastrutture di trasporto all'interno delle aree portuali riguardano soprattutto il danneggiamento delle superfici asfaltate per allagamento o erosione dovuto allo scorrimento delle acque (in particolare l'erosione accentua danni o

imperfezioni preesistenti) ed il drenaggio e la gestione delle acque meteoriche raccolte su ampie superfici impermeabilizzate quali i piazzali portuali.

L' **aumento delle temperature estive** interessa le infrastrutture di trasporto per le quali la resistenza dei materiali e della struttura è vulnerabile alla temperatura. In particolare, il fenomeno si manifesta, e nel caso accentua, laddove sono presenti superfici estese. 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, come ad esempio dal trasporto marittimo a quello ferroviario o su gomma e viceversa (Ligteringen, 1999).

Gli effetti dell'aumento della temperatura possono indurre una modificazione delle caratteristiche funzionali delle pavimentazioni e determinarne quindi un degrado accelerato nel tempo (che richiede interventi manutentivi più importanti o ravvicinati) ed una riduzione della sicurezza nell'uso della struttura, ad esempio per variazione del rapporto di aderenza tra la superficie pavimentata e la ruota. Gli impatti legati all'aumento delle temperature possono interessare anche le strade ferrate laddove l'espansione termica delle leghe dei binari arrivi a deformarli.

Tali impatti, a seconda della severità, possono tradursi in costi legati all'adeguamento delle componenti infrastrutturali. Le ondate di calore possono inoltre aumentare il consumo di energia (e quindi dei costi) per il raffreddamento della merce deperibile per la quale è necessaria la refrigerazione. Per quanto riguarda gli effetti a grande scala, le ondate di calore, e più in generale un aumento persistente di temperatura media dell'aria, possono 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.

Per un miglior inquadramento, si riportano di seguito, in maniera sintetica, i possibili effetti sugli ambienti portuali determinati dai fattori ambientali sopra descritti.

Fattore ambientale	Possibili impatti sugli ambienti portuali
Acidificazione oceani	Integrità delle infrastrutture portuali, aumento del fenomeno di corrosione delle armature metalliche
Innalzamento mare	Aumentato rischio legato all'erosione costiera, intrusione di acqua salata e aumento di salinità nella riserva di acquadolce, aumento della vulnerabilità delle attività antropiche costiere
Aumento frequenze eventi estremi (mare agitato/venti)	Danni strutturali, interruzione della navigazione, effetto diretto sull'attività portuale (manovrabilità delle imbarcazioni etc.), effetto dell'incremento del moto ondoso, danneggiamento superfici asfaltate per allagamento o erosione, scorrimento delle acque meteoriche
Stratificazione/anossia sul fondo	Aumentato rischio eutrofizzazione, stress popolazioni bentoniche
Aumento delle temperature estive	Degrado superfici portuali, espansione termica strade ferrate, aumentato consumo carburante.
Aumento apporto idrico (sversamento) da fonti terrestri	Inoperatività 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

I fattori ambientali sopra descritti che possono influenzare la corretta fruibilità degli ambienti portuali rappresentano un punto di riferimento per sviluppare specifici indici per i contesti portuali. Tali indici dovranno essere calibrati per ciascuna realtà, in funzione della posizione geografica, delle caratteristiche orografiche e della tipologia di porto, al fine di poterne valutare la diversa suscettibilità agli effetti avversi dei cambiamenti climatici.

Tale approccio è già stato impiegato in diverse realtà internazionali per le quali sono stati elaborati degli **indici** che prendono in esame alcuni aspetti, quali frequenza, intensità e durata degli eventi estremi, facendo spesso ricorso, nella loro formulazione, allo studio degli impatti prodotti sul territorio da eventi atmosferici estremi verificatisi in passato. La valutazione quantitativa dell'evoluzione nello spazio e nel tempo di tali eventi è propedeutica ad effettuare un'analisi di adattamento e di rischio (GIZ 2017; Collin et al., 2019; EEA 2021).

Alcuni indici, di seguito riportati e sviluppati in ambito marino-costiero, possono trovare un'utile applicazione anche in ambiente portuale per la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulla stabilità delle infrastrutture portuali e per dare indicazioni ai fini di una corretta progettazione degli interventi di manutenzione e di realizzazione di nuove opere:

- il trend di **variazione annuo del livello del mare**, messo a disposizione all'interno della piattaforma Copernicus C3S21, ha lo scopo di evidenziare le aree di mare maggiormente interessate da una variazione consistente del livello del mare e tiene conto dei fenomeni di mareggiata con periodo di ritorno pari a dieci e a cento anni (TR10TWL e TR100TWL per i due diversi tempi di ritorno considerati);
- le **frequenze di mare agitato** ricavate dai dati Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) (MEDSEA_HINDCAST_WAV_006_012);
- gli indici relativi alle **tempeste di vento**: EWS, ossia il 98° percentile della velocità massima giornaliera del vento (EEA, 2018) e TR50WSMAX, ossia il percentile corrispondente ad un tempo di ritorno di 50 anni per la velocità massima giornaliera del vento.

In letteratura, inoltre, si trovano riferimenti a indici che valutano la **resilienza dei porti ai cambiamenti climatici**, che possono offrire uno spunto per la determinazione delle variabili pertinenti al territorio italiano e suggerire la procedura per la definizione di un indice nazionale.

Ad esempio, il Port Resilience Index (PRI), sviluppato da un gruppo di ricercatori dell'università di Vigo (Leon-Mateos et al, 2021), prende in esame gli stakeholders delle attività portuali per determinare il livello di resilienza operativa dei processi portuali stessi. Con l'obiettivo di misurare la resilienza operativa all'interno del porto, in una prima fase sono stati identificati sia i possibili rischi climatici e oceanici/metereologici derivanti dai cambiamenti climatici, sia i processi critici per mantenere l'operatività di un'infrastruttura portuale. Incrociando questi dati, sono stati elaborati una serie di scenari di rischio che potrebbero compromettere la continuità dei processi portuali. Nella seconda fase, sono state analizzate le capacità di una serie di fattori di resilienza di moderare gli scenari di rischio identificati. Il risultato è un indice composito che fornisce agli stakeholder, ai manager e ai decisori politici, uno strumento decisionale che consente, da un lato, di identificare le aree in cui è necessario un miglioramento e, dall'altro, di stabilire quali misure possono avere un impatto maggiore sulla riduzione del rischio di interruzione dell'attività.

Allo stesso scopo, un altro indice è stato sviluppato per una piccola realtà portuale dai ricercatori del Dipartimento di Ingegneria meccanica dell'università del Western Macedonia, Grecia (Kontogianni et al., 2018). Questo indice composito di vulnerabilità (VI) consiste in tre sub-indici che descrivono le dimensioni fisiche (bordo libero della cresta del molo, frequenza degli eventi atmosferici estremi, altezza e frequenza del moto ondoso), socio-economiche (uso del porto, tasso di occupazione, distanza dall'area urbana e numero di abitanti della comunità costiera) ed economiche (variabili relative all'integrità strutturale del porto e al miglioramento della sua resilienza) degli impatti dei cambiamenti climatici sui piccoli porti. Una volta

sviluppato, l'indice è stato applicato a 47 porti, permettendo di classificare con un valore percentuale la diversa vulnerabilità di porti anche geograficamente vicini tra loro.

4 Obiettivi ambientali e pianificazione/programmazione pertinente

L'integrazione delle istanze ambientale nel processo di formazione del piano rappresenta il principio ispiratore e la finalità generale della VAS e trova attuazione anche attraverso l'analisi della coerenza del piano con obiettivi ambientali specifici che il piano stesso può contribuire a perseguire.

Il processo di analisi di detti obiettivi ambientale specifici è stato condotto attraverso i seguenti 4 passaggi:

- analisi della normativa (incluse politiche, strategie, ecc.) e dei riferimenti in tema di sostenibilità ambientale stabiliti ai diversi livelli (internazionale, comunitario, nazionale) pertinenti al PNACC;
- analisi degli strumenti di pianificazione e programmazione pertinenti ai diversi livelli territoriali
- Individuazione e sintesi degli obiettivi ambientali richiamati nell'ambito del quadro delle politiche/normative e della pianificazione/programmazione di cui ai punti precedenti;
- Analisi della coerenza-sinergia tra gli obiettivi ambientali desunti dalla normativa e gli obiettivi del piano.

Gli obiettivi ambientali desunti dall'analisi normativa associati alle diverse questioni ambientali costituiscono un set di sintesi degli obiettivi di riferimento per la definizione di indicatori di monitoraggio del contesto come rappresentato al capitolo 7 del presente rapporto.

I seguenti paragrafi riportano i risultati delle suddette attività.

4.1 Quadro delle politiche, strategie, normative ambientali di riferimento e strumenti di pianificazione pertinenti

Si riporta di seguito l'elenco delle politiche, strategie, normative ambientali e strumenti di pianificazione pertinenti al PNACC esaminate nell'Allegato 2 al RA "QUADRO DELLE POLITICHE, STRATEGIE, NORMATIVE AMBIENTALI DI RIFERIMENTO e STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE PERTINENTI".

POLITICHE, STRATEGIE E NORMATIVE AMBIENTALI STABILITE A LIVELLO INTERNAZIONALE, COMUNITARIO E DEGLI STATI MEMBRI

SVILUPPO SOSTENIBILE

Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (UN, 2015b)

EU Green Deal (EC, 2019) e 2030 Climate Target Plan (EC, 2020b)

Regolamento sulla Tassonomia UE/2020/852

BIODIVERSITÀ TERRESTRE

Strategia Europea per la Biodiversità verso il 2030 (EC, 2020c)

Direttiva 79/409/CEE "Uccelli"

Direttiva 92/43/CEE "Habitat"

La Convenzione di RAMSAR (1971)

Nuova strategia dell'UE per le foreste per il 2030 (COM (2021) 572 final

Convenzione sulla conservazione delle specie migratrici appartenenti alla fauna selvatica (CMS)

Accordo sulla conservazione degli uccelli acquatici migratori afro-eurasiatici (AEWA)

AMBIENTE MARINO-COSTIERO

Protocollo della Convenzione di Barcellona sulla gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo (Integrated Coastal Zone Management – ICZM), entrato in vigore il 24 marzo 2011

Direttiva quadro 2008/56/CE sulla strategia per l'ambiente marino (D.lgs. 13 ottobre 2010, n. 190)

Direttiva 2014/89/UE che istituisce un quadro per la pianificazione dello spazio marittimo (D.lgs. di recepimento n. 201 del 17 ottobre 2016)

RISORSE IDRICHE

Direttiva 2000/60/CE Direttiva Quadro Acque (Water Framework Directive) (D.lgs. di recepimento n. 152/2006 – Testo Unico Ambientale

Direttiva 91/271/CE - Trattamento delle acque reflue urbane (D.lgs. di recepimento n. 152/1999)

Direttiva 91/676/CE - Protezione delle acque dell'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole

Direttiva Alluvioni 2007/60/CE e il D.lgs. attuativo 49/2010

Regolamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 maggio 2020 recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua

SUOLO

Strategia Europea per il suolo per il 2030 COM (2021)699 final

SPECIE ESOTICHE INVASIVE

Regolamento UE 1143/14 sulla gestione delle specie esotiche invasive (D.lgs. di recepimento n. 230 del 15 dicembre 2017)23

Strategia europea sulle specie aliene invasive (Recommendation No. 99/2003 Bern Convention)

AGRICOLTURA

Strategia Farm to Fork (EC, 2020d)

Politica Agricola Comune (PAC) e Programmi di Sviluppo Rurale (PSR) (Regolamenti (UE) 671/2012, 1028/2012, 1305/2013, 1306/2013, 1307/2013, 1308/2013, 1370/2013)

PESCA MARITTIMA E ACQUACOLTURA

Orientamenti strategici per un'acquacoltura dell'UE più sostenibile e competitiva per il periodo 2021 – 2030 COM (2021) 236 final

Strategia “Dal Produttore al Consumatore” per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente (2020/2260(INI))

Regolamento UE 1380/2013 relativo alla Politica Comune della Pesca (PCP)

Regolamento UE 508/2014, Relativo al Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca (FEAMP)

Regolamento UE 1139/2021 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 7 luglio 2021 che istituisce il Fondo Europeo per gli Affari Marittimi, la Pesca e l'Acquacoltura e che modifica il regolamento (UE) 2017/1004

Comunicazione della Commissione su un nuovo approccio per l'economia blu sostenibile nell'Unione Europea - Transforming the EU's Blue Economy for a Sustainable Future Sustainable blue economy (COM/2021/240)

Regolamento CE 708/2007 e s.m.i. relativo all'impiego in acquacoltura di specie esotiche e di specie localmente assenti

One Health Joint Plan of Action (2022-2026). Working together for the health of humans, animals, plants and the environment

Strategia 2030 della Commissione Generale della pesca del Mediterraneo per pesca e acquacoltura sostenibili nel Mediterraneo e Mar Nero

Il Piano d'Azione Regionale per la Piccola Pesca nel Mediterraneo e nel Mar Nero (RPOA-SSF; FAO, 2018)

PATRIMONIO CULTURALE

Convenzione UNESCO per la protezione del patrimonio mondiale culturale e naturale (Parigi, 1972)

Convenzione UNESCO sulla protezione del patrimonio culturale subacqueo (Parigi, 2001)

Convenzione UNESCO per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale (Parigi, 2003)

Convenzione di Faro sul valore del patrimonio culturale per la società (Faro, 2005)

Convenzione europea per la protezione del patrimonio archeologico (La Valletta, 1992)

Convenzione Europea sul Paesaggio (Firenze, 2000)

Risoluzione del Parlamento europeo sulla tutela del patrimonio naturale, architettonico e culturale europeo nelle zone rurali e nelle regioni insulari (2006/2050(INI))

Carta di Roma sul Capitale Naturale e Culturale (Roma, 2014)

POLITICHE, STRATEGIE E NORMATIVE AMBIENTALI STABILITI A LIVELLO NAZIONALE*SVILUPPO SOSTENIBILE*

Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile – SNSvS (2017)

BIODIVERSITÀ

Strategia Nazionale per la Biodiversità al 2030

Legge quadro sulle aree protette (L. n. 394 del 1991)

Strategia Forestale Nazionale (Gazzetta Serie Generale n. 33 del 09-02-2022)

PESCA MARITTIMA E ACQUACOLTURA

Guida Tecnica AZA (ISPRA-MiPAAF, 2020)

Comitato consultivo per l'impiego in acquacoltura di specie esotiche e di specie localmente assenti (Decreto Ministeriale n. 0292594 del 30/06/2022)

PATRIMONIO CULTURALE

Decreti interministeriali di Istituzione del Parco sommerso ubicato nelle acque di Baia nel Golfo di Pozzuoli e del Parco sommerso ubicato nelle acque di Gaiola nel Golfo di Napoli (7 agosto 2002)

D.lgs. n. 42/2004 Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137

Carta di Roma per il Patrimonio Marittimo (Roma, 2007)

ENERGIA

Strategia Energetica Nazionale – SEN 2017

PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE NAZIONALE PERTINENTE

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - PNRR (2021)

Piano Nazionale di Transizione Ecologica - PTE (2022)

Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima - PNIEC (2019)

Piano di Sviluppo della Rete elettrica di Trasmissione Nazionale - PdS (2021)

Piano Nazionale Strategico per la Mobilità Sostenibile - PNSMS (2018)

Piano Nazionale degli interventi sul settore idrico - Sezione acquedotti (primo stralcio) (2019)

Piano Nazionale per la mitigazione del rischio idrogeologico, il ripristino e la tutela della risorsa ambientale (2019)

Programma di Sviluppo Rurale Nazionale - PSRN (2021)

Piano di Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari - PAN (2022)

Programma Operativo Nazionale finanziato dal Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca 2014-2020 (PO-FEAMP); Programma Operativo Nazionale finanziato dal Fondo Europeo per gli Affari Marittimi, la Pesca e l'Acquacoltura 2021-2027 (PO-FEAMPA)

Programma nazionale triennale della pesca e dell'acquacoltura 2022-2024 (Decreto Ministeriale 677287 del 24/12/2021)

Piano Nazionale Strategico per l'Acquacoltura 2021-2027

Programma Nazionale Controllo Inquinamento Atmosferico – PNCIA (2021)

PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE INTERREGIONALE E REGIONALE PERTINENTE

Piani Energetici Ambientali Regionali – PEAR

Piani forestali regionali - PFR

Piani e Regolamenti dei Parchi

Piani Regionali di Gestione delle Coste

Piani stralcio di distretto per l'Assetto Idrogeologico - PAI

Piani di gestione del rischio di alluvioni - PGRA

Piani di Gestione Acque

Piani Regionali di Tutela delle Acque

Piani paesaggistici regionali/Piani territoriali regionali a valenza paesaggistica

Piani di gestione dei Siti UNESCO

Piani Territoriali Regionali di Coordinamento

Piani Regionali Qualità dell'Aria

4.2 Obiettivi di sostenibilità ambientale e analisi di coerenza

Il miglioramento della capacità di adattamento, il rafforzamento della resilienza e la riduzione della vulnerabilità ai cambiamenti climatici fornisce un determinante contributo allo sviluppo sostenibile e all'obiettivo di contenimento dell'innalzamento della temperatura media globale.

Il PNACC, il cui obiettivo generale si declina nei seguenti 4 obiettivi specifici, si pone pertanto in termini generali in sostanziale coerenza con gli obiettivi ambientali.

Obiettivi specifici del PNACC:

- definire una governance nazionale per l'adattamento, esplicitando le esigenze di coordinamento tra i diversi livelli di governo del territorio e i diversi settori di intervento;
- migliorare e mettere a sistema il quadro delle conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici sugli impatti dei cambiamenti climatici, sulla vulnerabilità e sui rischi in Italia;
- definire le modalità di inclusione dei principi, delle azioni e delle misure di adattamento ai cambiamenti climatici nei Piani e Programmi nazionali, regionali e locali per i settori d'azione individuati nel PNACC, valorizzando le sinergie con gli altri Piani nazionali;
- definire modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle azioni del PNACC ai diversi livelli di governo.

In termini più dettagliati, è stata condotta un'analisi di coerenza secondo l'approccio descritto di seguito.

Rispetto a ciascuna tematica/questione ambientale sono stati confrontati:

- gli Obiettivi ambientali desunti dall'analisi delle politiche e della normativa ambientale
- gli obiettivi relativi alla pianificazione/programmazione nazionale e regionale

con gli obiettivi settoriali di adattamento associati a ciascuna delle azioni settoriali individuati e riportati nel DB (allegato IV al Piano).

L'analisi comparativa mostra, come prevedibile, una rilevante sinergia e coerenza tra obiettivi ambientali e obiettivi inerenti alla riduzione della vulnerabilità del territorio agli impatti associati ai CC.

Tutti gli obiettivi, per il raggiungimento dei quali è stata individuata un'azione di tipo Soft, Green o Grey presentano, infatti, una correlazione in termini di coerenza e/o sinergia con obiettivi ambientali riferiti alle questioni ambientali pertinenti al PNACC.

Le tabelle seguenti (Tabella 4-1 e Tabella 4-2) riportano i risultati dell'analisi di coerenza.

Tabella 4-1: obiettivi ambientali pertinenti e coerenza con obiettivi riportati nel DB delle azioni settoriali di adattamento

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
Biodiversità		Ecosistemi terrestri	Salvaguardare e migliorare lo stato di conservazione di specie e habitat per gli ecosistemi, terrestri e acquatici	Assicurare entro il 2030: <ul style="list-style-type: none"> - il ripristino di vaste superfici di ecosistemi degradati e ricchi di carbonio; - che le tendenze e lo stato di conservazione degli habitat e delle specie non presentino alcun deterioramento; - che almeno il 30 % degli habitat e delle specie presentino uno stato di conservazione soddisfacente o una tendenza positiva 	Direttiva 92/43/CEE (Habitat) Direttiva 2009/147/CE (Uccelli) Convenzioni internazionali (Bonn, Berna, Barcellona) Strategia Europea per la Biodiversità (COM (2020) 380) SNSvS – OSN I.1	Contrasto alla perdita di biodiversità Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat e aumentare la biodiversità Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie
		Specie aliene	Arrestare la diffusione delle specie esotiche invasive	Ridurre del 50% il numero di specie della lista rossa minacciate dalle specie esotiche invasive	D.lgs. n. 230 del 15/12/2017 SNSvS – OSN I.2 Strategia Europea per la Biodiversità (COM (2020) 380)	Contrasto all'invasione di specie aliene Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie
		Foreste	Garantire la gestione sostenibile delle foreste e combatterne l'abbandono e il degrado	Entro il 2020, promuovere una gestione sostenibile di tutti i tipi di foreste, arrestare la deforestazione, ripristinare le	Regolamento (UE) 1305/2013	Aumentare la resilienza a fattori di disturbo quali incendi, insetti e malattie per proteggere la biodiversità e

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
			Efficienza nell'impiego delle risorse forestali per uno sviluppo sostenibile delle economie nelle aree rurali, interne e urbane del Paese	foreste degradate e aumentare ovunque, in modo significativo, la riforestazione e il rimboschimento	Nuova strategia dell'UE per le foreste per il 2030 COM (2021) 572 SNSvS – OSN II.7 Strategia Forestale Nazionale (Gazzetta Serie Generale n.33 del 09-02-2022)	mantenere la produttività forestale Aumentare la resilienza nel settore forestale e il mantenimento dei servizi ecosistemici promuovendo la pianificazione e la gestione forestale sostenibile Favorire e sostenere le soluzioni basate sui servizi ecosistemici Promuovere l'uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali attraverso l'adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture Tutelare e conservare la biodiversità e aumentare la resilienza nel settore forestale Promuovere la pianificazione forestale, anche in ottica di prevenzione e gestione dei rischi, e la semplificazione e armonizzazione della

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
						normativa e programmazione in ambito forestale
		Aree naturali protette	Aumentare la superficie protetta terrestre e marina e assicurare l'efficacia della gestione	<p>Proteggere legalmente almeno il 30% della superficie terrestre dell'UE e il 30% dei suoi mari e integrare i corridoi ecologici in una vera e propria rete naturalistica transeuropea</p> <p>Proteggere rigorosamente almeno un terzo delle zone protette dell'UE, comprese tutte le foreste primarie e antiche ancora esistenti sul suo territorio</p>	<p>Strategia Europea per la Biodiversità verso il 2030 (COM (2020) 380)</p> <p>Direttiva 92/43/CEE (Habitat)</p> <p>SNSvS – OSN I.3</p>	Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie
Ambiente marino-costiero		Ecosistemi marino-costieri e di transizione	<p>Mantenere la vitalità dei mari e prevenire gli impatti sull'ambiente marino e costiero</p> <p>Garantire l'utilizzo sostenibile delle risorse naturali, e in particolare delle risorse idriche</p> <p>Prevenire e/o ridurre gli effetti dei rischi naturali e in particolare dei cambiamenti climatici,</p>	<p>Entro il 2025, prevenire e ridurre in modo significativo ogni forma di inquinamento marino, in particolar modo quello derivante da attività esercitate sulla terraferma, compreso l'inquinamento dei detriti marini e delle sostanze nutritive</p> <p>Entro il 2020, gestire in modo sostenibile e proteggere l'ecosistema marino e costiero per evitare impatti</p>	<p>Direttiva 2008/56/CE (Strategia Marina)</p> <p>SNSvS - OSN II.1</p> <p>Protocollo della Convenzione di Barcellona sulla gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo (Integrated Coastal Zone Management – ICZM)</p>	<p>Conservazione e protezione degli ambienti marini naturali per il mantenimento di alti livelli di funzionalità e produzione di beni e servizi ecosistemici</p> <p>Contrasto alla perdita di biodiversità e all'invasione di specie aliene</p> <p>Promozione delle pratiche di gestione sostenibile degli ecosistemi marini</p>

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
			<p>che possono essere provocati da attività naturali o umane</p>	<p>particolarmente negativi, anche rafforzando la loro resilienza, e agire per il loro ripristino in modo da ottenere oceani salubri e produttivi</p> <p>Conseguire o mantenere un buono stato ecologico dell'ambiente marino-costiero entro il 2020</p>	<p>Direttiva 2000/60/CE</p> <p>Direttiva Habitat 92/43/CE</p>	<p>Riduzione degli impatti antropici diretti</p> <p>Ridurre il degrado delle strutture coralline, habitat marini e ridurre l'energia delle onde che raggiungono il litorale</p> <p>Ridurre gli impatti attraverso infrastrutture verdi, che non compromettano l'immagine di destinazione</p> <p>Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi and habitat, aumentare la biodiversità</p> <p>Ripristinare le condizioni ottimali degli ambienti di transizione e ricreare le condizioni di rifugio e trofia per la macrofauna bentonica ed ittica con incremento delle specie di interesse conservazionistico ma anche con rilancio della pesca</p>

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
						<p>tradizionale delle specie residenti o in transito</p> <p>Monitorare l'apporto di nutrienti e di solidi sospesi negli ambienti di transizione per programmare interventi a monte o a valle dei corsi d'acqua che confluiscono nei sistemi di transizione</p>
		Erosione costiera	<p>Prevenire gli impatti dell'erosione costiera attraverso nuove opere, comprese le opere marittime e gli interventi di difesa costiera, la gestione integrata delle attività e l'adozione di misure specifiche per i sedimenti costieri e le opere costiere e la condivisione dei dati scientifici atti a migliorare le conoscenze sullo stato, l'evoluzione e gli impatti dell'erosione costiera</p>		<p>Convenzione di Barcellona – Protocollo GIZC (2008)</p> <p>Direttiva 2007/60/CE</p>	<p>Proteggere strutturalmente la costa dall'azione di innalzamento del mare, erosione e da eventi di mareggiata</p> <p>Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa</p> <p>Ridurre esposizione e vulnerabilità delle comunità costiere agli eventi di mareggiata</p> <p>Ridurre il degrado delle strutture coralline, habitat</p>

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
						marini e ridurre l'energia delle onde che raggiungono il litorale
		Qualità delle acque marino-costiere e di transizione	Prevenire e ridurre in modo significativo l'inquinamento marino di tutti i tipi, in particolare quello proveniente dalle attività terrestri, compresi i rifiuti marini e l'inquinamento delle acque da parte dei nutrienti		<p>Agenda 2030 (Obiettivo 14)</p> <p>Direttiva 2008/56/CE (Strategia Marina)</p> <p>Direttiva 2000/60/CEE (Acque)</p>	<p>Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti</p> <p>Ridurre le possibilità di contaminazione da liquami e reflui urbani</p>
Suolo e territorio		Uso e copertura del suolo	Arrestare il consumo del suolo e combattere la desertificazione	<p>Azzeramento del consumo di suolo netto entro il 2030</p> <p>Assicurare che il consumo di suolo non superi la crescita demografica</p>	<p>Agenda 2030 (Obiettivo 15)</p> <p>Strategia Europea per il suolo per il 2030</p> <p>COM (2006)231</p> <p>SNSvS - OSN II.2</p>	<p>Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (incremento della permeabilità dei suoli e dell'efficienza del sistema idraulico)</p> <p>Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e habitat, aumentare la biodiversità</p>
		Degrado del suolo	Arrestare il consumo del suolo e combattere la desertificazione	Entro il 2030, combattere la desertificazione, ripristinare le terre degradate, comprese quelle colpite da	<p>Strategia Europea per il suolo per il 2030</p> <p>SNSvS - OSN II.2</p>	Raggiungere la Land Degradation Neutrality

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
			<p>Inquinamento dei suoli riportato a livelli che non siano dannosi per la salute delle persone o per gli ecosistemi</p> <p>Suoli europei sani e più resilienti e che possano continuare a fornire i loro servizi fondamentali (servizi ecosistemici)</p>	desertificazione, siccità e inondazioni, e battersi per ottenere un mondo privo di degrado del suolo		
Dissesto geologico e idraulico		Dissesto e rischio geologico e idraulico	<p>Riduzione potenziali conseguenze negative dovuti agli eventi alluvionali per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente e il patrimonio culturale</p> <p>Prevenire i rischi naturali e antropici e rafforzare le capacità di resilienza di comunità e territori</p>		Direttiva 2007/60/CE SNSvS – OSN III.1	<p>Migliorare il monitoraggio del territorio per la produzione di basi dati aggiornate</p> <p>Migliorare la conoscenza delle criticità geologiche e idrauliche del territorio e dei rischi ad essi associati</p> <p>Migliorare la conoscenza dello stato dei manufatti e delle infrastrutture per aumentarne la resilienza</p> <p>Migliorare la gestione e la manutenzione del territorio</p> <p>Messa in sicurezza del territorio</p>

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
Risorse idriche		Qualità delle acque	Prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati Conseguire il miglioramento dello stato delle acque e adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi	Raggiungere lo stato "buono" per tutte le acque	Direttiva 2000/60/CE D.lgs. n. 152/2006 (Parte terza)	Garantire la funzionalità degli ecosistemi fluviali anche in periodi di magra, la sostenibilità ambientale degli usi delle risorse idriche, la sostenibilità socioeconomica dell'attività ad essi legate Aumentare o modificare la velocità e il volume di deflusso delle acque
		Aspetti quantitativi	Massimizzare l'efficienza idrica e adeguare i prelievi alla scarsità d'acqua	Aumentare considerevolmente entro il 2030 l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua in ogni settore e garantire approvvigionamenti e forniture sostenibili di acqua potabile, per affrontare la carenza idrica e ridurre in modo sostanzioso il numero di persone che ne subisce le conseguenze	SNSvS – OSN II.5	Regolamentare le concessioni e gli usi dell'acqua in un'ottica di gestione ecosistemica Migliorare l'efficienza nell'uso della risorsa Migliorare l'efficienza delle infrastrutture idriche Migliorare l'efficacia della regolamentazione e nella programmazione dell'uso della risorsa Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
						(miglioramento dell'efficienza del sistema di approvvigionamento idrico)
		Salinizzazione			Direttiva 2000/60/CE D.lgs. n. 152/2006 (Parte terza)	Prevenire e mitigare la salinizzazione in aree costiere Migliorare l'efficacia/efficienza delle azioni di monitoraggio
Aria e cambiamenti climatici		Emissioni di inquinanti e gas climalteranti in atmosfera	Minimizzare le emissioni e abbattere le concentrazioni inquinanti in atmosfera	Neutralità climatica entro il 2050 Decarbonizzazione totale al 2050 e riduzione netta delle emissioni di gas serra di almeno il 55% entro il 2030	SNSvS - OSN II.6 SNSvS - OSN IV.1 Quadro Clima-Energia 2030 Strategia per un'economia climaticamente neutra entro il 2050 Green Deal europeo PNRR	Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (miglioramento del confort termico e qualità dell'abitare)
		Qualità dell'aria	Mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove buona, e migliorarla negli altri casi		D. Lgs. 155/2010	Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
						monitoraggio della qualità dell'aria
		Efficienza e sicurezza energetica	Incrementare l'efficienza energetica e la produzione di energia da fonte rinnovabile evitando o riducendo gli impatti sui beni culturali e il paesaggio		SEN 2017 - Strategia energetica nazionale D. L. 63/2013	Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione
Popolazione e Salute umana		Esposizione della popolazione a fattori di rischio ambientale (inquinamento atmosferico, rischio idraulico e geomorfologico)	Diminuire l'esposizione della popolazione ai fattori di rischio ambientale ed antropico Proteggere la salute umana da eventuali pericoli derivanti dalla scarsa qualità delle acque di balneazione	Entro il 2030, ridurre sostanzialmente il numero di decessi e malattie da sostanze chimiche pericolose e da contaminazione e inquinamento dell'aria, delle acque e del suolo	SNSvS – OSN III.1 COM (2013) 216 Direttiva 2006/7/CE D.M. 30 marzo 2010	Sviluppare sistemi informatici di monitoraggio su eventi estremi e impatti sulla salute Sviluppare sistemi informativi e di monitoraggio relative alle isole di calore urbano Procedure di valutazione del rischio e potenziamento della

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
						<p>resilienza dei servizi idrici integrati</p> <p>Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti</p> <p>Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria</p> <p>Prevenire rischi per la salute dei turisti dovuti ad eventi estremi o ad altre situazioni negative che possono compromettere la destinazione turistica</p>
Paesaggio e beni culturali		Qualità, sensibilità e vulnerabilità del paesaggio e dei beni culturali	Assicurare lo sviluppo del potenziale, la gestione sostenibile e la custodia dei territori, dei paesaggi e del patrimonio culturale	Destinare almeno il 10% delle superfici agricole ad elementi caratteristici del paesaggio con elevata diversità	<p>Strategia Europea per la Biodiversità (COM (2020) 380</p> <p>Convenzione europea sul paesaggio</p> <p>SNSvS – OSN III.5</p>	Valutare la perdita irreversibile di manufatti culturali e del paesaggio naturale
		Degrado dei beni culturali	Potenziare gli sforzi per proteggere e		D. Lgs. 42/2004	Contrastare il degrado dei materiali e delle strutture

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
			salvaguardare il patrimonio culturale e naturale del mondo		Agenda 2030	
Agricoltura		Patrimonio agricolo e zootecnico	<p>Proteggere e ripristinare le risorse genetiche e gli ecosistemi naturali connessi ad agricoltura, silvicoltura e acquacoltura</p> <p>Garantire la sostenibilità di agricoltura e silvicoltura lungo l'intera filiera</p>	<p>Entro il 2030, garantire sistemi di produzione alimentare sostenibili e implementare pratiche agricole resilienti che aumentino la produttività e la produzione, che aiutino a proteggere gli ecosistemi, che rafforzino la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici, a condizioni meteorologiche estreme, siccità, inondazioni e altri disastri e che migliorino progressivamente la qualità del suolo</p> <p>Ridurre del 50% le vendite di antimicrobici per gli animali da allevamento e per l'acquacoltura entro il 2030</p> <p>Destinare almeno il 25% della superficie agricola all'agricoltura biologica entro il 2030</p>	<p>SNSvS – OSN I.4</p> <p>SNSvS – OSN III.7</p> <p>Strategia Farm to Fork</p>	<p>Promuovere la selezione di genotipi resilienti e resistenti ai cambiamenti climatici e salvaguardia delle razze locali con caratteristiche di resilienza ai cambiamenti climatici</p> <p>Promuovere il benessere animale</p>
				<p>Implementazione di pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente</p> <p>Migliorare l'efficienza aziendale e aumentare l'integrazione territoriale delle imprese agricole</p> <p>Promuovere l'uso di strumenti e investimenti per la prevenzione e gestione del rischio in agricoltura</p>		
Pesca e acquacoltura		Acquacoltura	Proteggere e ripristinare le risorse genetiche e gli ecosistemi naturali connessi ad agricoltura,		<p>SNSvS - OSN I.4</p> <p>Regolamento (UE) 508/2014</p>	Miglioramento della gestione delle risorse idriche per l'acquacoltura in acque interne

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
			<p>silvicoltura e acquacoltura</p> <p>Garantire la sostenibilità di acquacoltura e pesca lungo l'intera filiera</p>		FEAMPA 2021-2027	<p>Aumento della resilienza attraverso la pianificazione dei siti e degli impianti di acquacoltura e dei sistemi di allevamenti</p> <p>Riduzione della vulnerabilità delle produzioni, del mercato e del commercio dei prodotti d'acquacoltura</p> <p>Sviluppo di una rete di monitoraggio degli impatti e dell'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici</p>
		Pesca	Promuovere la pesca sostenibile, il ripristino e la conservazione delle risorse biologiche acquatiche		FEAMPA 2021-2027	<p>Contribuire a rimodulare e ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock</p> <p>Riduzione dello sfruttamento di popolazioni marine oggetto di pesca</p>
Turismo		Turismo	Promuovere la domanda e accrescere l'offerta di turismo sostenibile	Concepire e implementare entro il 2030 politiche per favorire un turismo sostenibile che crei lavoro e promuova la cultura e i prodotti locali	SNSvS – OSN III.6	<p>Gestione temporanea della risorsa turistica in vista di un adattamento di lungo periodo</p> <p>Prevenire rischi per la salute dei turisti dovuti ad eventi</p>

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Target da politiche-normative	Riferimenti normativi e programmatici	Obiettivi DB azioni settoriali
						estremi o ad altre situazioni negative che possono compromettere la destinazione turistica Ridurre gli impatti attraverso infrastrutture verdi, che non compromettano l'immagine di destinazione

Tabella 4-2 : Coerenza tra gli obiettivi degli strumenti di pianificazione nazionali interregionali e regionali pertinenti e gli obiettivi specifici del DB delle azioni settoriali di adattamento

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
PNRR - Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza	<ul style="list-style-type: none"> - Progressiva decarbonizzazione di tutti i settori; - Incremento della quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili; - Potenziamento del riciclo dei rifiuti; - Efficientamento degli edifici privati e pubblici; - Riduzione delle perdite di acqua potabile sulle reti idriche; - Sviluppo della ricerca e del sostegno dell'uso dell'idrogeno nell'industria e nei trasporti; - Difesa della biodiversità e rafforzamento della gestione delle risorse naturali, a partire da quelle idriche. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat, aumentare la biodiversità - Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative - Migliorare l'efficienza delle infrastrutture idriche
PTE - Piano Nazionale di Transizione Ecologica	<ul style="list-style-type: none"> - Neutralità climatica; - Azzeramento dell'inquinamento; - Adattamento ai cambiamenti climatici; - Ripristino della biodiversità e degli ecosistemi; - Transizione verso l'economia circolare e la bioeconomia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat, aumentare la biodiversità - Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie - Raggiungere la Land Degradation Neutrality - Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria
PNIEC - Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima	<ul style="list-style-type: none"> - Decarbonizzazione, attraverso la riduzione di emissione di gas serra e sviluppo delle rinnovabili; - Efficienza energetica, attraverso una progressiva riduzione finale dei consumi; - Sicurezza dell'approvvigionamento energetico, incrementando le fonti rinnovabili e l'efficienza energetica e diversificando le fonti di approvvigionamento; - Sviluppo del mercato interno dell'energia, ovvero intervenire su interconnettività elettrica, infrastruttura di trasmissione, integrazione del mercato, povertà energetica; - Ricerca, innovazione e competitività, migliorando la capacità del sistema della ricerca di presidiare e sviluppare le tecnologie di prodotto e di processo essenziali per la transizione energetica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative - Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica - Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento - Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
PdS - Piano di Sviluppo della Rete elettrica di Trasmissione Nazionale	<ul style="list-style-type: none"> - Il potenziamento delle interconnessioni con l'estero per aumentare la capacità di scambio con i Paesi confinanti; - Il rafforzamento degli scambi tra zone di mercato per una maggiore integrazione delle fonti energetiche rinnovabili (FER); - La risoluzione delle criticità e la maggiore elettrificazione delle aree metropolitane - La gestione integrata della sicurezza della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN); - Il controllo sempre più capillare della rete; - Le sinergie con gli altri sistemi (gas, ferrovie e telecomunicazioni) per l'integrazione delle reti con un minore impatto sul territorio; - La definizione di una nuova metodologia per individuare e valutare interventi che aumentino la resilienza della rete. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative - Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica - Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento - Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione
PNSMS - Piano Nazionale Strategico per la Mobilità Sostenibile	<ul style="list-style-type: none"> - Migliorare qualitativamente e rapidamente il parco veicoli, attraverso la sostituzione dei veicoli maggiormente inquinanti ed energivori, facendo in modo di soddisfare al meglio le esigenze di spostamento della collettività; - Migliorare la qualità dell'aria e ridurre le emissioni climalteranti ed il particolato, tenendo conto anche di quanto definito nella normativa europea, assumendo benchmark di riferimento che considerino anche la situazione di altri paesi; - Sostenere una coerente politica di infrastrutturazione, dei centri di stoccaggio gas e di ricarica elettrica, soprattutto nei primi anni di applicazione del piano, al fine di permettere una maggiore diffusione degli autobus a energia alternativa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Migliorare l'efficacia dei sistemi di monitoraggio, allerta e intervento in caso di emergenze ai servizi di trasporto - Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative - Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria - Messa in sicurezza del territorio
Piano Nazionale degli interventi sul settore idrico - sezione acquedotti (primo stralcio)	<ul style="list-style-type: none"> - Migliorare la qualità dell'acqua riducendo l'inquinamento, eliminando le pratiche di scarico non controllato; - Aumentare l'efficienza idrica da utilizzare in tutti i settori; - Proteggere e ripristinare gli ecosistemi legati all'acqua, tra cui montagne, foreste, zone umide, fiumi, falde acquifere e laghi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti - Ridurre le possibilità di contaminazione da liquami e reflui urbani - Garantire la funzionalità degli ecosistemi fluviali anche in periodi di magra, la sostenibilità ambientale degli usi delle risorse idriche, la sostenibilità socioeconomica dell'attività ad essi legate

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
		<ul style="list-style-type: none"> - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat, aumentare la biodiversità
<p>Piano Nazionale per la mitigazione del rischio idrogeologico, il ripristino e la tutela della risorsa ambientale</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Regolamentazione della manutenzione idraulica dei bacini e sottobacini idrografici; - Snellimento di procedure per la realizzazione di interventi di contrasto al dissesto idrogeologico e la competenza di interventi in tale ambito; - Norme per la interoperabilità e la razionalizzazione dei sistemi informativi in materia di mitigazione del dissesto idrogeologico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Migliorare il monitoraggio del territorio per la produzione di basi dati aggiornate - Migliorare la conoscenza delle criticità geologiche e idrauliche del territorio e dei rischi ad essi associati - Migliorare la conoscenza dello stato dei manufatti e delle infrastrutture per aumentarne la resilienza - Migliorare la gestione e la manutenzione del territorio - Messa in sicurezza del territorio
<p>PSRN - Programma di Sviluppo Rurale Nazionale</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Promuovere l'offerta e l'uso di strumenti di gestione del rischio in agricoltura; - Migliorare l'uso efficiente della risorsa idrica attraverso l'infrastrutturazione irrigua; - Promuovere il miglioramento genetico del patrimonio zootecnico e la biodiversità animale; - Promuovere l'adattamento climatico, la prevenzione e la gestione dei rischi; - Preservare e tutelare l'ambiente e promuovere l'uso efficiente delle risorse; - Promuovere la competitività delle PMI, del settore agricolo e del settore della pesca e dell'acquacoltura; - Miglioramento delle performance generali degli allevamenti italiani, del benessere degli animali; - Contenimento dell'impatto ambientale degli allevamenti zootecnici; - Creazione a livello nazionale di un nuovo modello organizzativo; - Nuovo orientamento delle attività svolte dalle associazioni nazionali allevatori (ANA). 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat, aumentare la biodiversità - Promuovere la selezione di genotipi resilienti e resistenti ai cambiamenti climatici e salvaguardia delle razze locali con caratteristiche di resilienza ai cambiamenti climatici - Promuovere il benessere animale - Implementazione di pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente - Migliorare l'efficienza aziendale e aumentare l'integrazione territoriale delle imprese agricole - Promuovere l'uso di strumenti e investimenti per la prevenzione e gestione del rischio in agricoltura

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
<p>PSP - Piano Strategico Nazionale della Politica Agricola Comune 2023-2027</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sostenere un reddito agricolo sufficiente e la resilienza del settore agricolo in tutta l'UE al fine di rafforzare la sicurezza alimentare a lungo termine, e la diversità agricola, nonché garantire la sostenibilità economica della produzione agricola (OS1); - Migliorare l'orientamento al mercato e aumentare la competitività dell'azienda agricola nel breve e nel lungo periodo, anche attraverso una maggiore attenzione alla ricerca, alla tecnologia e alla digitalizzazione (OS2); - Migliorare la posizione degli agricoltori nella catena di valore (OS3); - 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 (OS4); - Favorire lo sviluppo sostenibile e un'efficiente gestione delle risorse naturali come l'acqua, il suolo e l'aria, anche attraverso la riduzione della dipendenza chimica (OS5); - Contribuire ad arrestare e invertire la perdita di biodiversità, migliorare i servizi ecosistemici e preservare gli habitat e i paesaggi (OS6); - Attirare e sostenere i giovani agricoltori e i nuovi agricoltori e facilitare lo sviluppo imprenditoriale sostenibile nelle zone rurali (OS7); - Promuovere l'occupazione, la crescita, la parità di genere, inclusa la partecipazione delle donne all'agricoltura, l'inclusione sociale e lo sviluppo locale nelle zone rurali, comprese la bioeconomia circolare e la silvicoltura sostenibile (OS8); - Migliorare la risposta dell'agricoltura dell'UE alle esigenze della società in materia di alimentazione e salute, compresi alimenti di alta qualità, sani e nutrienti prodotti in modo sostenibile, ridurre gli sprechi alimentari nonché migliorare il benessere degli animali e contrastare le resistenze antimicrobiche (OS9); - Modernizzare l'agricoltura e le zone rurali promuovendo e condividendo le conoscenze, l'innovazione e la digitalizzazione e incoraggiandone l'applicazione da parte degli agricoltori attraverso 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat, aumentare la biodiversità - Promuovere la selezione di genotipi resilienti e resistenti ai cambiamenti climatici e salvaguardia delle razze locali con caratteristiche di resilienza ai cambiamenti climatici - Promuovere il benessere animale - Implementazione di pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente - Migliorare l'efficienza aziendale e aumentare l'integrazione territoriale delle imprese agricole - Promuovere l'uso di strumenti e investimenti per la prevenzione e gestione del rischio in agricoltura

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
	<p>un migliore accesso alla ricerca, all'innovazione, allo scambio di conoscenze e alla formazione (OS10).</p>	
<p>PAN - Piano di Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ridurre i rischi e gli impatti dei prodotti fitosanitari sulla salute umana, sull'ambiente e sulla biodiversità; - Promuovere l'applicazione dei principi della difesa integrata e di approcci o tecniche alternativi all'uso dei prodotti fitosanitari; - Promuovere e incentivare la produzione integrata, certificata ai sensi della legge n. 4 del 3 febbraio 2011, e l'agricoltura biologica; - Proteggere gli utilizzatori dei prodotti fitosanitari e la popolazione interessata; - Tutelare i consumatori; - Salvaguardare l'ambiente acquatico e le acque potabili; - Conservare la biodiversità e tutelare gli ecosistemi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat, aumentare la biodiversità - Promuovere la selezione di genotipi resilienti e resistenti ai cambiamenti climatici e salvaguardia delle razze locali con caratteristiche di resilienza ai cambiamenti climatici - Implementazione di pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente - Promuovere l'uso di strumenti e investimenti per la prevenzione e gestione del rischio in agricoltura

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
<p>PO FEAMPA - Programma Operativo Nazionale finanziato dal Fondo Europeo per gli Affari Marittimi, la Pesca e l'Acquacoltura 2021-2027</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Promuovere la pesca sostenibile e il ripristino e la conservazione delle risorse biologiche acquatiche; - Promuovere le attività di acquacoltura sostenibile e la trasformazione e la commercializzazione dei prodotti della pesca e dell'acquacoltura, contribuendo alla sicurezza alimentare nell'Unione; - Consentire un'economia blu sostenibile nelle aree costiere, insulari e interne e promuovere lo sviluppo di comunità della pesca e dell'acquacoltura; - Rafforzare la governance internazionale degli oceani e consentire mari e oceani sicuri, protetti, puliti e gestiti in modo sostenibile. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat, aumentare la biodiversità - Miglioramento della gestione delle risorse idriche per l'acquacoltura in acque interne - Aumento della resilienza attraverso la pianificazione dei siti e degli impianti di acquacoltura e dei sistemi di allevamenti - Riduzione della vulnerabilità delle produzioni, del mercato e del commercio dei prodotti d'acquacoltura - Sviluppo di una rete di monitoraggio degli impatti e dell'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici - Contribuire a rimodulare e ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock - Riduzione dello sfruttamento di popolazioni marine oggetto di pesca
<p>Programma nazionale triennale della pesca e dell'acquacoltura 2022-2024</p>	<p>Sviluppo sostenibile della pesca mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'adeguamento del settore ittico italiano al rispetto integrale della normativa UE; - il perseguimento dell'equilibrio tra sforzo e opportunità di pesca per il raggiungimento del MSY; - il raggiungimento della sostenibilità ambientale, economica e sociale del settore. <p>Sviluppo sostenibile dell'acquacoltura al fine di garantire:</p> <ul style="list-style-type: none"> - un settore dell'acquacoltura che sia competitivo e resiliente attraverso la promozione del dialogo sociale e la partecipazione degli stakeholders al processo decisionale con la centralità del sistema associativo e sindacale nazionale; - la creazione di strumenti per favorire la competitività delle imprese; - l'intensificazione delle attività di ricerca scientifica; - la promozione del settore e la sensibilizzazione dell'opinione pubblica sulla sostenibilità delle attività di pesca e acquacoltura; - la salubrità dei prodotti ittici. 	<ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento della gestione delle risorse idriche per l'acquacoltura in acque interne - Aumento della resilienza attraverso la pianificazione dei siti e degli impianti di acquacoltura e dei sistemi di allevamenti - Riduzione della vulnerabilità delle produzioni, del mercato e del commercio dei prodotti d'acquacoltura - Sviluppo di una rete di monitoraggio degli impatti e dell'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici - Contribuire a rimodulare e ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock - Riduzione dello sfruttamento di popolazioni marine oggetto di pesca

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
PNSA - Piano Strategico Acquacoltura 2021-2027	<ul style="list-style-type: none"> - Rafforzare la capacità istituzionale e semplificare le procedure amministrative; - Assicurare lo sviluppo e la crescita sostenibile dell'acquacoltura attraverso la pianificazione coordinata dello spazio e l'aumento del potenziale dei siti; - Promuovere la competitività dell'acquacoltura; - Promuovere condizioni di equa concorrenza per gli operatori e miglioramento dell'organizzazione di mercato dei prodotti dell'acquacoltura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento della gestione delle risorse idriche per l'acquacoltura in acque interne - Aumento della resilienza attraverso la pianificazione dei siti e degli impianti di acquacoltura e dei sistemi di allevamenti - Riduzione della vulnerabilità delle produzioni, del mercato e del commercio dei prodotti d'acquacoltura - Sviluppo di una rete di monitoraggio degli impatti e dell'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici
PNCIA - Programma Nazionale Controllo Inquinamento Atmosferico	<ul style="list-style-type: none"> - Ridurre le emissioni nazionali annue di origine antropica degli inquinanti biossido di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici, ammoniaca e materiale particolato PM2,5 per rispettare specifici obiettivi di riduzione entro il 2020 ed il 2030, assicurando il raggiungimento di livelli intermedi entro il 2025; - Attivare il monitoraggio delle emissioni di una serie di sostanze per cui non sono previsti obblighi di riduzione; - Ottenere, con un sistema di monitoraggio, dati relativi agli impatti dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria - Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti - Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (miglioramento del confort termico e qualità dell'abitare)
PEAR - Piani Energetici Ambientali Regionali	<ul style="list-style-type: none"> - Riduzione dei consumi energetici da fonte fossile; - Riduzione dei consumi finali di energia; - Incremento della produzione elettrica da fonti rinnovabili (incremento della quota di energia rinnovabile sui consumi finali lordi); - Incremento delle fonti di energia rinnovabile termica; - Reti e generazione distribuita. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative - Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica - Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento - Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione
PFR- Piani Forestali Regionali	<ul style="list-style-type: none"> - Favorire la gestione sostenibile e il ruolo multifunzionale delle foreste; - Migliorare l'impiego delle risorse per lo sviluppo sostenibile delle economie forestali, dei sistemi delle aree rurali, interne e urbane del Paese; - Sviluppare una conoscenza e responsabilità globale delle foreste. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat e aumentare la biodiversità - Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie - Aumentare la resilienza a fattori di disturbo quali incendi, insetti e malattie per proteggere la biodiversità e mantenere la produttività forestale

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
		<ul style="list-style-type: none"> - Aumentare la resilienza nel settore forestale e il mantenimento dei servizi ecosistemici promuovendo la pianificazione e la gestione forestale sostenibile - Favorire e sostenere le soluzioni basate sui servizi ecosistemici - Promuovere l'uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali attraverso l'adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture - Tutelare e conservare la biodiversità e aumentare la resilienza nel settore forestale - Promuovere la pianificazione forestale, anche in ottica di prevenzione e gestione dei rischi, e la semplificazione e armonizzazione della normativa e programmazione in ambito forestale
Piani e regolamenti dei parchi	<ul style="list-style-type: none"> - Gestione del territorio del Parco - Tutela dei valori naturali, ambientali, storici, culturali, antropologici del territorio protetto, attraverso la disciplina delle attività consentite entro i suoi confini. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrasto alla perdita di biodiversità - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat e aumentare la biodiversità - Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie - Aumentare la resilienza a fattori di disturbo quali incendi, insetti e malattie per proteggere la biodiversità e mantenere la produttività forestale - Aumentare la resilienza nel settore forestale e il mantenimento dei servizi ecosistemici promuovendo la pianificazione e la gestione forestale sostenibile - Favorire e sostenere le soluzioni basate sui servizi ecosistemici - Promuovere l'uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali attraverso l'adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture - Tutelare e conservare la biodiversità e aumentare la resilienza nel settore forestale - Promuovere la pianificazione forestale, anche in ottica di prevenzione e gestione dei rischi, e la semplificazione e

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
		armonizzazione della normativa e programmazione in ambito forestale
Piani Regionali di Gestione delle Coste	<ul style="list-style-type: none"> - Agevolare lo sviluppo sostenibile delle zone costiere attraverso una pianificazione razionale delle attività, in modo da conciliare lo sviluppo economico, sociale e culturale con il rispetto dell'ambiente e dei paesaggi; - Preservare le zone costiere a vantaggio delle generazioni presenti e future; - Garantire l'utilizzo sostenibile delle risorse naturali, e in particolare delle risorse idriche; - Assicurare la conservazione dell'integrità degli ecosistemi, dei paesaggi e della geomorfologia del litorale; - Prevenire e/o ridurre gli effetti dei rischi naturali e in particolare dei cambiamenti climatici, che possono essere provocati da attività naturali o umane; - Conseguire la coerenza tra iniziative pubbliche e private e tra tutte le decisioni adottate da pubbliche autorità, a livello nazionale, regionale e locale, che hanno effetti sull'utilizzo delle zone costiere. 	<ul style="list-style-type: none"> - Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat e aumentare la biodiversità - Conservazione e protezione degli ambienti marini naturali per il mantenimento di alti livelli di funzionalità e produzione di beni e servizi ecosistemici - Promozione delle pratiche di gestione sostenibile degli ecosistemi marini - Riduzione degli impatti antropici diretti - Ridurre il degrado delle strutture coralline, habitat marini e ridurre l'energia delle onde che raggiungono il litorale - Ridurre gli impatti attraverso infrastrutture verdi, che non compromettano l'immagine di destinazione - Proteggere strutturalmente la costa dall'azione di innalzamento del mare, erosione e da eventi di mareggiata - Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa - Ridurre esposizione e vulnerabilità delle comunità costiere agli eventi di mareggiata
PAI - Piani stralcio di distretto per l'Assetto Idrogeologico	<ul style="list-style-type: none"> - Individuazione delle aree a rischio idrogeologico; - Perimetrazione delle aree da sottoporre a misure di salvaguardia; - Determinazione delle misure. 	<ul style="list-style-type: none"> - Migliorare il monitoraggio del territorio per la produzione di basi dati aggiornate - Migliorare la conoscenza delle criticità geologiche e idrauliche del territorio e dei rischi ad essi associati - Migliorare la conoscenza dello stato dei manufatti e delle infrastrutture per aumentarne la resilienza - Migliorare la gestione e la manutenzione del territorio - Messa in sicurezza del territorio

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
PGRA - Piani di Gestione del Rischio Alluvioni	<ul style="list-style-type: none"> - Definizione degli obiettivi di gestione del rischio di alluvioni per le zone ove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni o si ritenga che questo si possa generare in futuro, - Riduzione delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, attraverso l'attuazione prioritaria di interventi non strutturali e di azioni per la riduzione della pericolosità 	<ul style="list-style-type: none"> - Migliorare il monitoraggio del territorio per la produzione di basi dati aggiornate - Migliorare la conoscenza delle criticità geologiche e idrauliche del territorio e dei rischi ad essi associati - Migliorare la gestione e la manutenzione del territorio - Messa in sicurezza del territorio - Sviluppare sistemi informatici di monitoraggio su eventi estremi e impatti sulla salute
Piani di Gestione Acque	<ul style="list-style-type: none"> - Tutela e protezione delle risorse idriche attraverso la ricognizione delle caratteristiche di partenza del distretto e di pianificazione/programmazione delle misure da assumere per il mantenimento del “buono” stato - Risanamento delle situazioni compromesse, ai fini del rispetto dell’obiettivo di qualità ambientale di ciascun corpo idrico e di condizioni sostenibili di utilizzo della risorsa 	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti - Ridurre le possibilità di contaminazione da liquami e reflui urbani - Garantire la funzionalità degli ecosistemi fluviali anche in periodi di magra, la sostenibilità ambientale degli usi delle risorse idriche, la sostenibilità socioeconomica dell’attività ad essi legate - Aumentare o modificare la velocità e il volume di deflusso delle acque - Ripristinare le condizioni ottimali degli ambienti di transizione e ricreare le condizioni di rifugio e trofia per la macrofauna bentonica ed ittica con incremento delle specie di interesse conservazionistico ma anche con rilancio della pesca tradizionale delle specie residenti o in transito - Monitorare l'apporto di nutrienti e di solidi sospesi negli ambienti di transizione per programmare interventi a monte o a valle dei corsi d'acqua che confluiscono nei sistemi di transizione - Prevenire e mitigare la salinizzazione in aree costiere
Piani Regionali di Tutela delle Acque	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimento o riequilibrio del bilancio idrico tra disponibilità e prelievi, indispensabile per definire gli usi compatibili delle risorse idriche al fine della loro salvaguardia nel futuro; - Stima delle caratteristiche di qualità dei corpi idrici attraverso l'intensificazione del monitoraggio e la conseguente definizione degli interventi per il conseguimento degli obiettivi di qualità. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti - Ridurre le possibilità di contaminazione da liquami e reflui urbani - Garantire la funzionalità degli ecosistemi fluviali anche in periodi di magra, la sostenibilità ambientale degli usi delle

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
		<p>risorse idriche, la sostenibilità socioeconomica dell'attività ad essi legate</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumentare o modificare la velocità e il volume di deflusso delle acque - Regolamentare le concessioni e gli usi dell'acqua in un'ottica di gestione ecosistemica - Migliorare l'efficienza nell'uso della risorsa - Migliorare l'efficienza delle infrastrutture idriche - Migliorare l'efficacia della regolamentazione e nella programmazione dell'uso della risorsa - Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (miglioramento dell'efficienza del sistema di approvvigionamento idrico) - Procedure di valutazione del rischio e potenziamento della resilienza dei servizi idrici integrati - Ripristinare le condizioni ottimali degli ambienti di transizione e ricreare le condizioni di rifugio e trofia per la macrofauna bentonica ed ittica con incremento delle specie di interesse conservazionistico ma anche con rilancio della pesca tradizionale delle specie residenti o in transito - Monitorare l'apporto di nutrienti e di solidi sospesi negli ambienti di transizione per programmare interventi a monte o a valle dei corsi d'acqua che confluiscono nei sistemi di transizione - Prevenire e mitigare la salinizzazione in aree costiere

Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti	Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti	Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali
Piani regionali/Piani paesaggistici territoriali regionali a valenza paesaggistica	<ul style="list-style-type: none"> - Analisi delle dinamiche di trasformazione del territorio ai fini dell'individuazione dei fattori di rischio e degli elementi di vulnerabilità del paesaggio (art. 143, comma 1, lettera f); - Individuazione degli interventi di recupero e riqualificazione delle aree significativamente compromesse (lettera g); - Determinazione, per le tre categorie di beni paesaggistici ex art. 136, art. 142 e art. 13, della specifica normativa d'uso; - Individuazione delle misure necessarie al corretto inserimento, nel contesto paesaggistico, degli interventi di trasformazione del territorio, al fine di realizzare uno sviluppo sostenibile delle aree interessate (art. 143 lett. h). 	<ul style="list-style-type: none"> - Valutare la perdita irreversibile di manufatti culturali e del paesaggio naturale - Contrastare il degrado dei materiali e delle strutture
Piani di gestione dei Siti UNESCO	<ul style="list-style-type: none"> - Assicurare un elevato livello di protezione dei beni eccellenti che costituiscono un sito UNESCO; - Contribuire allo sviluppo locale sostenibile garantendo l'identificazione, la tutela, la conservazione, la valorizzazione e trasmissione alle future generazioni del sito UNESCO. 	<ul style="list-style-type: none"> - Valutare la perdita irreversibile di manufatti culturali e del paesaggio naturale - Contrastare il degrado dei materiali e delle strutture
Piani Territoriali Regionali di Coordinamento	<ul style="list-style-type: none"> - Contenimento del consumo di suolo; - Applicazione dei principi dell'urbanistica sostenibile attraverso sistemi di incentivi, ed obblighi; - Creazione di un modello di mobilità a minore impatto, attraverso il rafforzamento della rete del ferro e la polarizzazione delle funzioni direzionali e terziarie; - Ricerca della massima mixità funzionale nei luoghi dell'abitare; - Ricerca di una mixità sociale; - Ricerca della centralità dello spazio pubblico e della qualità architettonica degli interventi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (incremento della permeabilità dei suoli e dell'efficienza del sistema idraulico) - Raggiungere la Land Degradation Neutrality
Piani Regionali Qualità dell'Aria	<ul style="list-style-type: none"> - Raggiungimento dei valori limite e dei livelli critici, per il perseguimento dei valori obiettivo e per il mantenimento del relativo rispetto; 	<ul style="list-style-type: none"> - Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria

<i>Piani/programmi nazionali interregionali e regionali pertinenti</i>	<i>Obiettivi dei Piani e Programmi pertinenti</i>	<i>Obiettivi specifici PNACC – DB azioni settoriali</i>
	<ul style="list-style-type: none">- Riduzione del rischio di superamento dei valori limite, dei valori obiettivo e delle soglie di allarme;- Gestione della qualità dell'aria ambiente in relazione all'ozono.	<ul style="list-style-type: none">- Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti- Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (miglioramento del confort termico e qualità dell'abitare)

5 Effetti ambientali del PNACC

Elementi di piano per l'analisi degli effetti ambientali

Il PNACC rappresenta lo 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, fornendo in tal senso il proprio contributo allo sviluppo sostenibile e all'obiettivo di contenimento dell'innalzamento della temperatura media globale.

Il PNACC, pertanto, già per sua natura, in termini di obiettivi si pone in coerenza con la finalità del processo di VAS, di *“garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente e contribuire all'integrazione di considerazioni ambientali all'atto dell'elaborazione, dell'adozione e approvazione di piani e programmi assicurando che siano coerenti e contribuiscano alle condizioni per uno sviluppo sostenibile”* (D. Lgs. 152/06).

L'adattamento ai cambiamenti climatici è una tematica caratterizzata da una forte inter-settorialità e multi-settorialità di azione, dal momento che i cambiamenti climatici hanno effetti su gran parte dei sistemi naturali, sull'uomo e sui settori socio-economici.

Gli effetti ambientali del PNACC interessano pertanto tutti i fattori ambientali richiamati all'allegato VI del D. Lgs. 152/06. Tra le informazioni da fornire con il Rapporto Ambientale, l'allegato VI prevede l'individuazione e l'analisi dei:

- *possibili impatti significativi sull'ambiente considerando tra gli altri gli impatti cumulativi, sinergici, positivi e negativi* (lett. f);
- *misure previste per impedire, ridurre e compensare nel modo più completo possibile gli eventuali impatti negativi significativi sull'ambiente dell'attuazione del piano o del programma* (lett. g)

Gli effetti ambientali del PNACC sono principalmente di tipo indiretto, poiché il Piano è finalizzato a definire indirizzi e promuovere azioni che trovano attuazione attraverso l'azione dei piani settoriali e intersettoriali ai diversi livelli di governo che ad esso si devono raccordare..

Al riguardo il PNACC individua 4 azioni soft finalizzate al rafforzamento amministrativo e tecnico per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Le suddette azioni, riportate al paragrafo 4.1 del Piano, rientrano nell'ambito delle categorie governance e informazione.

In particolare, per le azioni relative all'*“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 n. 2) e alla *“Definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali di attuazione delle misure del PNACC ai diversi livelli di governo”* gli effetti si manifestano indirettamente attraverso l'azione dei piani settoriali e intersettoriali ai diversi livelli territoriali.

L'attività di adattamento, che sarà condotta in sede di pianificazione e legislazione a livello regionale e locale, genererà in termini generali impatti positivi, limitando la vulnerabilità del territorio e promuovendo la resilienza dell'intero Paese.

Misure di adattamento settoriali

Il Piano è 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, attraverso il miglioramento e la messa a sistema del quadro conoscitivo, sia allo sviluppo di un contesto organizzativo ottimale, aspetti che sono propedeutici ed indispensabili alla pianificazione e all'attuazione di azioni di adattamento a livello nazionale. Queste ultime sono state individuate e presentate

nel Database delle azioni settoriali del PNACC (allegato IV) e troveranno attuazione attraverso la definizione di modalità e strumenti settoriali e intersettoriali ai diversi livelli di governo.

Le azioni di adattamento settoriali sono suddivise in due tipologie principali: azioni di tipo A (soft) e azioni di tipo B (non soft - green o grey).

La maggior parte delle azioni è di tipo non strutturale (Soft): n. 274 azioni, 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) 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 5-1).

Acronimi dei settori

AC Acquacoltura

AG Agricoltura e produzione alimentare

DI Dissesto geologico, idrologico ed idraulico

DS Desertificazione, degrado del territorio e siccità

EA Ecosistemi e biodiversità di acque Interne e di transizione

EM Ambienti marini: biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici

EN Energia

ET Ecosistemi terrestri

FO Foreste

IP Infrastruttura critica - Industrie e infrastrutture pericolose

IU Insediamenti urbani

PC Infrastruttura critica - Patrimonio culturale

PM Pesca Marittima

RI Risorse idriche

SA Salute

TR Infrastruttura critica - Trasporti

TU Turismo

ZC Zone costiere

Tabella 5-1: 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

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 alle tipologie 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; tuttavia, le seconde 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 infine 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 sistemi di difesa, reti, stoccaggio e trasmissione.

Tra le azioni individuate nella proposta di PNACC sono privilegiate quelle che hanno un ridotto impatto sulle componenti ambientali quali quelle classificate di tipo non-infrastrutturale (soft) o infrastrutturale ecosistemiche (green).

La tipologia di interventi cosiddetti “grey”, poiché rappresentano soluzioni con possibili impatti negativi sugli ecosistemi naturali, possono essere previsti e attivati dalla pianificazione settoriale regionale/locale solo a valle di una attenta valutazione ambientale specifica. Sarà pertanto a tale livello che strumenti quali la VIA e la VAS troveranno opportuna applicazione, andando ad identificare specifiche misure di mitigazione per gli eventuali impatti negativi che si dovessero ravvisare.

Analisi degli effetti ambientali

In considerazione del livello di definizione delle tipologie di azioni/misure settoriali (DB di cui all’allegato IV) e dell’assenza di informazioni relative alla localizzazione, gli effetti ambientali del PNACC sono stati affrontati mediante un’analisi di livello generale, in termini di individuazione delle potenziali ricadute ambientali.

La stima e valutazione degli effetti ambientali più di dettaglio che richiede la conoscenza delle caratteristiche ambientali, territoriali e paesaggistiche delle aree interessate dalle azioni sarà svolta nell’ambito della pianificazione di settore e della progettazione in cui troveranno attuazione le azioni attraverso la definizione puntuale degli interventi.

Eventuali impatti derivanti direttamente dalle azioni di adattamento dei piani locali o settoriali dovranno pertanto essere valutati all’interno delle relative procedure di Valutazione Ambientale Strategica cui essi potranno/dovranno essere sottoposti.

Sulla base di tali considerazioni, è stato condotto un approfondimento sugli effetti ambientali delle misure “grey”, azioni che per la loro natura e a questo livello di analisi consentono l’individuazione di effetti negativi solo potenziali, poiché privi di informazioni sulla localizzazione e sulle caratteristiche ambientali e territoriali delle aree che andranno ad interessate.

Tale impostazione tiene conto, da un lato, del fatto che le azioni soft non richiedono interventi strutturali e materiali diretti, dall’altro che tali azioni sono comunque propedeutiche alla realizzazione delle azioni grey, contribuendo alla creazione di capacità di adattamento attraverso una maggiore conoscenza o lo sviluppo di un contesto organizzativo, istituzionale e legislativo favorevole. Le azioni *soft* precedono, infatti, le azioni green e grey, introducendo elementi facilitatori per creare le condizioni ottimali di governo del territorio alla base di una efficace pianificazione e successiva attuazione delle azioni.

L’analisi degli effetti ambientali così svolta consente, inoltre, di integrare con elementi valutativi di carattere ambientale la valutazione delle azioni di adattamento settoriali svolta nel piano rispetto ai 5 criteri (Flörke et al. 2011): efficacia, efficienza economica, effetti di secondo ordine, *performance* in presenza di incertezza, e considerazioni per l’implementazione politica. Tale valutazione supporterà l’attività di analisi di possibili alternative di azione che sarà gestita nell’ambito delle attività della struttura di governance che porteranno alla pianificazione e all’attuazione di azioni di adattamento nei diversi settori attraverso la definizione di priorità, ruoli, responsabilità e fonti/strumenti di finanziamento (vedi paragrafo 2.4 del presente rapporto).

La Tabella 5-2 riporta i risultati dell'analisi dei potenziali effetti ambientali negativi diretti, individuando le tipologie di effetti correlate a ciascuna azione/misura.

Laddove individuati potenziali effetti negativi, vengono riportate indicazioni generali con finalità mitigative da tener presente in fase attuativa, ovvero individuati strumenti pianificatori/programmatici, tecnici (es. LLGG) e normativi di riferimento per una loro attuazione rispondente ai principi di sostenibilità, che saranno ad ogni modo oggetto di valutazione ambientale all'interno delle relative procedure di VAS/VIA.

Gli effetti ambientali positivi derivanti dall'attuazione delle azioni/misure sono correlati alla loro potenzialità di ridurre gli impatti negativi dei cambiamenti climatici limitando la vulnerabilità del territorio e incrementando la sua resilienza.

Al fine, pertanto, di dare conto dei previsti effetti ambientali positivi, come previsto dalla normativa VAS (D. Lgs. 152/06 All. VI), nella Tabella 5-2 sono riportati gli impatti associati ai CC target per ciascuna azione, da tradurre in effetti positivi attesi, e gli obiettivi da perseguire attraverso l'implementazione di ciascuna azione/misura settoriale.

Tabella 5-2: Analisi degli effetti ambientali delle misure "GREY"

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
MACRO-CATEGORIE - ADEGUAMENTO E MIGLIORAMENTO DI IMPIANTI E INFRASTRUTTURE								
CATEGORIA - IMPIANTI, MATERIALI E TECNOLOGIE								
18	Strutture	acquacoltura	Interventi per la riduzione degli impatti dell'acquacoltura e per l'uso più efficiente delle risorse	Favorire sistemi/pratiche produttive con minore impatto sull'ambiente (nuove tecnologie e/o conversione tecniche/sistemi produttivi a basso impatto, efficientamento energetico, certificazioni ambientali delle aziende)	Aumento dei costi per ossigenazione delle acque <i>Piscicoltura intensiva marina</i> Rischio insorgenza malattie Danni alle infrastrutture <i>Molluschicoltura</i> Morie diffuse Rischi per salute pubblica Possibile alterazione della stagione riproduttiva di alcune specie di molluschi bivalvi Possibile riduzione del reclutamento naturale dei giovanili/semi Riduzione delle produzioni Danni alle infrastrutture <i>Piscicoltura in acqua dolce (specie d'acqua fredda)</i> Riduzione delle produzioni, specialmente in trotilicoltura	Miglioramento della sostenibilità ambientale delle attività produttive e mitigazione degli impatti		Regolamento (UE) 1139/2021 PO FEAMPA 2021-2027 Orientamenti strategici acquacoltura EU 2021 - 2030 COM(236)2021 CINEA 2021, Sustainability criteria for the blue economy
35	Strutture	Agricoltura	Benessere animale	Promozione di operazioni in grado di incrementare significativamente il benessere degli animali, individuando specifici ed oggettivi interventi zootecnici, come ad esempio premi agli allevatori che si impegnano a superare le norme minime vigenti in materia di benessere animale e che, per farlo, sostengono costi aggiuntivi e mancati redditi. Nello specifico si intende l'installazione ventilatori con o senza nebulizzazione, raffrescamento artificiale con acqua sopra falda ed in sala attesa, spazzole del tegumento basculanti e/o fisse, reti ombreggianti, ombreggiamento e frangivento naturale arborato, per favorirne l'adattamento ai cambiamenti climatici. La misura prevede anche il sostegno per corsi di formazione per l'ottimale utilizzo di tali tecnologie.	Riduzione del benessere animale e del loro stato di salute. Riduzione della quantità e qualità del latte bovino, di quello ovi-caprino e bufalino. Riduzione della quantità e qualità di carne prodotta.	Promuovere il benessere animale	<u>RISORSE IDRICHE</u> consumo di risorsa idrica (nebulizzazione, raffrescamento) <u>ENERGIA</u> Possibile aumento della domanda di energia elettrica legati all'installazione di ventilatori <u>ATMOSFERA</u> Se si prevede di adottare la misura su vasta scala potenziali emissioni di inquinanti in aria nel caso in cui l'energia elettrica fosse generata da fonti non rinnovabili	<u>RISORSE IDRICHE</u> verificare coerenza coi piani relativi alla gestione delle acque (piani d'ambito, di gestione distrettuali, di bilancio) <u>ENERGIA, ATMOSFERA</u> Favorire l'alimentazione degli impianti di ventilazione tramite fonti rinnovabili

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
119	Strutture	Energia	Interventi di adattamento degli edifici esistenti	Realizzazione di interventi di retrofit del patrimonio edilizio esistente per la riduzione dei fabbisogni di climatizzazione, sia per la stagione invernale che per quella estiva	Aumento dei CDD (Cooling Degree Days). Incremento della punta di domanda energetica estiva. Rischio Blackout.	Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento	<u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Possibili impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale e percettiva degli edifici esistenti (es. modifica dei materiali e dei colori, modifica delle coperture, ecc.) con conseguente interferenza negativa sul paesaggio soprattutto se gli interventi sono realizzati in aree vincolate.	<u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica).
213	Strutture	Industrie ed Infrastrutture Pericolose	Misure di adattamento preventivo attraverso la costruzione o l'adeguamento di infrastrutture e attività meno pericolose e resilienti	La prevenzione e la mitigazione degli impatti degli eventi estremi su attività pericolose può essere perseguita attraverso interventi mirati a rendere tali attività resilienti rispetto agli eventi estremi ed alle loro conseguenze (inondazioni, frane, ecc.). Ad es. attraverso: rafforzamento dei punti di ancoraggio di serbatoi, tubazioni, e di altri recipienti contenenti sostanze pericolose per evitare il loro galleggiamento o dislocazione in caso di inondazione; posizionamento di contenitori mobili e fusti ad una quota superiore a quella della massima piena stimata; dotazione di recinzioni e cancelli per evitare la dispersione di contenitori mobili e fusti in caso di allagamento; posizionamento di sale controllo e di strumentazione vitali in zona sicura e rafforzamento della loro protezione per migliorare la resistenza agli urti da parte di detriti galleggianti o trascinati dal vento; possibilità di isolamento o interruzione in condizioni di sicurezza delle forniture di elettricità, gas, vapore, riscaldamento ed idriche; integrazione e/o aggiornamento delle pianificazioni di emergenza interna ed esterna con gli scenari associati ai rischi	Eventi climatici estremi, esondazioni, alluvioni fluviali, dissesto idrogeologico	Prevenire e mitigare gli effetti degli eventi estremi con interventi non invasivi, mitigare gli impatti ambientali e aumentare la resilienza delle attività pericolose		<u>RISCHIO IDRAULICO</u> Perimetrazione zone a rischio dissesto/alluvione (Norme tecniche di attuazione -NTA, PGRA, PAI)

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
				naturali, con particolare riguardo ai sistemi di previsione ed allarme preventivi.				
330	Strutture	Turismo	Snow farming	Consiste in una manutenzione accurata delle piste, un eventuale ombreggiamento delle stesse, la costruzione di barriere anti-deposito, la piantumazione di alberi, per proteggere le piste e l'innevamento (naturale o artificiale), e l'allestimento di depositi di neve. In quest'ultimo caso, la neve viene coperta con teli o segatura con l'obiettivo di conservarla intatta per la stagione sciistica successiva. Alcuni primi esperimenti indicano che, a seconda dell'altitudine e del metodo di copertura, una parte della neve si conserva e può essere utilizzata all'inizio della nuova stagione. L'aspetto positivo di questa misura è il risparmio di energia elettrica (innervamento) e di carburante (veicoli battipista), quello negativo l'ulteriore forte impatto sul paesaggio.	Turismo invernale montano: diminuzione della copertura nevosa, ritiro dei ghiacciai e scomparsa del permafrost (cambiamenti e degrado del paesaggio, dissesto).	Gestione temporanea della risorsa turistica in vista di un adattamento di lungo periodo	<p><u>RISORSE IDRICHE</u> modifica del ciclo idrologico e della qualità</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio montano.</p> <p><u>SPECIE ALIENE</u> L'utilizzo di specie arboree aliene nella piantumazione potrebbe avere un impatto negativo sulla biodiversità e i servizi ecosistemici collegati.</p> <p><u>SUOLO</u> variazione copertura e consumo di suolo</p>	<p><u>RISORSE IDRICHE</u> pianificazione di settore in tema di risorse idriche superficiali e sotterranee (es. rispetto del bilancio idrico e degli aspetti qualitativi dei corpi idrici interferiti dall'azione)</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica).</p> <p><u>SPECIE ALIENE</u> L'utilizzo di alcune specie è proibito dalle normative vigenti (Reg. UE 1143/14 e D.Lgs.230/17) e in generale la normativa italiana vieta l'utilizzo di specie aliene in ambiente naturale a meno di una autorizzazione specifica del MASE (DPR.102/2019).</p> <p><u>SUOLO</u> Monitoraggio annuale del consumo di suolo (rif. Rapporto ISPRA/SNPA) Normative regionali in materia di contenimento del consumo di suolo Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio</p>
332	Strutture	Turismo	Utilizzo dei soli impianti di innervamento artificiali esistenti e loro progressiva dismissione a favore di pratiche di mantenimento dell'innervamento più sostenibili	Tipica misura tecnica già ampiamente diffusa, ripristino del manto nevoso sulle piste in assenza di copertura naturale tramite cannoni da neve. Ha alti costi e alto impatto ambientale in termini di consumo idrico e impatto sul paesaggio. In caso di sostanziale aumento delle temperature può non essere comunque sufficiente.	Turismo invernale montano: diminuzione della copertura nevosa, ritiro dei ghiacciai e scomparsa del permafrost (cambiamenti e degrado del paesaggio, dissesto).	Gestione temporanea della risorsa turistica in vista di un adattamento di lungo periodo	<p><u>RISORSE IDRICHE</u> La produzione di neve artificiale ha un elevato impatto sul consumo di risorsa idrica</p> <p><u>ENERGIA</u> Aumenta la domanda di energia elettrica</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio montano.</p>	<p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio montano.</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							immateriale legati agli usi consolidati del territorio montano.	
343	Strutture	Zone costiere	Costruzione di edifici e infrastrutture più resilienti	Costruzione di strutture più resilienti attraverso l'impiego di materiali resistenti oltre all'utilizzo di tecniche costruttive e architetture innovative.	Aumento dei rischi di erosione e inondazione Aumento del livello del mare e conflitti d'interesse con la creazione di strutture di difesa costiera Perdita di valore estetico dovuto ad alterazioni dell'equilibrio ambientale	Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa.	immateriali legati agli usi consolidati del territorio montano. <u>RISORSE IDRICHE</u> Diminuzione infiltrazione e ricarica delle falde, <u>RISCHIO IDRAULICO</u> aumento deflussi superficiali <u>SUOLO</u> Consumo di suolo in area costiera <u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico e alle trasformazioni di uso del suolo.	<u>RISORSE IDRICHE, RISCHIO IDRAULICO</u> norme regionali/consortili di invarianza idraulica PGRA <u>SUOLO</u> Monitoraggio annuale del consumo di suolo (rif. Rapporto ISPRA/SNPA) Normative regionali in materia di contenimento del consumo di suolo Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio <u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica). <u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> Pianificazione/programmazione di interventi in materia di difesa e gestione integrata della fascia costiera ispirata ai principi enunciati nella Comunicazione COM/2000/547 e poi acquisiti dalla accomandazione (2002/413/CE) di una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) e di lungo periodo. Pianificazione/progettazione tenendo conto di indirizzi e criteri enunciati dalla LLGG TNEC, e dal manuale e linea guida APAT 44/2007. Supporto all'utilizzo dello strumento Contratto di Fiume-Costa come definito dall'art. 68 bis del D.lgs. 152/2006
344	Strutture	Zone costiere	Creazione e gestione delle zone di "retreat"	Istituzione di strumenti pianificatori per limitare o proibire la ricostruzione di strutture danneggiate in specifiche aree considerate a rischio.	Aumento dei rischi di erosione e inondazione Aumento del livello del mare e conflitti d'interesse con la creazione di strutture di difesa costiera Perdita di valore estetico dovuto ad alterazioni dell'equilibrio ambientale	Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa.	<u>COSTE</u> Possibili effetti sociali ed economici sulle comunità nelle aree costiere antropizzate interessate dagli interventi <u>ACQUACOLTURA</u> La mancata ricostruzione di strutture preesistenti potrebbe determinare un cambiamento delle condizioni ambientali fisiche e biogeochimiche in aree utilizzate per attività di acquacoltura, con effetti in	<u>RISCHIO IDRAULICO</u> Iniziative di tipo non strutturale atte a ridurre il rischio/PGRA, norme tecniche di attuazione (NTA) <u>COSTE</u> Pianificazione/programmazione di interventi in materia di difesa e gestione integrata della fascia costiera ispirata ai principi enunciati nella Comunicazione COM/2000/547 e poi acquisiti dalla accomandazione (2002/413/CE) di una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) e di lungo periodo. Pianificazione/progettazione

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							particolare per la molluschicoltura	tenendo conto di indirizzi e criteri enunciati dalla LLGG TNEC e dal manuale e linea guida APAT 44/2007. Supporto all'utilizzo dello strumento Contratto di Fiume-Costa come definito dall'art. 68 bis del D.lgs. 152/2006
359	Strutture	Zone costiere	Innalzamento delle infrastrutture di trattamento dei reflui	Innalzamento delle strutture adibite al trattamento dei reflui e l'accoppiato sistema di fornimento elettrico sopra i livelli di inondazione e mareggiata individuati per la zona.	Alterazioni dei cicli biogeochimici del mare costiero Modificazioni (o anche esaurimento) nell'attività di depurazione	Ridurre le possibilità di contaminazione da liquami e reflui urbani.	<u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico e alle trasformazioni di uso del suolo. <u>COSTE</u> Consumo di suolo Impatto sull'equilibrio delle dinamiche ecologiche e fisiche della zona costiera interessata	<u>RISCHIO IDRAULICO</u> Iniziative di tipo non strutturali atte a ridurre il rischio/PGRA, norme tecniche di attuazione (NTA) <u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica). <u>COSTE</u> Pianificazione di settore in tema di gestione delle acque reflue nel rispetto delle specificità territoriali e degli adeguamenti ai possibili scenari climatici futuri.
25	Mezzi e macchinari	Agricoltura	Investimenti in immobilizzazioni materiali per l'efficientamento delle aziende agricole, promozione di forme di sharing e investimenti per la trasformazione e commercializzazione dei prodotti	Investimenti in strutture e impianti che facilitino l'adattamento ai cambiamenti climatici come ad esempio strutture per la protezione da gelo e grandine; miglioramenti strutturali per il benessere degli animali finalizzati a favorire l'adattamento al cambiamento climatico e alla realizzazione di condizioni più favorevoli di quanto già previsto o per adeguamenti alle norme obbligatorie già vigenti in materia; acquisto di macchine innovative per la lavorazione minima, semina su sodo, agricoltura di precisione, che riducono il consumo carburanti ed emissioni e ottimizzano l'uso delle risorse e acquisto di macchinari impianti o attrezzature funzionali ai processi di lavorazione e trasformazione del prodotto agricolo al fine di efficientare l'uso delle risorse e il trattamento dei reflui e degli scarti di lavorazione dei prodotti agricoli. Promozione di forme di condivisione dei mezzi.	Potenziale riduzione della produttività per colture energetiche come il girasole, colza, Brassica carinata, cartamo. Possibili riduzioni di resa per il frumento duro nelle zone tirreniche e adriatiche Moderate riduzioni di resa per frumento duro e tenero nel Sud Italia Significative riduzioni di resa per il mais Incremento delle richieste idriche per diverse colture in asciutto (colture da tubero, olivo, vite). Incremento dei costi di condizionamento termico per colture orticole in ambiente controllato. Potenziale riduzione della produttività dei sistemi pastorali estensivi.	Migliorare l'efficienza aziendale e aumentare l'integrazione territoriale delle imprese agricole	<u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Eventuali interferenze negative sul paesaggio potrebbero derivare dalla realizzazione o ristrutturazione di strutture produttive o infrastrutture (costruzione o ristrutturazione di edifici, opere di viabilità rurale, impianti di approvvigionamento e distribuzione di acqua per gli animali in aree montane, ecc.). <u>SUOLO</u> Degrado e consumo di suolo	<u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Sistemi delle tutele del territorio rurale presenti nei Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica per la salvaguardia per le aree di maggior valore, Programma di sviluppo rurale nazionale 2014-2022). <u>SUOLO</u> Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
190	Mezzi macchinari e	Foreste	Modernizzazione e meccanizzazione ad alta efficienza ambientale per un uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali - tecniche e attrezzature innovative e sostenibili	Utilizzo di tecniche, dotazioni strutturali, macchinari e attrezzature innovative e sostenibili, ad alta efficienza ambientale, negli interventi selvicolturali e di utilizzazione forestale (operazioni di taglio, allestimento, esbosco, mobilitazione legname e interventi di primo trattamento in foresta dei prodotti legnosi e non legnosi) per ridurre l'impatto su suolo e rinnovazione (es. strutture sostenibili per la mobilitazione dei prodotti legnosi e non legnosi, quali piattaforme, piazzali di stoccaggio e movimento macchine in bosco)	Tutti gli impatti del settore	Promuovere l'uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali attraverso l'adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture		
191	Mezzi macchinari e	Foreste	Modernizzazione e meccanizzazione ad alta efficienza ambientale per un uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali - adeguamento innovativo delle dotazioni strutturali	Adeguamento innovativo delle dotazioni strutturali, delle tecniche, dei macchinari e delle attrezzature necessarie alla lavorazione, produzione e prima trasformazione di assortimenti legnosi e non legnosi che precedono la trasformazione industriale per aumentare l'efficienza dell'utilizzo dei prodotti forestali e ridurre gli scarti, per un uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali	Tutti gli impatti del settore	Promuovere l'uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali attraverso l'adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture		
129	Sistemi di raffreddamento	Energia	Sostituzione dei sistemi di raffreddamento a ciclo aperto con sistemi a ciclo chiuso	Utilizzo di sistemi di raffreddamento che riducano la dipendenza dalla disponibilità di risorse idriche per il raffreddamento	Tutti gli impatti del settore	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica		
130	Sistemi di raffreddamento	Energia	Utilizzo di raffreddatori ad aria, pompe addizionali o torri di raffreddamento	Utilizzo di sistemi di raffreddamento che riducano la dipendenza dalla disponibilità di risorse idriche per il raffreddamento	Tutti gli impatti del settore	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica	<u>ATMOSFERA</u> Potenziale impatto negativo sull'atmosfera per la dissipazione del calore	
137	Sistemi di raffreddamento	Energia	Introduzione di sistemi di raffreddamento più efficaci per gli impianti a biomassa	Disponibilità di sistemi di raffreddamento che riducano la vulnerabilità degli impianti nei confronti di ondate di calore	Difficoltà per il raffreddamento degli impianti di generazione elettrica a causa dell'aumento delle temperature e la diminuzione delle risorse idriche	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione	<u>RISORSE IDRICHE</u> In caso di sistemi di raffreddamento ad acqua possibile consumo di risorsa	<u>RISORSE IDRICHE</u> autorizzazione al prelievo data dall'AdB, piani di bilancio idrico di distretto, PdG

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
						idroelettrica e termoelettrica	idrica per aumentare l'efficacia del raffreddamento <u>ATMOSFERA</u> Potenziale impatto negativo sull'atmosfera per la dissipazione del calore.	
126	Generazione di energia elettrica	Energia	Razionalizzazione, programmazione e riduzione dei consumi nel periodo estivo	Adozione di provvedimenti per ottimizzare la produzione elettrica in situazioni di emergenza e la gestione dell'acqua (usi agricoli, industriali, produzione elettrica, usi civili, navigazione fluviale)	Difficoltà per il raffreddamento degli impianti di generazione elettrica a causa dell'aumento delle temperature e la diminuzione delle risorse idriche.	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica		
127	Generazione di energia elettrica	Energia	Incrementare l'efficienza di generazione elettrica delle centrali termoelettriche tradizionali alimentate da combustibili fossili	Incrementare l'efficienza di generazione elettrica delle centrali termoelettriche tradizionali alimentate da combustibili fossili	Difficoltà per il raffreddamento degli impianti di generazione elettrica a causa dell'aumento delle temperature e la diminuzione delle risorse idriche	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica		
135	Stoccaggio della risorsa idrica	Energia	Aumento dei volumi dei serbatoi di stoccaggio nella gestione ordinaria	Aumento dei volumi dei serbatoi per far fronte alla crescente variabilità delle precipitazioni e delle disponibilità idriche	Impatti negativi sulla generazione idroelettrica dovuta all'aumento della variabilità delle risorse idriche disponibili	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica	<p><u>RISCHIO IDRAULICO</u> Gestione rischio onde di piena/effetto di laminazione degli invasi (sia per invasi naturali che artificiali).</p> <p><u>RISORSE IDRICHE</u> Impatti sulla qualità e la disponibilità di risorsa idrica superficiale e sotterranea</p> <p><u>RISCHIO GEOMORFOLOGICO</u> Possibili impatti con la dinamica e la stabilità dei versanti (attivazione o riattivazione di movimenti franosi) e con la dinamica fluviale (riduzione aree golenali, rettifica del tracciato dei corsi d'acqua, ecc.).</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee.</p> <p><u>ACQUACOLTURA</u> Possibile riduzione della quota di approvvigionamento della risorsa</p>	<p><u>RISCHIO IDRAULICO</u> Uso coordinato degli invasi al fine di garantire volumi necessari alla laminazione delle onde di piena.</p> <p><u>RISORSE IDRICHE</u> Pianificazione di settore in tema di risorse idriche superficiali e sotterranee (es. rispetto del bilancio idrico e degli aspetti qualitativi dei corpi idrici interferiti dall'azione)</p> <p><u>RISCHIO GEOMORFOLOGICO</u> D.Lgs. 49/2010 (Attuazione Direttiva Alluvioni 2007/60/CE) D.Lgs. 152/2006 DM 17.01.2018/NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni) Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) – ISPRA</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Sistemi delle tutele del territorio rurale presenti nei Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica).</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							idrica per uso acquacoltura in acque interne	
266	Stoccaggio della risorsa idrica	Risorse idriche	Incremento delle potenzialità di accumulo nelle zone rurali privilegiando interventi diffusi, a basso impatto ambientale e ad uso plurimo	Aumentare la capacità di ritenzione ed accumulo attraverso la realizzazione di laghetti, piccoli invasi e vasche, al fine di promuovere la diversificazione delle fonti di approvvigionamento e ridurre la pressione sulle falde sotterranee.	Riduzione della disponibilità di acqua per usi civili, urbani, e produttivi. Siccità. Riduzione delle disponibilità di acqua fluviale. Allagamenti.	Migliorare l'efficienza delle infrastrutture idriche	<p><u>RISCHIO IDRAULICO</u> Gestione rischio onde di piana/effetto di laminazione degli invasi (sia per invasi naturali che artificiali).</p> <p><u>RISORSE IDRICHE</u> Impatti sulla qualità e la disponibilità di risorsa idrica superficiale e sotterranea per i diversi utilizzi (es. agricolo, acquacoltura...)</p> <p><u>RISCHIO GEOMORFOLOGICO</u> Possibili impatti con la dinamica e la stabilità dei versanti.</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee.</p> <p><u>SUOLO</u> Variazione copertura e consumo di suolo</p>	<p><u>RISCHIO IDRAULICO</u> Uso coordinato degli invasi al fine di garantire volumi necessari alla laminazione delle onde di piena.</p> <p><u>RISORSE IDRICHE</u> pianificazione di settore in tema di risorse idriche superficiali e sotterranee (es. rispetto del bilancio idrico e degli aspetti qualitativi dei corpi idrici interferiti dall'azione)</p> <p><u>RISCHIO GEOMORFOLOGICO</u> D.Lgs. 152/2006 Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) – ISPRA</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Sistemi delle tutele del territorio rurale presenti nei Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica).</p> <p><u>SUOLO</u> Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio</p>
128	Processi, materiali e tecnologie	Energia	Sostituire i combustibili fossili utilizzati dalle centrali termoelettriche tradizionali (da carbone e olio combustibile a gas naturale)	Sostituire i combustibili fossili utilizzati dalle centrali termoelettriche tradizionali (da carbone e olio combustibile a gas naturale)	Tutti gli impatti del settore	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica	<u>ENERGIA, ATMOSFERA</u> Nessun impatto addizionale rispetto alle risorse sostituite	
233	Processi, materiali e tecnologie	Patrimonio culturale	Manutenzione ordinaria (da preferire ad interventi di restauro)	Programmazione per il patrimonio costruito effettuare regolari interventi di manutenzione, piuttosto che grandi e sporadici interventi di restauro.	Riduzione del dilavamento delle superfici del patrimonio culturale tangibile esposto all'aperto; Aumento dell'annerimento e del soiling di edifici e monumenti nei siti urbani;	Contrastare il degrado dei materiali e delle strutture		

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
					<p>Modifiche nei processi di biodegrado dovuti alle proiezioni stagionali delle precipitazioni;</p> <p>Aumento degli effetti dovuti a stress termici su materiali lapidei (termoclastismo);</p> <p>Aumento dell'erosione eolica particolarmente dannosa sui materiali e le strutture caratterizzanti le regioni meridionali (ad esempio barocco leccese e siti archeologici);</p> <p>Aumento del rischio di allagamento dei siti archeologici (soprattutto strutture ipogee e centri storici);</p> <p>La variazione delle precipitazioni stagionali (riduzione di quelle estive e aumento di quelle invernali) può aumentare il degrado delle strutture lignee nelle aree montane;</p> <p>Aumento del rischio di degrado di manufatti e siti archeologici per scongelamento del permafrost</p>			
<p>MACRO-CATEGORIE - ADEGUAMENTO E MIGLIORAMENTO DI IMPIANTI E INFRASTRUTTURE CATEGORIA - SISTEMI DI DIFESA, RETI, STOCCAGGIO, DISTRIBUZIONE E TRASMISSIONE</p>								
214	Costruzione di opere di difesa strutturale	Industrie ed Infrastrutture Pericolose	Costruzione di opere di difesa strutturale delle industrie e infrastrutture pericolose.	La prevenzione e la mitigazione degli impatti degli eventi estremi su attività pericolose può essere perseguita attraverso interventi mirati a proteggere l'intera attività o le sue parti più vulnerabili con opere di difesa strutturale.	Eventi climatici estremi, esondazioni, alluvioni fluviali, dissesto idrogeologico	Prevenire e mitigare gli effetti degli eventi estremi con interventi non invasivi, mitigare gli impatti ambientali e aumentare la resilienza delle attività pericolose	<p><u>RISORSE IDRICHE</u> Riduzione/modifica dell'infiltrazione, modificazione dei deflussi sub superficiali, <u>RISCHIO IDRAULICO</u> modificazione della pericolosità/rischio idraulico nelle zone circostanti</p> <p><u>BIODIVERSITÀ</u> In presenza di emergenze naturalistiche e di Aree Protette possibili interferenze delle infrastrutture con aree interessate dalla presenza di habitat e di specie d'interesse comunitario, nonché al disturbo delle specie faunistiche in fase di cantiere</p> <p><u>ACQUACOLTURA</u> Nuove opere di difesa strutturale in aree marino costiere potrebbero determinare un</p>	<p><u>RISORSE IDRICHE, RISCHIO IDRAULICO</u> norme regionali/consortili di invarianza idraulica PGRA, PAI, norme tecniche di attuazione (NTA)</p> <p><u>BIODIVERSITÀ</u> Direttiva 92/43/CEE (Habitat) Direttiva 2009/147/CE(Uccelli) Strategia Nazionale Biodiversità 2030 (SNB 2030) Piani Parco e/o Piani di Gestione</p> <p><u>SUOLO</u> Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							cambiamento delle condizioni ambientali fisiche e biogeochimiche in aree utilizzate per attività di acquacoltura, nonché sottrazione di spazi idonei e vocati per il settore <u>SUOLO</u> Degradazione e consumo di suolo	
353	Costruzione di opere di difesa strutturale	Zone costiere	Rafforzamento degli argini e delle scogliere	Azioni di rafforzamento con materiali di tipo naturale (rocce, arbusti) o artificiale (cemento, pannelli, gabbie flessibili).	Aumento dei rischi di erosione e inondazione Aumento del livello del mare e conflitti d'interesse con la creazione di strutture di difesa costiera Perdita di valore estetico dovuto ad alterazioni dell'equilibrio ambientale	Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa.	<u>RISORSE IDRICHE, RISCHIO IDRAULICO</u> Alterazione dei fenomeni idraulici delle acque interne o di transizione <u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio costiero. <u>COSTE</u> Diminuzione della percezione del pericolo e possibile aumento della esposizione al rischio. Necessità di manutenzione continuativa; Alterazione dell'equilibrio della circolazione sedimentaria e spostamento delle fenomenologie erosive in tratti limitrofi e/o contigui; Generazione di conflitti fra comunità vicine <u>BIODIVERSITÀ E ECOSISTEMI MARINI</u> Interferenza su habitat e specie marine e marino-costiere e su biodiversità: alterazione dell'habitat con creazione di substrato duro artificiale)	<u>RISCHIO IDRAULICO</u> PDG, PGRA, norme tecniche di attuazione (NTA) <u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, Piani di gestione delle coste, richiesta di autorizzazione paesaggistica). <u>COSTE, BIODIVERSITÀ MARINA, AMBIENTI DI TRANSIZIONE</u> Pianificazione/programmazione di interventi in materia di difesa e gestione integrata della fascia costiera (GIZC) ispirata ai principi enunciati nella Comunicazione COM/2000/547 e poi acquisiti dalla accomandazione (2002/413/CE) di una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) e di lungo periodo. Pianificazione/progettazione tenendo conto di indirizzi e criteri enunciati dalla LLGG TNEC e dal manuale e linea guida APAT 44/2007 Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera – ISPRA 105/2014 Normativa di settore e pianificazione prodotta dalle Autorità di Distretto (Piani difesa/gestione coste regionali, Piani stralcio erosione, PGRA, Contratto di Fiume-Costa (art. 68 bis D.Lgs. 152/06)) Necessità di coordinamento ed integrazione dei vari strumenti di pianificazione in linea con gli obiettivi dei Piani di Gestione delle Acque e i Piani di Gestione delle Aree a vario titolo protette (es. SIC/ZPS) Utilizzo di strumenti di mitigazione, quali panne antitorbidità, atti a limitare la dispersione dei materiali fini durante le

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							<p>alterazioni delle comunità biologiche autoctone e reclutamento di specie non indigene.</p> <p>Eventuale risospensione dei sedimenti con possibili effetti sulla qualità delle acque ed ecosistemi a seguito di movimentazione dei fondali marini</p> <p>SPECIE ALIENE L'utilizzo di specie aliene per il rafforzamento degli argini e scogliere potrebbe avrebbe un impatto negativo sulla biodiversità e i servizi ecosistemici collegati.</p> <p>AMBIENTI DI TRANSIZIONE Alterazioni della funzionalità ecologica degli ecosistemi di transizione laddove tali interventi siano fatti in tali ambienti o in prossimità di essi</p> <p>ACQUACOLTURA Possibile cambiamento delle condizioni ambientali fisiche e biogeochimiche in aree utilizzate per attività di acquacoltura, con effetti in particolare per la molluschicoltura</p> <p>SUOLO Degradato e consumo di suolo</p>	<p>operazioni di installazione di strutture di rafforzamento.</p> <p>SPECIE ALIENE L'utilizzo di specie aliene per il rafforzamento degli argini e scogliere potrebbe avrebbe un impatto negativo sulla biodiversità e i servizi ecosistemici collegati.</p> <p>SUOLO Limitare l'impermeabilizzazione in caso di utilizzo di materiali artificiali</p>
354	Costruzione di opere di difesa strutturale	Zone costiere	Ripascimento del litorale	Azione di prelievo e rilocamento di sabbia prelevata a largo costa oppure da zone soggette ad accumulo.	<p>Aumento dei rischi di erosione e inondazione</p> <p>Aumento del livello del mare e conflitti d'interesse con la creazione di strutture di difesa costiera</p> <p>Perdita di valore estetico dovuto ad alterazioni dell'equilibrio ambientale</p>	Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa.	<p>RISCHIO IDRAULICO Alterazione della dinamica naturale dei sedimenti mobilitati dall'azione combinata del mare e trasporto solido fluviale.</p> <p>PATRIMONIO CULTURALE Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di</p>	<p>RISCHIO IDRAULICO Analisi quantitative della dinamica dei sedimenti per confermare o meno l'efficacia dell'intervento.</p> <p>PATRIMONIO CULTURALE Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, Piani di gestione delle coste, richiesta di autorizzazione paesaggistica).</p> <p>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA Il prelievo e ripascimento deve seguire criteri molto specifici con la finalità di minimizzare</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							<p>tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio costiero.</p> <p><u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> Interferenza sulle dinamiche dell'unità fisiografica Interferenza su habitat e specie marine e marino-costiere e su biodiversità Eventuale risospensione dei sedimenti con possibili effetti sulla qualità delle acque ed ecosistemi a seguito di movimentazione dei fondali marini</p> <p><u>PESCA</u> Possibile interazione negativa con le risorse ittiche e le attività di pesca nel sito di prelievo delle sabbie e potenzialmente nel sito di rilocalimento delle sabbie</p> <p><u>ACQUACOLTURA</u> Possibile cambiamento delle condizioni ambientali fisiche e biogeochimiche in aree utilizzate per attività di acquacoltura, con effetti in particolare per la molluschicoltura</p>	<p>alterazione dell'equilibrio sedimentario e quindi dell'efficacia dell'intervento stesso.</p> <p>Pianificazione/programmazione di interventi in materia di difesa e gestione integrata della fascia costiera (GIZC) ispirata ai principi enunciati nella Comunicazione COM/2000/547 e poi acquisiti dalla accomandazione (2002/413/CE) di una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) e di lungo periodo.</p> <p>Pianificazione/progettazione tenendo conto di indirizzi e criteri enunciati dalla LLGG TNEC e dal manuale e linea guida APAT 44/2007.</p> <p>Normativa di settore e pianificazione prodotta dalle Autorità di Distretto (Piani difesa/gestione coste regionali, Piani stralcio erosione, PGRA, Contratto di Fiume-Costa (art. 68 bis D.Lgs. 152/06))</p> <p>Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera – ISPRA 105/2014</p> <p>Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento. Quaderno ICRAM n.5/2006; LLGG ISPRA, 172/2018</p> <p>Utilizzo di strumenti di mitigazione, quali panne antitorbidità, atti a limitare la dispersione dei materiali fini durante le operazioni di ripascimento.</p> <p><u>PESCA</u> Pianificazione e realizzazione devono tenere conto della verifica degli impatti sulle risorse e sulle attività di pesca</p>
355	Costruzione di opere di difesa strutturale	Zone costiere	Innalzamento della linea costiera	Innalzamento della linea di costa attraverso la costruzione di barriere artificiali o impiego di depositi rocciosi per aumentare l'elevazione	Aumento dei rischi di erosione e inondazione Aumento del livello del mare e conflitti d'interesse con la creazione di strutture di difesa costiera	Proteggere strutturalmente la costa dall'azione di innalzamento del mare, erosione e da eventi di mareggiata.	<p><u>RISCHIO IDRAULICO</u> Alterazione della dinamica naturale dei sedimenti mobilitati dall'azione combinata del mare e trasporto solido fluviale.</p> <p><u>RISCHIO GEOMORFOLOGICO</u> Possibili effetti nelle aree soggette a subsidenza</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche</p>	<p><u>RISCHIO IDRAULICO</u> Analisi quantitative della dinamica dei sedimenti per confermare o meno l'efficacia dell'intervento; PGRA</p> <p><u>RISCHIO GEOMORFOLOGICO</u> D.Lgs. 152/2006 DM 17.01.2018/NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni)</p> <p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, Piani di gestione delle coste, richiesta di autorizzazione paesaggistica).</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							<p>temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio costiero.</p> <p><u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> Interferenza sulle dinamiche dell'unità fisiografica Impatto sul paesaggio e sull'ambiente naturale Possibili effetti erosivi sulla costa e alla base delle opere (scalzamento) con ripercussioni sulla loro funzionalità ed efficienza Provvisorietà della misura e necessità di continuo adeguamento in relazione ai possibili scenari futuri climatici. Interferenza su habitat e specie marine e marino-costiere e su biodiversità: alterazione dell'habitat con creazione di substrato duro artificiale alterazioni delle comunità biologiche autoctone e reclutamento di specie non indigene.</p> <p>Eventuale risospensione dei sedimenti con possibili effetti sulla qualità delle acque ed ecosistemi a seguito di movimentazione dei fondali marini</p> <p><u>AMBIENTI DI TRANSIZIONE</u> Alterazioni della funzionalità idro-morfologica ed ecologica degli ecosistemi di transizione laddove tali interventi siano fatti in prossimità di essi</p> <p><u>ACQUACOLTURA</u> Possibile cambiamento delle condizioni ambientali fisiche e biogeochimiche in aree utilizzate per attività di acquacoltura, in particolare estensiva e valliva</p>	<p><u>COSTE, BIODIVERSITÀ MARINA, AMBIENTI DI TRANSIZIONE</u> Pianificazione/programmazione di interventi in materia di difesa e gestione integrata della fascia costiera (GIZC) ispirata ai principi enunciati nella Comunicazione COM/2000/547 e poi acquisiti dalla accomandazione (2002/413/CE) di una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) e di lungo periodo. Pianificazione/progettazione tenendo conto di indirizzi e criteri enunciati dalla LLGG TNEC e dal manuale e linea guida APAT 44/2007. Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera – ISPRA 105/2014 Normativa di settore e pianificazione prodotta dalle Autorità di Distretto (Piani difesa/gestione coste regionali, Piani stralcio erosione, PGRA, Contratto di Fiume-Costa (art. 68 bis D.Lgs. 152/06)) Necessità di coordinamento ed integrazione dei vari strumenti di pianificazione in linea con gli obiettivi dei Piani di Gestione delle Acque e i Piani di Gestione delle Aree a vario titolo protette (es. SIC/ZPS)</p> <p>Utilizzo di strumenti di mitigazione, quali panne antitorbidità, atti a limitare la dispersione dei materiali fini durante le operazioni.</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
356	Costruzione di opere di difesa strutturale	Zone costiere	Costruzione di dune artificiali	Costruzione di dune artificiali sommerse di materiale laterizio oppure di sabbia prelevata al largo costa.	Aumento dei rischi di erosione e inondazione Aumento del livello del mare e conflitti d'interesse con la creazione di strutture di difesa costiera	Proteggere strutturalmente la costa dall'azione di innalzamento del mare, erosione e da eventi di mareggiata.	<p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio costiero.</p> <p><u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> L'efficacia degli Interventi localizzati e dei micro-interventi può sensibilmente diminuire rispetto agli interventi integrati su scala fisiografica. Tali interventi sono di natura temporanea e pertanto richiedono manutenzione continuativa. Interferenza su habitat e specie marine e marino-costiere e su biodiversità</p> <p>Eventuale risospensione dei sedimenti con possibili effetti sulla qualità delle acque ed ecosistemi a seguito di movimentazione dei fondali marini</p> <p><u>PESCA</u> Possibile interazione negativa con le risorse ittiche e le attività di pesca nel sito di prelievo delle sabbie e potenzialmente nel sito di rilocamento delle sabbie</p> <p><u>ACQUACOLTURA</u> Possibile cambiamento delle condizioni ambientali fisiche e biogeochimiche in aree utilizzate per attività di acquacoltura, nonché sottrazione di spazi idonei e vocati per il settore</p>	<p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, Piani di gestione delle coste, richiesta di autorizzazione paesaggistica) e minimizzazione dell'impatto visivo sul paesaggio costiero di elementi artificiali nella fascia costiera, attraverso la definizione di linee guida, principi, criteri e standard che andranno ad integrare le specifiche indicazioni sui livelli di tutela dei Piani Paesaggistici Regionali e degli altri eventuali strumenti di pianificazione vigenti.</p> <p><u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> Pianificazione/programmazione di interventi in materia di difesa e gestione integrata della fascia costiera (GIZC) ispirata ai principi enunciati nella Comunicazione COM/2000/547 e poi acquisiti dalla accomandazione (2002/413/CE) di una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) e di lungo periodo. Pianificazione/progettazione tenendo conto di indirizzi e criteri enunciati dalla LLGG TNEC e dal manuale e linea guida APAT 44/2007. Normativa di settore e pianificazione prodotta dalle Autorità di Distretto (Piani difesa/gestione coste regionali, Piani stralcio erosione, PGRA, Contratto di Fiume-Costa (art. 68 bis D.Lgs. 152/06)) Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera – ISPRA 105/2014 Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento. Quaderno ICRAM n.5/2006; LLGG ISPRA, 172/2018</p> <p>Utilizzo di strumenti di mitigazione, quali panne antitorbidità, atti a limitare la dispersione dei materiali fini durante le operazioni.</p> <p><u>PESCA</u> Pianificazione e realizzazione devono tenere conto della verifica degli impatti sulle risorse e sulle attività di pesca</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
357	Costruzione di opere di difesa strutturale	Zone costiere	Installazione di barriere fisse e/o mobili	Costruzioni di muri di protezione e moli, frangiflutti e pennelli, reef artificiali, adattamento di argini e dighe, dighe mobili	Aumento dei rischi di erosione e inondazione Aumento del livello del mare e conflitti d'interesse con la creazione di strutture di difesa costiera Perdita di valore estetico dovuto ad alterazioni dell'equilibrio ambientale	Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa.	<p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee, e impatti dovuti ad eventuali diminuzioni/perdite di tutti quei valori identitari e/o immateriali legati agli usi consolidati del territorio costiero.</p> <p><u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> Interferenza sulle dinamiche dell'unità fisiografica Provvisorietà della misura e necessità di continuo adeguamento in relazione ai possibili scenari futuri climatici Effetti limitati a brevi tratti di costa e con possibili forti impatti sulle dinamiche fisiche nelle zone marino-costiere limitrofe Interferenza con gli ecosistemi marino-costieri e perdita di habitat naturali alterazione dell'habitat con creazione di substrato duro artificiale alterazioni delle comunità biologiche autoctone e reclutamento di specie non indigene.</p> <p>Eventuale risospensione dei sedimenti con possibili effetti sulla qualità delle acque ed ecosistemi a seguito di movimentazione dei fondali marini</p> <p><u>AMBIENTI DI TRANSIZIONE</u> Alterazioni della funzionalità idro-morfologica ed ecologica degli ecosistemi di transizione laddove</p>	<p><u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, Piani di gestione delle coste, richiesta di autorizzazione paesaggistica) e minimizzazione dell'impatto visivo sul paesaggio costiero di impianti e strutture nella fascia costiera, attraverso la definizione di linee guida, principi, criteri e standard che andranno ad integrare le specifiche indicazioni sui livelli di tutela dei Piani Paesaggistici Regionali e degli altri eventuali strumenti di pianificazione vigenti.</p> <p><u>COSTE, BIODIVERSITÀ MARINA, AMBIENTI DI TRANSIZIONE</u> Pianificazione/programmazione di interventi in materia di difesa e gestione integrata della fascia costiera (GIZC) ispirata ai principi enunciati nella Comunicazione COM/2000/547 e poi acquisiti dalla accomandazione (2002/413/CE) di una prospettiva globale di ampia portata (tematica e geografica) e di lungo periodo. Pianificazione/progettazione tenendo conto di indirizzi e criteri enunciati dalla LLGG TNEC e dal manuale e linea guida APAT 44/2007. Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera – ISPRA 105/2014 Normativa di settore e pianificazione prodotta dalle Autorità di Distretto (Piani difesa/gestione coste regionali, Piani stralcio erosione, PGRA, Contratto di Fiume-Costa (art. 68 bis D.Lgs. 152/06)) Necessità di coordinamento ed integrazione dei vari strumenti di pianificazione in linea con gli obiettivi dei Piani di Gestione delle Acque e i Piani di Gestione delle Aree a vario titolo protette (es. SIC/ZPS)</p> <p>Utilizzo di strumenti di mitigazione, quali panne antitorbidità, atti a limitare la dispersione dei materiali fini durante le operazioni di installazione delle strutture.</p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							tali interventi siano fatti in canali di collegamento mare-laguna <u>ACQUACOLTURA</u> Possibile cambiamento delle condizioni ambientali fisiche e biogeochimiche in aree utilizzate per attività di acquacoltura, nonché sottrazione di spazi idonei e vocati per il settore	
358	Costruzione di opere di difesa strutturale	Zone costiere	Creazione di strutture per contrastare l'intrusione salina	Costruzione di strutture artificiali per contrastare la penetrazione dell'acqua salata in falde, nei corsi d'acqua e aree agricole.	Aumento della frequenza di fenomeni di intrusione delle acque saline.	Ridurre e gestire eventuali perdite agricole causate da inondazioni e fenomeni di mareggiata.	<u>AVIFAUNA</u> Impatto su uccelli laro-limicoli che si alimentano e in parte nidificano in aree intertidali e argini naturali <u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> Creazione di una disconnessione nel corpo idrico in corrispondenza della barriera Interferenza con fauna ittica Interferenza con il transito dei natanti Necessità di manutenzione continuativa estiva (durante l'utilizzo) ed invernale (in caso di piena) In caso di piena gli sbarramenti classici con pile in alveo possono essere particolarmente problematici perché tendono a bloccare il materiale flottante (alberi/tronchi) In generale le barriere antisale funzionano bene in condizioni di moderata criticità ma non contrastano efficacemente la risalita in caso di magre estreme dei fiumi Interferenza su habitat e specie marine e marino-costiere e su biodiversità: alterazione dell'habitat con creazione di substrato duro artificiale alterazioni delle comunità biologiche autoctone e reclutamento di specie non indigene.	<u>AVIFAUNA</u> Misure compensative mediante la creazione di nuovi habitat idonei <u>COSTE E BIODIVERSITÀ MARINA</u> È indispensabile che la costruzione di barriere antisale sia accompagnata anche da altre misure, in particolare: - miglior gestione delle risorse idriche a monte delle strutture artificiali (in caso di fiumi) o nei comprensori agricoli, con riutilizzo delle acque reflue dove possibile - costruzione ed utilizzo di dissalatori - utilizzo di acque salmastre (più facilmente desalinizzabili) dove possibili - in agricoltura, impiego di colture resistenti al sale o meno esigenti dal punto di vista dell'irrigazione Normativa e pianificazione di settore in materia di gestione delle risorse idriche, Direttiva 2000/60 in materia di Acque, COM/2021/669 Strategia UE per il suolo al 2030, Contratti di Fiume-Costa ex art.68 bis D.Lgs 152/2006 Piani difesa/gestione coste regionali Utilizzo di strumenti, quali panne antitorbidità, atti a limitare la dispersione dei materiali fini durante le operazioni di installazione delle strutture

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							Eventuale risospensione dei sedimenti con possibili effetti sulla qualità delle acque ed ecosistemi a seguito di movimentazione dei fondali marini	
26	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Agricoltura	Investimenti in immobilizzazioni materiali per l'efficientamento delle reti e risparmio idrico	Investimenti per il miglioramento sostanziale delle reti irrigue a diretto servizio delle aziende agricole al fine di ottimizzare l'uso della risorsa idrica ed eliminare o ridurre le perdite	Potenziale riduzione della produttività per colture energetiche come il girasole, colza, Brassica carinata, cartamo. Possibili riduzioni di resa per il frumento duro nelle zone tirreniche e adriatiche Moderate riduzioni di resa per frumento duro e tenero nel Sud Italia Significative riduzioni di resa per il mais Incremento delle richieste idriche per diverse colture in asciutto (colture da tubero, olivo, vite). Incremento dei costi di condizionamento termico per colture orticole in ambiente controllato. Potenziale riduzione della produttività dei sistemi pastorali estensivi.	Migliorare l'efficienza aziendale e aumentare l'integrazione territoriale delle imprese agricole		
49	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Agricoltura	Recupero, ristrutturazione e manutenzione delle sistemazioni idraulico-agrarie	Recupero, ristrutturazione e manutenzione delle sistemazioni idraulico-agrarie in particolare negli ambienti collinari, attraverso la progettazione partecipata a scala di micro bacino (terrazzamenti, ciglionamenti, impianti di filari a girapoggio, ecc)	Tutti gli impatti del settore	Promuovere l'uso di strumenti e investimenti per la prevenzione e gestione del rischio in agricoltura	<u>PATRIMONIO CULTURALE</u> La presenza di questi segni potrebbe generare nel territorio rurale delle rotture, negli equilibri, ecologici e nelle relazioni percettive <u>BIODIVERSITÀ</u> Possibili impatti dovuti all'alterazione e alla frammentazione degli habitat naturali che caratterizzano i corpi idrici superficiali, quali torrenti, fiumi e canali dei sistemi agricoli	<u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Sistemi delle tutele del territorio rurale presenti nei Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica per la salvaguardia per le aree di maggior valore, Programma di sviluppo rurale nazionale 2014-2022). <u>BIODIVERSITÀ</u> , Programma di sviluppo rurale nazionale 2014-2022). Decreto MiPAAF dell'8 febbraio 2016, n. 3536
121	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Energia	Promozione dello sviluppo di "microgrid"	Riduzione del livello di dipendenza energetica delle realtà locali, accompagnato da un'attenta analisi delle situazioni locali per	Aumento della resistenza nelle linee di trasmissione e conseguenti perdite sulla rete	Riduzione delle perdite di energia dalle reti di		

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
				individuare i casi in cui le microgrid comportino effettivi vantaggi rispetto alla rete pubblica, per minimizzare i rischi derivanti da un'eccessiva frammentazione del sistema		trasmissione e distribuzione		
123	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Energia	Interramento di parte della rete	Riduzione dell'esposizione della rete al surriscaldamento e, nello stesso tempo, minimizzazione degli impatti visivi e ambientali	Aumento della resistenza nelle linee di trasmissione e conseguenti perdite sulla rete	Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione	<p><u>RISCHIO GOMORFOLOGICO</u> Possibili interferenze con fenomeni franosi superficiali, sprofondamenti di varia genesi, fenomeni di compattazione e liquefazione dei terreni.</p> <p><u>SUOLO</u> Possibili effetti/impatti sul consumo di suolo in fase di cantiere (consumo di suolo reversibile)</p> <p><u>BIODIVERSITÀ</u> In presenza di emergenze naturalistiche e di Aree Protette possibile alterazione e frammentazione delle specie vegetali e degli habitat d'interesse comunitario, nonché disturbo delle specie faunistiche, dovuti alle attività di scavo e di cantierizzazione</p> <p><u>ATMOSFERA (emissioni)</u> Potenziale aumento delle emissioni legate alle macchine movimento terra e alle attività di scavo</p>	<p><u>RISCHIO GOMORFOLOGICO</u> D.Lgs. 152/2006 DM 17.01.2018/NTC (Norme Tecniche per le Costruzioni) Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) – ISPRA</p> <p><u>SUOLO</u> Monitoraggio annuale del consumo di suolo (rif. Rapporto ISPRA/SNPA)</p> <p><u>BIODIVERSITÀ</u> Direttiva 92/43/CEE (Habitat) Direttiva 2009/147/CE(Uccelli) Strategia Nazionale Biodiversità 2030 (SNB 2030) Piani Parco e/o Piani di Gestione</p> <p><u>ATMOSFERA (emissioni)</u> Consuete attività di cantiere e relative indicazioni per contenere gli impatti</p>
140	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Energia	Realizzazione di reti di bacini interconnesse su scala regionale o nazionale	Realizzazione di reti di bacini interconnesse su scala regionale o nazionale	Impatti negativi sulla generazione idroelettrica dovuta all'aumento della variabilità delle risorse idriche disponibili.	Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica	<u>RISORSE IDRICHE</u> riduzione infiltrazione	<u>RISORSE IDRICHE</u> norme di invarianza idraulica
142	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Energia	Integrazione e sviluppo delle reti	Aumento del grado di interconnessione della rete elettrica anche al fine di integrare i contributi da fonte rinnovabile	Aumento dei CDD (Cooling Degree Days). Incremento della punta di domanda energetica estiva. Rischio Blackout.	Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento	<p><u>RISORSE IDRICHE</u> riduzione infiltrazione</p> <p><u>SUOLO</u> Consumo di suolo Rischio per l'avifauna di elettrocuzione e collisione con i cavi aerei</p> <p><u>AVIFAUNA</u></p>	<p><u>RISORSE IDRICHE</u> norme di invarianza idraulica</p> <p><u>SUOLO</u> Monitoraggio annuale del consumo di suolo (rif. Rapporto ISPRA/SNPA)</p> <p>Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio</p> <p><u>AVIFAUNA</u></p>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
							Rischio per l'avifauna di elettrocuzione e collisione con i cavi aerei	Incentivo all'interramento delle reti elettriche; in alternativa, uso di tecniche che mitigano i rischi di elettrocuzione/collisione nella progettazione di nuove linee aeree e messa in sicurezza dei conduttori della rete aerea già esistente.
144	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Energia	Promozione dell'evoluzione in corso da un sistema centralizzato a uno distribuito	Promozione della generazione elettrica da parte dei consumatori, al fine di ridurre la vulnerabilità della rete	Aumento dei CDD (Cooling Degree Days). Incremento della punta di domanda energetica estiva. Rischio Blackout.	Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento		
264	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Risorse idriche	Incremento della connettività delle infrastrutture idriche	Aumentare la connettività tra le infrastrutture idriche costituite dalle opere necessarie a prelevare, trattare, immagazzinare e distribuire la risorsa idrica agli scopi di irrigazione, allontanamento delle acque di scolo e distribuzioni della risorsa idrica.	Riduzione della disponibilità di acqua per usi civili, urbani, e produttivi. Siccità. Riduzione delle disponibilità di acqua fluviale. Allagamenti.	Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione	<u>RISORSE IDRICHE</u> riduzione infiltrazione nel suolo possibili effetti sulla disponibilità di risorse idriche per altri utilizzi (es. acquacoltura) <u>SUOLO</u> Consumo di suolo <u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Impatti legati direttamente o indirettamente all'alterazione/modificazione materiale, visiva e percettiva del contesto paesaggistico, alle trasformazioni di uso del suolo, anche temporanee. <u>ENERGIA</u> Potenziale incremento della domanda di energia elettrica	<u>RISORSE IDRICHE</u> piano d'ambito, norme di invarianza idraulica, piani di bilancio di distretto <u>SUOLO</u> Monitoraggio annuale del consumo di suolo (rif. Rapporto ISPRA/SNPA) Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio <u>PATRIMONIO CULTURALE</u> Rispetto della pianificazione di settore e delle norme paesaggistiche e/o di tutela del patrimonio storico e architettonico (es. Piani Paesaggistici Regionali, richiesta di autorizzazione paesaggistica).
265	Manutenzione, miglioramento e interconnessione delle reti	Risorse idriche	Manutenzione della rete idrica a funzione multipla	Gestione idonea, miglioramento e manutenzione della rete idrica artificiale in funzione multipla di bonifica e irrigazione.	Riduzione della disponibilità di acqua per usi civili, urbani, e produttivi. Siccità. Riduzione delle disponibilità di acqua fluviale. Allagamenti.	Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione		
124	Sistemi di trasmissione flessibili	Energia	Utilizzo di sistemi di trasmissione flessibili in corrente alternata	Utilizzo di sistemi di trasmissione in corrente alternata per rendere i sistemi più controllabili	Aumento della resistenza nelle linee di trasmissione e conseguenti perdite sulla rete	Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione		
141	Stoccaggio dell'energia	Energia	Utilizzo di sistemi di stoccaggio dell'energia	Installazione di sistemi che permettano di affrontare il carattere intermittente delle fonti rinnovabili e l'aumento della	Tutti gli impatti del settore	Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative	<u>RISORSE IDRICHE</u> riduzione infiltrazione in funzione delle caratteristiche dimensionali delle opere	<u>RISORSE IDRICHE</u> norme di invarianza idraulica <u>SUOLO</u>

ORD	Principali tipi di azione	Settore	Azione/misura	Descrizione azione/misura	Impatti dei CC target dell'azione (DB azioni settoriali) da tradurre come effetti positivi	Obiettivo DB azioni settoriali	Potenziale effetti negativi in fase attuativa	Indicazioni/strumenti per l'attuazione
				variabilità legato ai cambiamenti climatici			<u>SUOLO</u> Degrado e consumo di suolo <u>RIFIUTI</u> Potenziale impatto dovuto allo smaltimento e riciclo delle batterie a fine vita	Monitoraggio annuale del consumo di suolo (rif. Rapporto ISPRA/SNPA) Utilizzo di aree già compromesse o di territori di minor pregio <u>RIFIUTI</u> Rispetto della normativa vigente in tema rifiuti
146	Stoccaggio dell'energia	Energia	Sviluppo di sistemi di stoccaggio diffuso	Promuovere lo sviluppo di sistemi di stoccaggio diffuso dell'elettricità che possano contribuire a ridurre lo sbilanciamento. Tali sistemi potranno inoltre permettere di programmare meglio la produzione rinnovabile e eventualmente spostarla in ore a più alto fabbisogno se necessario.	Tutti gli impatti del settore	Incremento della resilienza del sistema energetico	<u>RISORSE IDRICHE</u> riduzione infiltrazione in funzione delle caratteristiche dimensionali delle opere <u>SUOLO</u> Consumo di suolo <u>RIFIUTI</u> Potenziale impatto dovuto allo smaltimento e riciclo delle batterie a fine vita	<u>RISORSE IDRICHE</u> norme di invarianza idraulica <u>RIFIUTI</u> Rispetto della normativa vigente in tema rifiuti
MACRO-CATEGORIE - SOLUZIONI BASATE SUI SERVIZI ECOSISTEMICI								
CATEGORIA - ECOSISTEMI FORESTALI E AGRO-FORESTALI								
186	Ecosistemi forestali	Foreste	Infrastrutture di protezione per la tutela e conservazione della biodiversità – fauna selvatica	Tutela e controllo della fauna selvatica in foresta, mediante la costruzione di torrette per l'avvistamento, la realizzazione di punti di raccolta, opere di recinzioni e protezione per gli animali, al fine della tutela attiva di habitat e specie forestali minacciate da eccessivo carico e da danni causati da animali selvatici e/o domestici o per azione umana, favorendo al contempo anche la coesistenza con le attività antropiche	Tutti gli impatti del settore	Tutelare e conservare la biodiversità e aumentare la resilienza nel settore forestale	<u>BIODIVERSITÀ</u> Le opere di recinzione potrebbero interferire con l'ampiezza degli areali minimi vitali delle specie ombrello che caratterizzano gli habitat e causarne la scomparsa (ad es. orso marsicano), con ripercussioni sulle altre specie collocate nei livelli inferiori della piramide trofica.	<u>BIODIVERSITÀ</u> pianificazione/programmazione di interventi in materia di tutela e controllo della fauna selvatica in foresta:

Nel corso delle attività di formazione del PNACC, le 361 azioni di adattamento settoriali individuate e 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, come descritto al paragrafo 4.5 del piano.

Scendendo nel dettaglio del criterio "effetti di secondo ordine" è possibile trarre informazioni utili alla valutazione degli effetti cumulativi delle azioni incluse nel DB delle azioni, come di seguito illustrato.

Effetti cumulativi

Il carattere cumulativo degli effetti (valutazione prevista dall'All. VI al D. Lgs. 152/06) delle azioni/misure settoriali è stato valutato mediante l'analisi del carattere di intersettorialità (cfr. DB Allegato IV del Piano), inteso come la capacità di una singola azione/misura di produrre effetti su più settori contemporaneamente.

Solo il 23,3% delle azioni relative ad un determinato settore è risultato non avere rapporti o impatti con gli altri settori presi in considerazione nel Piano (Tabella 5-3).

Tabella 5-3: Analisi degli effetti cumulativi - distribuzione delle azioni su più settori.

Intersettorialità delle azioni	nr 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 converge e da essi si dirama 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 è fortemente correlato con dissesto geologico, idrologico e idraulico, risorse idriche, trasporti e zone costiere; infine, il settore risorse idriche forma un raggruppamento con acquacultura, 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.

Altro elemento a supporto dell'analisi del carattere cumulativo degli effetti ambientali delle azioni settoriali è la valutazione del valore delle azioni rispetto alla presenza o meno di effetti di secondo ordine, criterio legato all'attitudine delle azioni settoriali a produrre effetti positivi e/o negativi su altri settori.

Per "effetti di secondo ordine" si intendono gli effetti positivi, o negativi, che derivano dall'attuazione delle azioni di adattamento, ma che non ne costituiscono il fine principale ed esplicito. In caso di effetti positivi si parla di benefici ancillari delle azioni di adattamento in grado di produrre effetti anche al di fuori del loro

esclusivo contesto (win-win). Esistono poi azioni che non hanno effetti di secondo ordine (no-regret) e che quindi non comportano elementi di conflittualità con altri settori. Infine, esistono azioni che possono avere effetti di secondo ordine negativi, come ad esempio alcune azioni infrastrutturali tradizionali (grey). La valutazione basata su questi criteri ha quindi dato minore valore alle azioni con effetti di secondo ordine negativi.

Le tabelle seguenti (da Tabella 5-4 a Tabella 5-6) riassumono l'analisi delle azioni in base al criterio degli effetti di secondo ordine.

Tabella 5-4: Analisi delle azioni rispetto agli effetti di secondo ordine No-regret

Effetti di secondo ordine: No-regret	AC	AG	DS	DI	EA	EM	ET	EN	FO	IP	IU	PC	PM	RI	SA	TR	ZC	TU	TS
Alta	9	27	10	29	5	24	19	21	34	13	16	12	15	27	20	14	19	8	13
Medio-alta																			
Media								3	1				4				3		
Medio-bassa																			
bassa		1						4		1			1	1			4	2	
n.d.												1							

Tabella 5-5: Analisi delle azioni rispetto agli effetti di secondo ordine win-win

Effetti di secondo ordine: Win-win	AC	AG	DS	DI	EA	EM	ET	EN	FO	IP	IU	PC	PM	RI	SA	TR	ZC	TU	TS
Alta	8	26	10	28	5	23	19	23	35	12	16	12	16	27	20	14	17	8	12
Medio-alta																			
Media	1	1		1		1		4		1			3				3		1
Medio-bassa																			
bassa		1						1		1			1	1			6	2	
n.d.												1							

Tabella 5-6: Analisi delle azioni rispetto agli effetti di secondo ordine negativi

Effetti di secondo ordine: negativi	AC	AG	DS	DI	EA	EM	ET	EN	FO	IP	IU	PC	PM	RI	SA	TR	ZC	TU	TS
Alta		1						3					2	1			4	2	
Medio-alta																			
Media								3		1	1						3		
Medio-bassa																			
bassa	9	27	10	29	5	24	19	22	35	13	15	12	18	27	20	14	19	8	13
n.d.												1							

In particolare, con riferimento alle azioni grey, emerge che 25 delle 41 totali hanno ricevuto giudizio basso rispetto al criterio effetti di secondo ordine negativi (Tabella 5-7).

Tabella 5-7: Analisi delle azioni GREY rispetto agli effetti di secondo ordine negativi

Effetti di secondo ordine negativi	AC	AG	EN	FO	IP	PC	RI	ZC	TU	tot
Alta		1	3				1	3	2	10
Medio-alta										
Media			3		1			2		6
Medio-bassa										
bassa	1	3	10	3	1	1	2	4		25
	1	4	16	3	2	1	3	9	2	41

6 Valutazione d'Incidenza Ambientale

La normativa in tema di VAS prevede che la VinCA (Direttiva 92/43/CEE, DPR 357/97 e s.m.i.) sia ricompresa nella VAS e quindi il RA contenga gli elementi di cui all'allegato G del DPR 357/97 e s.m.i..

La Valutazione d'Incidenza è il procedimento di carattere preventivo, prevista dall'art. 6, comma 3, della Direttiva "Habitat" (Direttiva 92/43/CE) e disciplinata, a livello nazionale, dall'art. 6 del DPR 12 marzo 2003, n. 120 (G.U. n. 124 del 30 maggio 2003) che ha sostituito l'art.5 del DPR 8 settembre 1997, n. 357, al quale è necessario sottoporre qualsiasi piano o progetto che possa avere incidenze significative su un sito della Rete Natura 2000, singolarmente o congiuntamente ad altri piani e progetti e tenuto conto degli obiettivi di conservazione del sito stesso.

Ai fini della valutazione di incidenza del Piano è necessario predisporre uno "studio di incidenza" volto ad individuare e valutare i principali effetti che il Piano possa avere sui siti interessati.

Lo Studio di Incidenza del PNACC è riportato in Allegato 3 al presente Rapporto Ambientale.

7 Misure di monitoraggio

Il monitoraggio ambientale del Piano così come previsto dal D.lgs 152/06 ha due principali finalità: "assicurare il controllo sugli effetti significativi sull'ambiente derivanti dall'attuazione del Piano approvato e verificare il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità prefissati, così da individuare tempestivamente gli effetti negativi imprevisti e adottare le opportune misure correttive".

Il monitoraggio ambientale segue l'intero ciclo di vita del Piano, compresi i suoi aggiornamenti rispetto ai quali rappresenta una componente significativa di indirizzo e riorientamento mediante la valutazione dei risultati periodici che saranno prodotti oltre che costituire un patrimonio informativo di cui tener conto per successivi atti di pianificazione e programmazione.

Come previsto dal D.lgs 152/06 “il monitoraggio è effettuato dall'Autorità procedente in collaborazione con l'Autorità competente anche avvalendosi del sistema delle Agenzie ambientali e dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale”.

Nel Piano devono essere individuate le responsabilità e le risorse necessarie per la realizzazione e la gestione del monitoraggio.

7.1 Impostazione metodologica del monitoraggio ambientale

Partendo dalle finalità del monitoraggio e dalle indicazioni normative sopra sintetizzate e in riferimento alla metodologia messa a punto da ISPRA e condivisa con le Agenzie ambientali e con il MATTM (ora MASE), il sistema di monitoraggio prevede le seguenti tre articolazioni:

- descrizione dell'evoluzione del contesto ambientale interessato dagli effetti del P/P con riferimento agli obiettivi di sostenibilità del Piano;
- lo stato di avanzamento dell'attuazione delle misure del Programma che hanno effetti positivi o negativi sugli obiettivi di sostenibilità del Piano;
- il controllo degli effetti ambientali del Piano.

Le tre componenti del monitoraggio sono attuate 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.

Queste tre tipologie di indicatori sono tra di loro correlati; in particolare gli indicatori di contributo e di contesto si baseranno su quelli utilizzati per inquadrare e caratterizzare il contesto ambientale e per stimare gli effetti ambientali positivi e negativi previsti a seguito dell'attuazione del Piano.

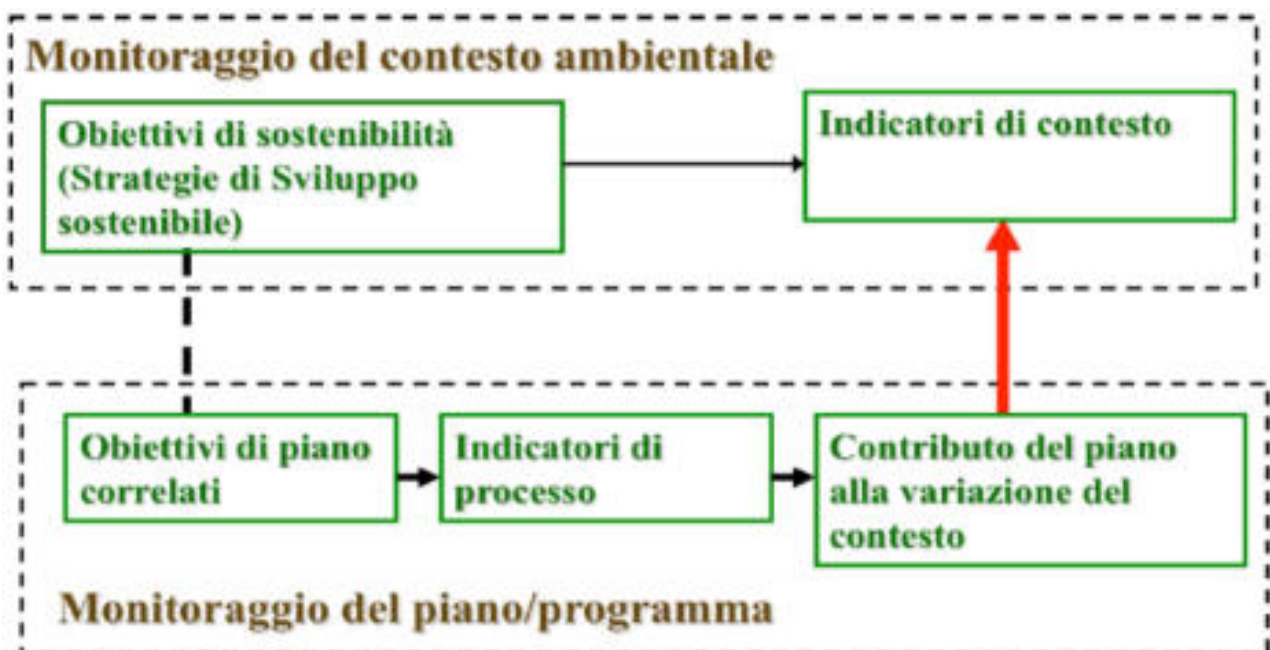


Figura 7-1: schema metodologico del monitoraggio ambientale di Piani e Programmi

Nell'ambito del monitoraggio, gli indicatori devono rispondere ad alcuni requisiti, tra cui la popolabilità e l'aggiornabilità, la disponibilità di serie storiche significative, la sensibilità alle azioni del piano da monitorare.

Nella organizzazione del sistema di monitoraggio occorre tenere presente il percorso di attuazione e di aggiornamento del Piano e i successivi livelli di pianificazione/programmazione e progettazione con relative valutazioni ambientali, e quindi identificare le potenziali relazioni con le VAS dei piani settoriali regionali/locali, con le Valutazioni di Impatto Ambientale e le Valutazioni di Incidenza dei progetti che discenderanno dall'attuazione del Piano.

Il monitoraggio ambientale del Piano segue l'intero suo ciclo di vita, compresi i suoi aggiornamenti rispetto ai quali rappresenta una componente significativa di indirizzo e riorientamento mediante la valutazione dei risultati periodici che saranno prodotti oltre che costituire un patrimonio informativo di cui tener conto per altri e successivi atti di pianificazione e programmazione.

Per tale motivo questa prima versione del Piano di monitoraggio costituisce l'avvio di un percorso che dovrà condurre al completamento del Piano stesso con il consolidamento dei contenuti, la definizione di dettaglio delle responsabilità e delle modalità operative e risorse necessarie per l'attuazione del monitoraggio.

Esso sarà realizzato e gestito attraverso la collaborazione tra Autorità Procedente e Autorità Competente per la VAS anche avvalendosi del SNPA come previsto dal D.lgs 152/06.

7.2 Monitoraggio dell'attuazione del PNACC

Come riportato nel PNACC, un sistema di monitoraggio costituisce un elemento essenziale del processo di attuazione di un Piano e, inoltre, costituisce il supporto fondamentale al monitoraggio ambientale dello stesso.

L'individuazione di indicatori adeguati per ciascuno dei processi di monitoraggio, reporting e valutazione (MRV) 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 (stakeholder);
- (v) confrontare i risultati di adattamento a scala sub-nazionale e tra settori di interesse (Harley and van Minnen 2009, p.4).

Le azioni individuate dal PNACC sia di tipo generale che settoriale sono accompagnate da indicatori di misura dello stato di avanzamento, che rispondo anche al ruolo di indicatori di processo a supporto del monitoraggio ambientale, così come descritto in precedenza.

La tabella seguente (Tabella 7-1), ripresa dal PNACC - paragrafo 4.1 riporta gli indicatori di avanzamento per le azioni soft di tipo generale.

Tabella 7-1: Misure/azioni soft generali e indicatori di processo

N	Misura	Azione	Obiettivo	Indicatore di avanzamento (processo) (metodo di misura)	Target	Tempi di attuazione	Soggetti coinvolti
1	Rafforzamento amministrativo per l'adattamento a livello nazionale (Governance)	Istituzione dell' "Osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici"	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 (Governance)	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	Mainstreaming 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 mainstreaming / 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 (Governance)	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 (Informazione)	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

In riferimento alle azioni settoriali di adattamento, il DB, allegato IV del PNACC, prevede per ciascuna azione indicatori per la valutazione dell'avanzamento e dell'efficacia.

L'elenco degli indicatori è stato costruito a partire dalle indicazioni degli stessi esperti che hanno selezionato le azioni settoriali incluse nel database. Gli indicatori sono stati successivamente rivisti nel loro insieme e valutati da esperti di MRV in tema di adattamento ai cambiamenti climatici allo scopo di armonizzare l'elenco degli indicatori.

Gli "Indicatori di avanzamento" e "Indicatori di efficacia" del Database rappresentano un portfolio di indicatori che dovranno essere successivamente raffinati e adattati al contesto territoriale, al fine di fornire un valido supporto al sistema di MRV nazionale.

La predisposizione di un sistema di monitoraggio degli impatti dei cambiamenti climatici, attraverso un set di indicatori a livello nazionale, è un indispensabile elemento propedeutico allo sviluppo di un sistema di MRV poiché consente di disporre di un quadro conoscitivo di riferimento (baseline) rispetto al quale poter monitorare nel tempo l'efficacia delle azioni di adattamento.

In ogni caso, anche durante la fase di implementazione del Piano, l'elenco degli indicatori deve essere inteso come un documento "in itinere", ossia che necessita di essere revisionato e aggiornato in base alle nuove informazioni disponibili, considerando eventuali cambiamenti nel contesto complessivo italiano.

Si rimanda al DB, allegato IV al PNACC, per la consultazione degli indicatori di processo per le azioni settoriali di adattamento.

7.3 Monitoraggio del contesto ambientale

La descrizione dell'evoluzione del contesto ambientale con riferimento agli obiettivi di sostenibilità generali avviene mediante l'individuazione di idonei indicatori, che consentono di misurare l'evoluzione del contesto ambientale anche dovuto a fattori esogeni al Piano.

La scelta degli indicatori di contesto si basa sull'inquadramento del contesto ambientale presentato nel capitolo 3 del presente Rapporto e tiene conto degli indicatori presenti nella piattaforma nazionale di adattamento ai CC nonché del report SNPA 21/2021 e delle osservazioni dei SCA.

Il primo set di indicatori da considerare è quello costituito dagli indicatori climatici, elencati nel seguito, individuati e popolati nei rapporti ISPRA della serie "Gli indicatori del clima in Italia", che si basa in gran parte su dati, indici e indicatori climatici derivati dal Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA, www.scia.isprambiente.it), realizzato dall'ISPRA in collaborazione e con i dati del Sistema Nazionale della Protezione dell'Ambiente e di altri organismi titolari delle principali reti osservative presenti sul territorio nazionale.

Tali indicatori sono infatti alla base della comprensione degli effetti che si registrano su tutte le componenti ambientali ed in relazione ad essi devono essere letti ed interpretati gli indicatori di contesto individuati per il monitoraggio delle diverse tematiche ambientali prese in considerazione.

INDICATORI CLIMATICI:

- Temperatura media (Tmedia)
- Temperatura massima (Tmax)
- Temperatura minima (Tmin)
- Giorni con gelo (FD - numero di giorni con $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C}$)
- Notti tropicali (TR - numero di giorni con $T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$)
- Giorni estivi (SU - numero di giorni con $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$)
- Notti calde (TN90p - percentuale di giorni in un anno con $T_{min} > 90^{\circ}$ percentile della corrispondente distribuzione del periodo climatologico)
- Notti fredde (TN10p - percentuale di giorni in un anno con $T_{min} < 10^{\circ}$ percentile della corrispondente distribuzione del periodo climatologico)
- Giorni caldi (TX90p - percentuale di giorni in un anno con $T_{max} > 90^{\circ}$ percentile della corrispondente distribuzione del periodo climatologico)
- Giorni freddi (TX10p - percentuale di giorni in un anno con $T_{max} < 10^{\circ}$ percentile della corrispondente distribuzione del periodo climatologico)

- Indice di durata dei periodi di caldo (WSDI - numero di giorni nell'anno con $T_{max} > 90^{\circ}$ percentile della distribuzione del periodo climatologico, per almeno sei giorni consecutivi)
- Precipitazione cumulata (Prec)
- Giorni con precipitazioni intense (R10 - giorni con precipitazioni ≥ 10 mm)
- Giorni molto piovosi (R95p - somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere $> 95^{\circ}$ percentile della distribuzione delle precipitazioni nel periodo climatologico)
- Intensità di pioggia giornaliera (SDII - precipitazione cumulata annuale divisa per il numero di giorni piovosi nell'anno)
- Temperatura superficiale del mare
- Variazione del livello medio mare

Nella tabella seguente (Tabella 7-2) sono riportati gli indicatori contesto per il monitoraggio delle questioni ambientali considerate, messi in relazione con gli obiettivi ambientali desunti dalla normativa definiti al capitolo 4 del presente rapporto.

Tabella 7-2: Indicatori di monitoraggio del contesto ambientale

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
Biodiversità		Ecosistemi terrestri	Salvaguardare e migliorare lo stato di conservazione di specie e habitat per gli ecosistemi, terrestri e acquatici	<p>Contrasto alla perdita di biodiversità</p> <p>Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e degli habitat e aumentare la biodiversità</p> <p>Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consistenza e livello di minaccia di specie animali e vegetali – ISPRA - Stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario – Reporting Direttiva Habitat - Consumo di suolo in aree protette - ISPRA - Stato di salute delle popolazioni di uccelli migratori - ISPRA - Ricchezza e abbondanza relative degli uccelli in Italia – ISPRA - Indice di variazione della data di migrazione primaverile (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici) - Indice di consistenza degli accumuli di grasso durante la migrazione primaverile (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici)
		Specie aliene	Arrestare la diffusione delle specie esotiche invasive	Contrasto all'invasione di specie aliene	N. e distribuzione di specie alloctone animali e vegetali - ISPRA

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
				Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie	
		Foreste	<p>Garantire la gestione sostenibile delle foreste e combatterne l'abbandono e il degrado</p> <p>Efficienza nell'impiego delle risorse forestali per uno sviluppo sostenibile delle economie nelle aree rurali, interne e urbane del Paese</p>	<p>Aumentare la resilienza a fattori di disturbo quali incendi, insetti e malattie per proteggere la biodiversità e mantenere la produttività forestale</p> <p>Aumentare la resilienza nel settore forestale e il mantenimento dei servizi ecosistemici promuovendo la pianificazione e la gestione forestale sostenibile</p> <p>Favorire e sostenere le soluzioni basate sui servizi ecosistemici</p> <p>Promuovere l'uso sostenibile ed efficiente delle risorse forestali attraverso l'adeguamento e miglioramento di impianti e infrastrutture</p> <p>Tutelare e conservare la biodiversità e aumentare la resilienza nel settore forestale</p> <p>Promuovere la pianificazione forestale, anche in ottica di</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie forestale: stato e variazioni - ISPRA - Entità degli incendi boschivi (superficie percorsa dal fuoco e numero di incendi boschivi, complessivi e in aree protette, superficie boscata e non boscata percorsa dal fuoco, Superficie media annua di incendi boschivi) - ISPRA - Contributo delle foreste nazionali al ciclo globale del carbonio - ISPRA

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
				prevenzione e gestione dei rischi, e la semplificazione e armonizzazione della normativa e programmazione in ambito forestale	
		Aree naturali protette	Aumentare la superficie protetta terrestre e marina e assicurare l'efficacia della gestione	Adeguare i corridoi ecologici e le aree protette al cambiamento degli areali delle specie	- Aree protette e siti Natura 2000: N. ed estensione (assoluta e percentuale) - ISPRA
Ambiente marino-costiero		Ecosistemi marino-costieri e di transizione	<p>Mantenere la vitalità dei mari e prevenire gli impatti sull'ambiente marino e costiero</p> <p>Garantire l'utilizzo sostenibile delle risorse naturali, e in particolare delle risorse idriche</p> <p>Prevenire e/o ridurre gli effetti dei rischi naturali e in particolare dei cambiamenti climatici, che possono essere provocati da attività naturali o umane</p>	<p>Conservazione e protezione degli ambienti marini naturali per il mantenimento di alti livelli di funzionalità e produzione di beni e servizi ecosistemici</p> <p>Contrasto alla perdita di biodiversità e all'invasione di specie aliene</p> <p>Promozione delle pratiche di gestione sostenibile degli ecosistemi marini</p> <p>Riduzione degli impatti antropici diretti</p> <p>Ridurre il degrado delle strutture coralline, habitat marini e ridurre l'energia delle onde che raggiungono il litorale</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario – Reporting Direttiva Habitat - Consistenza e livello di minaccia di specie animali e vegetali – ISPRA - Zone umide di importanza internazionale RAMSAR – ISPRA - Descrittori della Strategia marina - Stato e indici di qualità delle acque marino-costiere e di transizione e parametri a supporto (pH, salinità, acidificazione, ecc.) – ARPA, ISPRA

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
				<p>Ridurre gli impatti attraverso infrastrutture verdi, che non compromettano l'immagine di destinazione</p> <p>Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi and habitat, aumentare la biodiversità</p> <p>Ripristinare le condizioni ottimali degli ambienti di transizione e ricreare le condizioni di rifugio e trofia per la macrofauna bentonica ed ittica con incremento delle specie di interesse conservazionistico ma anche con rilancio della pesca tradizionale delle specie residenti o in transito</p> <p>Monitorare l'apporto di nutrienti e di solidi sospesi negli ambienti di transizione per programmare interventi a monte o a valle dei corsi d'acqua che confluiscono nei sistemi di transizione</p>	
		Erosione costiera	Prevenire gli impatti dell'erosione costiera attraverso nuove opere, comprese le opere marittime e gli interventi di difesa	Proteggere strutturalmente la costa dall'azione di innalzamento del mare, erosione e da eventi di mareggiata	<ul style="list-style-type: none"> - Dinamica litoranea (variazione della linea di riva) – ISPRA - Frequenza e intensità delle mareggiate – ISPRA da dati CMEMS

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
			costiera, la gestione integrata delle attività e l'adozione di misure specifiche per i sedimenti costieri e le opere costiere e la condivisione dei dati scientifici atti a migliorare le conoscenze sullo stato, l'evoluzione e gli impatti dell'erosione costiera	<p>Ridurre e/o prevenire l'esposizione di assets umani e infrastrutture ai rischi legati all'esposizione agli effetti di inondazione e erosione proteggendo le linee di costa</p> <p>Ridurre esposizione e vulnerabilità delle comunità costiere agli eventi di mareggiata</p> <p>Ridurre il degrado delle strutture coralline, habitat marini e ridurre l'energia delle onde che raggiungono il litorale</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo di suolo in area costiera – ISPRA - Grado di artificializzazione della costa – ISPRA
		Qualità delle acque marino-costiere e di transizione	Prevenire e ridurre in modo significativo l'inquinamento marino di tutti i tipi, in particolare quello proveniente dalle attività terrestri, compresi i rifiuti marini e l'inquinamento delle acque da parte dei nutrienti	<p>Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti</p> <p>Ridurre le possibilità di contaminazione da liquami e reflui urbani</p> <p>Prevenire e mitigare la salinizzazione in aree costiere</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Stato e indici di qualità delle acque marino-costiere e di transizione e parametri a supporto (pH, salinità, acidificazione, ecc.) – ARPA, ISPRA - Descrittori della Strategia Marina - Qualità delle acque di balneazione, N. di eventi di inquinamento di breve durata - ARPA, Ministero della Salute - Concentrazione di <i>Ostreopsis cf. ovata</i> - ARPA, ISPRA
Suolo e territorio		Uso e copertura del suolo	Arrestare il consumo del suolo e combattere la desertificazione	Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici	<ul style="list-style-type: none"> - Uso del suolo, copertura del suolo - ISPRA - Superficie impermeabilizzata - Consumo di suolo per categorie e sua distribuzione nei diversi ambiti

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
				<p>(incremento della permeabilità dei suoli e dell'efficienza del sistema idraulico)</p> <p>Garantire la conservazione e la tutela degli ecosistemi e habitat, aumentare la biodiversità</p>	<p>territoriali (naturale, agricolo, urbano) - ISPRA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo di suolo pro-capite e consumo marginale di suolo - ISPRA
		Degrado del suolo	<p>Arrestare il consumo del suolo e combattere la desertificazione</p> <p>Inquinamento dei suoli riportato a livelli che non siano dannosi per la salute delle persone o per gli ecosistemi</p> <p>Suoli europei sani e più resilienti e che possano continuare a fornire i loro servizi fondamentali (servizi ecosistemici)</p>	Raggiungere la Land Degradation Neutrality	<ul style="list-style-type: none"> - Degrado del suolo (perdita di produttività, erosione idrica del suolo, perdita di qualità degli habitat, perdita di carbonio organico) - ISPRA - Contenuto e perdita di carbonio organico – ISPRA - Frammentazione del territorio - ISPRA
Dissesto geologico e idraulico		Dissesto e rischio geologico e idraulico	Riduzione potenziali conseguenze negative dovuti agli eventi alluvionali per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente e il patrimonio culturale	<p>Migliorare il monitoraggio del territorio per la produzione di basi dati aggiornate</p> <p>Migliorare la conoscenza delle criticità geologiche e idrauliche del territorio e dei rischi ad essi associati</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Infrastrutture lineari (strade e ferrovie) ricadenti in aree a rischio (frana, alluvione, erosione costiera) - Pericolosità idraulica - Autorità di Bacino Distrettuali, ISPRA - Eventi alluvionali e franosi – ISPRA

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
			Prevenire i rischi naturali e antropici e rafforzare le capacità di resilienza di comunità e territori	<p>Migliorare la conoscenza dello stato dei manufatti e delle infrastrutture per aumentarne la resilienza</p> <p>Migliorare la gestione e la manutenzione del territorio</p> <p>Messa in sicurezza del territorio</p>	<ul style="list-style-type: none"> - numero e frequenza dei provvedimenti di riconoscimento dello stato di calamità naturale – Regioni, Ministeri - Consumo di suolo in aree a pericolosità idraulica - ISPRA - Aree a pericolosità da frana (mosaicatura) - ISPRA - Suolo consumato in aree a pericolosità da frana – ISPRA - Impianti RIR in aree a pericolosità di alluvioni
Risorse idriche		Qualità delle acque	<p>Prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati</p> <p>Conseguire il miglioramento dello stato delle acque e adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi</p>	<p>Garantire la funzionalità degli ecosistemi fluviali anche in periodi di magra, la sostenibilità ambientale degli usi delle risorse idriche, la sostenibilità socioeconomica dell'attività ad essi legate</p> <p>Aumentare o modificare la velocità e il volume di deflusso delle acque</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Carichi di azoto totale e fosforo totale nei principali corpi idrici - N° corpi idrici naturali in buono stato - Indicatori di stato quali – quantitativo delle risorse idriche superficiali (stato ecologico e chimico) e sotterranee (stato chimico e quantitativo) - Qualità delle acque di balneazione

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
		Aspetti quantitativi	Massimizzare l'efficienza idrica e adeguare i prelievi alla scarsità d'acqua	<p>Regolamentare le concessioni e gli usi dell'acqua in un'ottica di gestione ecosistemica</p> <p>Migliorare l'efficienza nell'uso della risorsa</p> <p>Migliorare l'efficienza delle infrastrutture idriche</p> <p>Migliorare l'efficacia della regolamentazione e nella programmazione dell'uso della risorsa</p> <p>Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (miglioramento dell'efficienza del sistema di approvvigionamento idrico)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consumi idrici per settore - Quantità di acqua prelevata e utilizzata per i diversi usi (irriguo, industriale, energetico, potabile, altri usi) - Quantità di acqua dispersa dalle reti di distribuzione - Invasi artificiali - ISPRA - Indicatori di stato quali – quantitativo delle risorse idriche superficiali (stato ecologico e chimico) e sotterranee (stato chimico e quantitativo) - Indice di Runoff (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici) - Internal Flow (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici) - Livello delle falde acquifere (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici)
		Variazione massa dei ghiacciai		Migliorare l'efficienza nell'uso della risorsa	Bilancio di massa dei ghiacciai (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici)

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
Aria e cambiamenti climatici		Emissioni di inquinanti e gas climalteranti in atmosfera	Minimizzare le emissioni e abbattere le concentrazioni inquinanti in atmosfera	<p>Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria</p> <p>Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti</p> <p>Promuovere interventi sperimentali di adattamento in aree periurbane, periferie, centri storici e spazi pubblici (miglioramento del confort termico e qualità dell'abitare)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Emissioni atmosferiche dei principali inquinanti per settori - Emissioni di gas serra per settori
		Qualità dell'aria	Mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove buona, e migliorarla negli altri casi	Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria	<ul style="list-style-type: none"> - Stato e trend delle concentrazioni dei principali inquinanti atmosferici valutati rispetto ai valori normativi (limite, obiettivo...) per la protezione della salute, della vegetazione e degli ecosistemi
		Efficienza e sicurezza energetica	Incrementare l'efficienza energetica e la produzione di energia da fonte rinnovabile evitando o riducendo gli impatti sui beni culturali e il paesaggio	<p>Incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative</p> <p>Incrementare la resilienza del sistema energetico e ridurre la vulnerabilità della produzione idroelettrica e termoelettrica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consumi finali di energia elettrica per fonte e per settori - Produzione di energia elettrica e potenza installata per fonte - Consumi finali e totali di energia per settore e per fonti primarie - Punta oraria di fabbisogno energetico nei mesi estivi

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
				<p>Promuovere ed incrementare una miglior gestione della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento</p> <p>Riduzione delle perdite di energia dalle reti di trasmissione e distribuzione</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gradiente del consumo di gas naturale per riscaldamento (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici)
Popolazione e Salute umana		Esposizione della popolazione a fattori di rischio ambientale (inquinamento atmosferico, rischio idraulico e geomorfologico)	<p>Diminuire l'esposizione della popolazione ai fattori di rischio ambientale ed antropico</p> <p>Proteggere la salute umana da eventuali pericoli derivanti dalla scarsa qualità delle acque di balneazione</p>	<p>Sviluppare sistemi informatici di monitoraggio su eventi estremi e impatti sulla salute</p> <p>Sviluppare sistemi informativi e di monitoraggio relative alle isole di calore urbano</p> <p>Procedure di valutazione del rischio e potenziamento della resilienza dei servizi idrici integrati</p> <p>Sviluppare sistemi informativi e aggiornare protocollo su contaminanti e inquinanti</p> <p>Miglioramento della capacità di adattamento tramite aumento delle conoscenze e potenziamento del monitoraggio della qualità dell'aria</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tasso mortalità malattie sistema circolatorio - Tasso mortalità malattie apparato respiratorio - Ondate di calore e mortalità - ISPRA - Numero di decessi legati ad estremi di temperatura ed eventi meteo estremi - Numero di ricoveri ospedalieri legati ad estremi di temperatura ed eventi - Densità abitativa - Popolazione residente - Grado di urbanizzazione (densità di suolo consumato e di popolazione) - Popolazione esposta ad alluvioni - ISPRA - Popolazione esposta a frane – ISPRA

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
				Prevenire rischi per la salute dei turisti dovuti ad eventi estremi o ad altre situazioni negative che possono compromettere la destinazione turistica	<ul style="list-style-type: none"> - Eventi alluvionali ed allagamenti in area urbana (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici)
Paesaggio e beni culturali		Qualità, sensibilità e vulnerabilità del paesaggio e dei beni culturali	Assicurare lo sviluppo del potenziale, la gestione sostenibile e la custodia dei territori, dei paesaggi e del patrimonio culturale	Valutare la perdita irreversibile di manufatti culturali e del paesaggio naturale	<ul style="list-style-type: none"> - Presenza di beni ed aree vincolate e/o tutelate (compresi siti UNESCO) - Consumo di suolo nelle aree vincolate - ISPRA
		Degrado dei beni culturali	Potenziare gli sforzi per proteggere e salvaguardare il patrimonio culturale e naturale del mondo	Contrastare il degrado dei materiali e delle strutture	<ul style="list-style-type: none"> - Presenza di beni ed aree vincolate e/o tutelate (compresi siti UNESCO) – SITAP MIC - Beni culturali esposti a frane e alluvioni – ISPRA - Recessione superficiale dei materiali lapidei (da Piattaforma Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici)

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
Agricoltura		Patrimonio agricolo e zootecnico	<p>Proteggere e ripristinare le risorse genetiche e gli ecosistemi naturali connessi ad agricoltura, silvicoltura e acquacoltura</p> <p>Garantire la sostenibilità di agricoltura e silvicoltura lungo l'intera filiera</p>	<p>Promuovere la selezione di genotipi resilienti e resistenti ai cambiamenti climatici e salvaguardia delle razze locali con caratteristiche di resilienza ai cambiamenti climatici</p> <p>Promuovere il benessere animale Implementazione di pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente</p> <p>Migliorare l'efficienza aziendale e aumentare l'integrazione territoriale delle imprese agricole</p> <p>Promuovere l'uso di strumenti e investimenti per la prevenzione e gestione del rischio in agricoltura</p>	<ul style="list-style-type: none"> - SAU (Superficie agricola utilizzata) - ISTAT - Aree agricole di pregio e ad alto valore naturale – Fonti regionali/locali - Superficie e produttività agricola - ISTAT - Eco-efficienza in agricoltura – ISPRA - Aziende agricole che aderiscono a misure ecocompatibili e che praticano agricoltura biologica - ISPRA
Pesca e acquacoltura		Acquacoltura	<p>Proteggere e ripristinare le risorse genetiche e gli ecosistemi naturali connessi ad agricoltura, silvicoltura e acquacoltura</p> <p>Garantire la sostenibilità di acquacoltura e pesca lungo l'intera filiera</p>	<p>Miglioramento della gestione delle risorse idriche per l'acquacoltura in acque interne</p> <p>Aumento della resilienza attraverso la pianificazione dei siti e degli impianti di acquacoltura e dei sistemi di allevamenti</p> <p>Riduzione della vulnerabilità delle produzioni, del mercato e del commercio dei prodotti d'acquacoltura</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aziende in acquacoltura e produzioni - ISPRA

Tema	ID	Questione ambientale	Obiettivo generale da politiche-normative	Obiettivi DB azioni settoriali	Indicatori di contesto
				Sviluppo di una rete di monitoraggio degli impatti e dell'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici	
		Pesca	Promuovere la pesca sostenibile, il ripristino e la conservazione delle risorse biologiche acquatiche	Contribuire a rimodulare e ridurre l'attività di pesca, con possibili cali di mortalità per gli stock Riduzione dello sfruttamento di popolazioni marine oggetto di pesca	<ul style="list-style-type: none"> - Stock ittici in sovrasfruttamento - ISPRA - Consistenza dell'attività di pesca - ISPRA - Tasso di sfruttamento da pesca delle risorse ittiche nazionali - ISPRA - Affinità termica media delle catture della pesca commerciale - ISPRA
Turismo		Turismo	Promuovere la domanda e accrescere l'offerta di turismo sostenibile	Gestione temporanea della risorsa turistica in vista di un adattamento di lungo periodo Prevenire rischi per la salute dei turisti dovuti ad eventi estremi o ad altre situazioni negative che possono compromettere la destinazione turistica Ridurre gli impatti attraverso infrastrutture verdi, che non compromettano l'immagine di destinazione	Intensità turistica - ISPRA

Elementi per lo sviluppo e/o l'implementazione di nuovi indicatori per monitorare gli effetti dei CC

Considerate le specificità del PNACC, al fine di approfondire le conoscenze sugli effetti dei cambiamenti climatici sulle componenti ambientali e meglio discriminare il contributo che l'attuazione del Piano fornisce all'adattamento a tali cambiamenti, appare opportuno considerare la possibilità di sviluppare specifici indicatori e/o implementare all'intera scala nazionale indicatori di livello locale (come ad esempio quelli descritti nel Report SNPA 21/2021) o sviluppati a livello sperimentale, anche sistematizzando le osservazioni ed i dati disponibili. Di seguito alcuni esempi di potenziale sviluppo di indicatori.

Ad esempio, in relazione agli ambienti marino costieri, per la rilevanza che tali parametri hanno sullo stato di salute degli ecosistemi marini, appare significativo poter sistematizzare dati e informazioni relative a frequenza, durata e intensità delle ondate di calore in mare, così come frequenza e intensità degli eventi di mortalità di massa, al fine di poterli ricondurre a indicatori popolabili e aggiornabili.

Per quanto riguarda le acque di balneazione, sulla base delle informazioni ad oggi disponibili per valutare l'impatto del cambiamento climatico sarebbe utile individuare degli indicatori specifici per lo studio delle proliferazioni algali, con particolare attenzione a quelle in cui le specie tossiche sono predominanti, e per determinare la frequenza degli inquinamenti di breve durata. Per quanto riguarda la distribuzione delle specie cianobatteri, nei laghi balneabili italiani non si ha un quadro a livello nazionale, pertanto un indicatore specifico, elaborato su scala nazionale, consentirebbe di individuare eventuali modifiche a livello di specie indotto proprio da mutazioni dei fattori climatici. In particolare, per gli inquinamenti di breve durata nel "Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici" (SNPA 112/21) è già presente un indicatore che riporta il numero di eventi che si verificano durante la stagione balneare, tuttavia questo potrebbe essere migliorato se associato a variabili climatiche quali i volumi di pioggia, che nella maggior parte dei casi ne sono la causa. Le informazioni che ne deriverebbero potrebbero aiutare a sviluppare sistemi modellistici capaci di prevedere alcune forme di impatto.

Per quanto riguarda gli ambienti portuali, nell'ambito di progetti di ricerca sono stati sviluppati alcuni indici che consentono di misurare il grado di resilienza dei sistemi portuali:

- il Port Resilience Index (PRI), sviluppato da un gruppo di ricercatori dell'università di Vigo (Leon-Mateos et al., 2021), prende in esame gli stakeholders delle attività portuali per determinare il livello di resilienza operativa dei processi portuali stessi;
- l'indice composito di vulnerabilità (VI) sviluppato per una piccola realtà portuale dai ricercatori del Dipartimento di Ingegneria meccanica dell'università del Western Macedonia, Grecia (Kontogianni et al., 2018), che, prendendo in considerazione le dimensioni fisiche, socio-economiche ed economiche degli impatti dei cambiamenti climatici sui piccoli porti, permette di classificare con un valore percentuale la diversa vulnerabilità di porti anche geograficamente vicini tra loro.

Per quanto riguarda il settore agricolo, attualmente non sono stati individuati, a scala nazionale, indicatori utili a valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura. Tuttavia, la regione Emilia Romagna ha sviluppato, a scala regionale, un indicatore utile a quantificare l'impatto dei cambiamenti climatici relativi all'aumento della siccità sui sistemi agricoli: l'indicatore di deficit traspirativo (<http://climadat.isprambiente.it/>), calcolato come differenza tra traspirazione massima e traspirazione effettiva. Tale indicatore è stato applicato per alcune colture agricole rappresentative dell'Emilia-Romagna (erba medica, mais, vite).

Per quanto riguarda il tema della salute, con riguardo alle malattie legate a vettori, la regione Emilia Romagna monitora la variazione della densità di zanzare di interesse sanitario, quali *Aedes albopictus* (Zanzara Tigre) e *Culex pipiens*.

Riguardo ai consumi energetici, per il settore residenziale sono disponibili statistiche e dati che mettono in evidenza la rilevanza dei consumi finali destinati al riscaldamento (65% dei consumi totali nel 2020) e al raffrescamento. Non sono disponibili analoghe statistiche per i servizi ma è ragionevole considerare che il riscaldamento degli ambienti occupi una quota di comparabile rilevanza a quella registrata nel settore residenziale. Alla luce del previsto incremento dell'elettrificazione dei consumi finali e dell'incremento dei consumi elettrici per il raffrescamento è chiara la necessità di implementare indicatori relativi alla destinazione d'uso dei consumi finali nel settore terziario analogamente a quanto disponibile nel residenziale.

Per quanto riguarda l'avifauna, l'indice di variazione della data di migrazione primaverile (cfr paragrafo 3.2.1), pur essendo sviluppato su un set di specie con diverse caratteristiche e avendo una adeguata copertura temporale e spaziale, è limitato ad un solo tratto fenotipico e non riflette tutti i possibili impatti del cambiamento climatico sulla biologia degli uccelli. Si auspica dunque lo sviluppo di altri indicatori che possano riflettere gli effetti del cambiamento climatico sull'abbondanza e la distribuzione delle popolazioni italiane. Ogni 6 anni ISPRA produce il Rapporto sull'Applicazione della Direttiva Uccelli 147/2009/CE in Italia, nell'ambito dell'attività di rendicontazione svolta dall'Italia per ottemperare agli obblighi previsti dall'art. 12 della Direttiva. Per ogni specie, il Rapporto fornisce una stima della distribuzione, della dimensione e del trend di popolazione in Italia nel lungo e nel medio periodo, ma anche l'elenco delle pressioni e delle minacce, incluso il cambiamento climatico. È quindi possibile valutare se il numero di specie di uccelli minacciate in Italia dal cambiamento climatico, o da effetti indiretti scaturiti da quest'ultimo, aumenta nel tempo e come questo si traduca in cambiamenti nello stato di conservazione delle popolazioni. Un indicatore di questo tipo fornirebbe dunque un quadro circa l'impatto del cambiamento climatico sull'avifauna in Italia.

Per quanto riguarda il fenomeno degli incendi boschivi si richiama l'indicatore Fire Weather Index (FWI), analizzato al paragrafo 3.2.3 del presente rapporto, non ancora applicato a livello nazionale in Italia, anche se la copertura di dati sembra essere completa. Esso è però utilizzato dalla regione Piemonte già da qualche anno, a partire dai dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra di Arpa Piemonte (temperatura, umidità, precipitazioni, vento).

Inoltre, molte azioni settoriali del PNACC (DB di cui all'All. IV) sono mirate all'aumento delle conoscenze ed all'acquisizione e organizzazione di dati in relazione agli effetti dei CC sui settori considerati, come ad esempio le azioni 14, 16, 20 e 22 per il settore dell'acquacoltura o l'azione 258 per il settore della pesca marittima. Dai risultati dell'attuazione di tali azioni, monitorata attraverso gli indicatori di processo individuati nel DB, sarà pertanto possibile mettere a punto indicatori che consentano, in modo maggiormente mirato, di seguire e descrivere gli effetti dei cambiamenti climatici sul contesto ambientale e monitorare il raggiungimento degli obiettivi ambientali che il piano si è posto.

7.4 Monitoraggio degli effetti ambientali del PNACC

Il monitoraggio degli effetti ambientali del Piano misura la variazione dello stato ambientale (contesto) imputabile all'attuazione delle azioni definite dal Piano. In termini generali gli indicatori di controllo degli effetti ambientali (indicatori di contributo) sono rappresentati dalla variazione degli indicatori di contesto dovuta all'implementazione delle azioni, come nel caso di quelli che misurano l'effetto complessivo generato su un fattore ambientale come somma degli effetti di singole azioni (ad esempio, il contributo al consumo di suolo nazionale/regionale/locale dovuto alla realizzazione di interventi relativi ad azioni di adattamento).

A titolo esemplificativo e non esaustivo si riportano di seguito indicatori di contesto individuati in Tabella 7-2 per i quali è possibile derivare il contributo delle azioni alla variazione dello stato ambientale.

- Consumo di suolo nei diversi ambiti territoriali
- Copertura forestale
- Aree protette e siti Natura 2000: N. ed estensione (assoluta e percentuale)
- Consumi idrici per settore
- Quantità di acqua prelevata e utilizzata per i diversi usi
- Quantità di acqua dispersa dalle reti di distribuzione
- Invasi artificiali
- Emissioni atmosferiche dei principali inquinanti per settori
- Consumi finali di energia elettrica per fonte e per settori
- Produzione di energia elettrica e potenza installata per fonte
- Consumi finali e totali di energia per settore e per fonti primarie
- Popolazione residente esposta ad alluvioni - ISPRA
- Popolazione residente esposta a frane – ISPRA
- Beni culturali esposti a frane e alluvioni – ISPRA

Per alcune tipologie di effetti e fattori ambientali, non è possibile stimare tale contributo a causa della tipologia di effetto (numerosi fattori non sommabili ma sinergici che influenzano l'entità e le caratteristiche degli effetti); in tal caso si può ricorrere a indicatori proxy (quali ad esempio indicatori di misura delle pressioni ambientali legate agli interventi) che, affiancati agli indicatori di evoluzione del contesto, consentono una analisi qualitativa dell'impatto.

Il PNACC, in quanto strumento di indirizzo nazionale per l'implementazione di azioni di adattamento ai CC, individua le azioni settoriali le cui modalità e strumenti di attuazione saranno definiti nell'ambito dell'attività della struttura di governance, i cui risultati convergeranno in piani settoriali o intersettoriali, nei quali saranno delineati gli interventi da attuare.

I piani settoriali e intersettoriali, attraverso il monitoraggio ambientale delle azioni di adattamento previste, dovranno pertanto prevedere il controllo degli effetti ambientali conseguenti all'attuazione di dette azioni.

I risultati dovranno, attraverso modalità di scambio e flusso delle informazioni da stabilire nell'ambito dell'Osservatorio, essere acquisiti a livello centrale al fine di poter popolare indicatori di contributo di riferimento per il PNACC.

Il monitoraggio degli effetti ambientali, come già espresso in precedenza, persegue anche la finalità di verificare il raggiungimento degli obiettivi pertinenti.

Per rispondere a tale finalità, le azioni settoriali di adattamento (vedi DB – Allegato IV al PNACC) individuate dal PNACC sono correlate a indicatori di efficacia che consentono di monitorare gli obiettivi pertinenti a ciascuna misura/azione, finalizzati a ridurre al minimo i rischi derivanti dai cambiamenti climatici e a migliorare la capacità di adattamento dei sistemi naturali, obiettivo generale del PNACC.

Gli indicatori di efficacia potranno supportare pertanto la valutazione del contributo del Piano alla variazione del contesto attraverso le politiche di adattamento adottate a livello locale e settoriale. Si rimanda all'allegato IV al PNACC per gli indicatori di efficacia.

7.5 Modalità di attuazione del monitoraggio

La pianificazione e l'attuazione di adeguate azioni di adattamento, nonché il monitoraggio della loro efficacia, presuppongono 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.

Il sistema di monitoraggio VAS del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici deve necessariamente far parte di un processo inclusivo e partecipato affinché risponda ai requisiti richiesti dalla normativa vigente, ma soprattutto fornisca riferimenti utili per l'attuazione del Piano e il raggiungimento degli obiettivi ambientali.

In tal senso il sistema di monitoraggio del PNACC dovrà interagire con i piani regionali e locali attraverso l'utilizzo di informazioni e strumenti coordinati e condivisi, capaci di garantire il flusso di informazioni tra il livello centrale e quello periferico.

L'efficacia del monitoraggio dipende quindi fortemente dall'assetto organizzativo, ovvero dalle interazioni tra i soggetti coinvolti e dalle modalità operative con cui sono organizzate le risorse e il flusso delle informazioni.

In questo contesto, elemento centrale di riferimento e di raccordo è rappresentato dall'Osservatorio nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici come struttura permanente di governance individuata nel PNACC.

Esso 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.

In particolare, l'Osservatorio nazionale nell'ambito dei suoi compiti contribuirà alla pianificazione del monitoraggio attraverso l'aggiornamento nel tempo delle priorità di intervento e delle azioni di adattamento individuate dal PNACC; la gestione delle attività di monitoraggio dello stato di avanzamento e dell'efficacia degli interventi individuati per perseguire le azioni del PNACC, l'individuazione delle responsabilità, dei ruoli e dei compiti per la realizzazione del monitoraggio ambientale e le risorse da destinare.

Informazione - divulgazione

Come previsto dalla normativa in materia di VAS, i risultati del monitoraggio ambientale saranno illustrati in Rapporti di monitoraggio prodotti periodicamente.

In considerazione delle varie fonti informative che concorrono al popolamento e aggiornamento degli indicatori di monitoraggio si può ragionevolmente prevedere una produzione con periodicità almeno triennale dei reports suddetti.

Come richiamato dal D.lgs 152/06 art. 18, dei risultati del monitoraggio *“è data adeguata informazione attraverso i siti web dell'autorità competente e dell'autorità procedente”*.

Al riguardo lo strumento di riferimento per la diffusione dell'informazione e il coinvolgimento della società civile e dei portatori di interessi è costituito dalla Piattaforma nazionale adattamento ai cambiamenti climatici (<http://climadat.isprambiente.it/>).

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 permanente previsto dal PNACC come organo consultivo-divulgativo a supporto dell'Osservatorio tra i vari compiti svolti provvede a veicolare alla società civile e ai portatori di interessi le informazioni della Piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici e a raccogliere commenti, proposte e osservazioni da essi ricevuti.

8 BIBLIOGRAFIA

Quadro climatico

Cornes 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.

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.

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

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

ISPRA (2022a). Fioravanti G., Frascchetti P., Lena F., Perconti W., Piervitali E., Pavan V., “Gli indicatori del clima in Italia”, Rapporto ISPRA / Stato dell’Ambiente, 98/2022.

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

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.

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>.

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

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

Toreti A., Desiato F. (2007). *Temperature trend over Italy from 1961 to 2004*. *Theoretical and Applied Climatology*, 91, 51–58. doi:10.1007/s00704-006-0289-6.

Von Trentini F., Leduc M., 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.

Biodiversità in ambito terrestre

Abeli, T., Rossi, G., Gentili, R., Mondoni, A., Cristofanelli, P. (2012). *Response of alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary*. *Plant Ecology*, 213, 1-13

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

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.

Campbell A., Kapos V., Scharlemann J.P.W., Bubb P., Chenery A., Coad L., Dickson B., Doswald N., Khan M.S.I., Kershaw F., Rashid M. (2009). *Review of the Literature on the Links between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series No. 42, p. 124.

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

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.

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.

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.

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.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Parry, Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, Paul J., and Hanson, Clair E. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 976 p. ISBN 978 0521 88010-7 hardback ISBN 978 0521 70597-4 paperback.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers*. Disponibile al sito http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf

ISPRA. *Annuario Dati Ambientali*. Disponibile al sito: <https://annuario.isprambiente.it/>

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.

Sala O. E., Stuart Chapin III F., Armesto Juan J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L. F., Jackson R. B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D. M., Mooney H. A., Oesterheld M., LeRoy Poff N., Sykes M. T., Walker B. H., Walker M., Wall D. H. (2000). *Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100*. *Science* 287, 1770 (2000) DOI: 10.1126/science.287.5459.1770

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 (2013)

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

Pauli H., Gottfried M., Reiter K., Klettner C., Grabherr G. (2007). *Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria*. *Global Change Biology*, 13, 147-156.

Reyer CPO, Leuzinger S., Rammig A., et al (2013). *A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability*. *Glob Chang Biol* 19:75–89. doi: 10.1111/gcb.12023

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.

Ambienti marini e costieri

EPA: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-surface-temperature>

Giorgi F., Lionello P. (2008). *Climate change projections for the Mediterranean region*. *Global and Planetary Change*. 63:90-104. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2007.09.005].

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2015). *Fifth Assessment Report*, 2015.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/ar5/wg1.

ISPRA, *Stato dell'Ambiente*, 98/2022 - ISBN 978-88-448-1119-8.

ISPRA, *Manuali e Linee Guida*, 178/2018 ISBN 978-88-448-0892-1.

Lejeune C., Chevaldonne P., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., Perez T. (2010). *Climate change effects on a miniature ocean: The highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea*. *Trends in Ecology and Evolution*. 25:250-260. DOI: 10.1016/j.tree.2009.10.009.

Mannino Anna M., Balistreri P., Deidun A. (2017). *The Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea in a Changing Climate: The Impact of Biological Invasions*. Capitolo libro INTECH.

Martin S., Gattuso J-P (2009). *Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature*. *Global Change Biology*. 15:2089-2100. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01874.x

MiTE (2018). *Piano Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici e Allegati*.

Ostrander G.K., Armstrong K.M., Knobbe E.T., Gerace D., Scully E.P. (2000). *Rapid transition in the structure of a coral reef community: The effects of coral bleaching and physical disturbance*. *P. Natl. Acad. Sci. USA*. 97(10):5297–5302.

Pratchett M.S., Wilson S.K., Berumen M.L., McCormick M.I. (2004). *Sublethal effects of coral bleaching on an obligate coral feeding butterflyfish*. *Coral Reefs* 23(3):352–356.

Pershing A.J., Griffis R.B., Jewett E.B., Armstrong C.T., Bruno J.F., Busch D.S., Haynie A.C., Siedlecki S.A., Tommasi D. (2018). *Oceans and marine resources*. In: *Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, volume II*. Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart (eds.). doi: 10.7930/NCA4.2018.CH9.

SNPA (2021). *Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021*. Report SNPA 21/2021.

Trtanj, J., Jantarasami L., Brunkard J., Collier T., Jacobs J., Lipp E., McLellan S., Moore S., Paerl H., Ravenscroft J., Sengco M., Thurston J. (2016). *Chapter 6: Climate impacts on water-related illness*. In: *The impacts of*

climate change on human health in the United States: A scientific assessment. U.S. Global Change Research Program. <https://health2016.globalchange.gov>.

UNEP : <https://www.unep.org/resources/un-environment-annual-report-2017>

<https://www.snambiente.it/2019/04/30/le-temperature-dei-mari-italiani-dal-1900-ad-oggi/>

Salinità

SNPA (2021). *Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021*. Report SNPA 21/2021.

Takvor S., Denaxa D., Karathanasi F., Prospathopoulos A., Sarantakos K., Iona S., Georgantas K., Mavrakos S. (2017). *Marine Renewable Energy in the Mediterranean Sea: Status and Perspectives*. *Energies*. 10. 10.3390/en10101512.

Acidificazione

Abed El Rahman Hassoun, Ashley Bantelman, Donata Canu, Steeve Comeau, Charles Galdies, et al., 2022. Ocean acidification research in the Mediterranean Sea: Status, trends and next steps. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9, (10.3389/fmars.2022.892670). (hal-03795797)

Boyd P. W., Collins S., Dupont S., Fabricius K., Gattuso J. P., Havenhand J., et al. (2018). Experimental strategies to assess the biological ramifications of multiple drivers of global ocean change—a review. *Global Change Biol.* 24 (6), 2239–2261. doi: 10.1111/gcb.14102.

Cappelletto M., Santoleri R., Evangelista L., Galgani F., Garcés E., Giorgetti A., et al. (2021). The Mediterranean Sea we want. *Ocean Coast. Res.* 69 (suppl 1). doi: 10.1590/2675-2824069.21019mc.

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

Friedlingstein P., O'sullivan M., Jones M. W., Andrew R. M., Hauck J., Olsen A., et al. (2020). Global carbon budget 2020. *Earth System Sci. Data* 12 (4), 3269–3340. doi: 10.5194/essd-12-3269-2020

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

Gruber N., Clement D., Carter B. R., Feely R. A., Van Heuven S., Hoppema M., et al. (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science* 363 (6432), 1193–1199. doi: 10.1126/science.aau 5153.

Hassoun A. E. R., Hernández-Moresino R., Barbieri E. S., Carbajal J. C., Crespi-Abril A., De Cian A., et al. (2022). “Coastal monitoring in the context of climate change: Time-series efforts in Lebanon and Argentina,” in *Frontiers in ocean observing: Documenting ecosystems, Understanding Environmental changes, forecasting hazards*, vol. 34. Eds. Kappel E. S., Juniper S. K., Seeyave S., Smith E., Visbeck M. (USA: TOS), 12–Pp. 13. doi: 10.5670/oceanog.2021.supplement.02-05. A Supplement to Oceanography.

Ingrrosso G., Giani M., Comici C., Kralj M., Piacentino S., De Vittor C., et al. (2016b). Drivers of the carbonate system seasonal variations in a Mediterranean gulf. *Estuarine Coast. Shelf Sci.* 168, 58–70. doi: 10.1016/j.ecss.2015.11.001.

Le Quéré C., Moriarty R., Andrew R. M., Canadell J. G., Sitch S., Korsbakken J. I., et al. (2015). Global carbon budget 2015. *Earth System Sci. Data* 7 (2), 349–396. doi: 10.5194/essd-7-349-2015

ISPRA, Rapporti 317/2020. Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali paesi europei 2020.

Riebesell U., Zondervan I., Rost B., Tortell P. D., Zeebe R. E., Morel F. M. (2000). Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂. *Nature* 407 (6802), 364–367. doi: 10.1038/35030078.

Romera-Castillo, C., Lucas, A., Mallenco-Fornies, R., Briones-Rizo, M., Calvo, E., & Pelejero, C. (2023). Abiotic plastic leaching contributes to ocean acidification. *Science of The Total Environment*, 854, 158683. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.158683.

Solidoro C., Cossarini G., Lazzari P., Galli G., Bolzon G., Somot S., et al. (2022). Modeling carbon budgets and acidification in the Mediterranean Sea ecosystem under contemporary and future climate. *Front. Mar. Sci.* 8. doi: 10.3389/fmars.2021.781522.

Watson A. J., Schuster U., Shutler J. D., Holding T., Ashton I. G., Landschützer P., et al. (2020). Revised estimates of ocean-atmosphere CO₂ flux are consistent with ocean carbon inventory. *Nat. Commun.* 11 (1), 1–6. doi: 10.1038/s41467-020-18203-3.

Zunino S., Canu D. M., Zupo V., Solidoro C. (2019). Direct and indirect impacts of marine acidification on the ecosystem services provided by coralligenous reefs and seagrass systems. *Global Ecol. Conserv.* Vol. 18, 00625. doi: 10.1016/j.gecco. 2019.e00625.

Erosione costiera

CMCC, 2021. G20 Climate Atlas. Italy.

European Commission 2009, 2014, 2018. Progetto PESETA I, II, III. Projection of economic impacts of climate change in sectors of the European Union based on bottom-up analysis.

ISPRA, Stato dell'ambiente, 2011. Mare e Ambiente costiero.

ISPRA, ADA 2021. Annuario dei dati ambientali.

ISPRA, RAPPORTI 356/2021. Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio.

MATTM-Regioni, 2018. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp

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

Variatione del livello medio del mare e storm surges

Frequenza e intensità delle mareggiate

Effetti del cuneo salino alle foci e riflessi sulla disponibilità delle risorse idriche

Baldin G., Crosato F., 2017. L'innalzamento del livello medio del mare a Venezia: eustatismo e subsidenza, ISPRA, Quaderni - Ricerca Marina n. 10/2017.

Bellafore, D., Ferrarin, C., Maicu, F., Manfè, G., Lorenzetti, G., Lorenzetti, G., Umgiesser, G., Zaggia, L., e Levinson, A. V., 2021. Saltwater intrusion in a Mediterranean delta under a changing climate. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(2), e2020JC016437.

Boccotti, P., 2000: *Wave mechanics for ocean engineering*. Elsevier

CMEMS, Copernicus Ocean State Report, issue 6, *Journal of Operational Oceanography*, 15:sup1, 1-220, DOI: 10.1080/1755876X.2022.2095169, 2022

Colombo, P. e Tosini, L., 2010. 1950-2010. 60 anni di bonifica nel Delta del Po. ISBN: 8887264716.

ISPRA, *Tematiche in Primo Piano - Annuario dei Dati Ambientali 2014-2015*, volume 60/2015, ISBN 978-88-448-0725-2

Kurdistani, S. M., Verri, G., Pinardi, N., e Coppini, G., 2022. Climate Projections of salt-wedge intrusions in a Po River branch (Northern Adriatic Sea). *Technical Notes Issue TN0291*, OPA-Ocean Predictions and Applications Division, doi: 10.25423/CMCC/PAPER_SALT_INTRUSION_PO_GORO.

Liberti, L., Carillo, A., Sannino, G., 2013. Wave energy resource assessment in the Mediterranean, the Italian perspective. *Renewable Energy* 50, 938–949. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.023>

Lionello, P., Sanna, A., 2005. Mediterranean wave climate variability and its links with NAO and Indian Monsoon. *Climate Dynamics* 25, 611–623. <https://doi.org/10.1007/s00382-005-0025-4>

Lionello, P., Bhend, J., Buzzi, A., Della-Marta, P.M., Krichak, S.O., Jansà, A., Maheras, P., Sanna, A., Trigo, I.F., Trigo, R., 2006. Chapter 6 Cyclones in the Mediterranean region: Climatology and effects on the environment, in: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R. (Eds.), *Developments in Earth and Environmental Sciences, Mediterranean*. Elsevier, pp. 325–372. [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80009-1](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80009-1)

SNPA, 2021. *Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021*. Report SNPA 21/2021.

White, E. e Kaplan, D., 2017. Restore or retreat? Saltwater intrusion and water management in coastal wetlands, *Ecosystem Health and Sustainability*. 3(1), e01258, doi: 10.1002/ehs2.1258.

Ecosistemi marini e costieri

Ballesteros, E. (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: A synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 44, 123–195.

Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., & Nyström, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429, 827–833. <https://doi.org/10.1038/nature02691>

Bianchi, C. N., Corsini-Foka, M., Morri, C., & Zenetos, A. (2014). Thirty years after-dramatic change in the coastal marine habitats of Kos Island (Greece), 1981–2013. *Mediterranean Marine Sciences*, 15(3), 482–497. <https://doi.org/10.12681/mms.678>

Boero F, Bouillon J, Gravili C, et al (2008) Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes). *Mar Ecol Prog Ser* 356:299–310. doi: 10.3354/meps07368

Boero F (2014) The future of the Mediterranean Sea Ecosystem: towards a different tomorrow. *Rend Lincei* 26:3–12. doi: 10.1007/s12210-014-0340-y

- Cerrano, C., Bavestrello, G., Bianchi, C. N., Cattaneo-Vietti, R., Bava, S., Morganti, C., Morri, C., Picco, P., Sara, G., Schiaparelli, S., Siccardi, A., & Sponga, F. (2000). Catastrophic massâ-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-Western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters*, 3, 284–293. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00152.x>
- Cheung, M. W. M., Hock, K., Skirving, W., & Mumby, P. J. (2021). Cumulative bleaching undermines systemic resilience of the great Barrier reef. *Current Biology*, 31(23), 5385–5392.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.09.078>
- Claudet J, Fraschetti S (2010) Human-driven impacts on marine habitats: A regional meta-analysis in the Mediterranean Sea. *Biol Conserv* 143:2195–2206. doi: 10.1016/j.biocon.2010.06.004
- Collins, M., Sutherland, M., Bouwer, L., Cheong, S. M., Frölicher, T., Jacot Des Combes, H., Roxy, M. K., Losada, I., McInnes, K., Ratter, B., RiveraArriaga, E., Susanto, R. D., Swingedouw, D., Tibig, L., Bakker, P., Eakin, C. M., Emanuel, K., Grose, M., Hemer, M., ... Timmermans, M. L. (2019). Extremes, abrupt changes and managing risk. In H.-O. Pörtner, D. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, & N. M. Weyer (Eds.), *Special report on ocean and cryosphere in a changing climate* (pp. 589–674). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., Lange, M. A., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M. N., & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972–980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Ercole S., Angelini P., Carnevali L., Casella L., Giacanelli V., Grignetti A., La Mesa G., Nardelli R., Serra L., Stoch F., Tunesi L., Genovesi P. (ed.), 2021. *Rapporti Direttive Natura (2013-2018). Sintesi dello stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario e delle azioni di contrasto alle specie esotiche di rilevanza unionale in Italia*. ISPRA, Serie Rapporti 349/2021.
- Garrabou, J., Coma, R., Bensoussan, N., Bally, M., Chevaldonné, P., Gigliano, D., Diaz, D., Harmelin, J. G., Gambi, M. C., Kersting, D., Ledoux, J. B., Lejeusne, C., Linares, C., Marschal, C., Pérez, T., Ribes, M., Romano, C., Serrano, E., Teixido, N., ... Cerrano, C. (2009). Mass mortality in northwestern Mediterranean rocky benthic communities: Effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15, 1090–1103. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01823.x>
- Garrabou J., Bensoussan N. & Azzurro E., 2018. *Monitoring Climate-related responses in Mediterranean Marine Protected Areas and beyond: FIVE STANDARD PROTOCOLS*. 36 pp. Edited by: Institute of Marine Sciences, Spanish Research Council ICM-CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, Spain. DOI: <http://dx.doi.org/10.20350/digitalCSIC/8612>
- Gazeau F, Quiblier C, Jansen JM, et al (2007) Impact of elevated CO2 on shellfish calcification. *Geophys Res Lett* 34: . doi: 10.1029/2006gl028554
- Gómez-Gras, D., Linares, C., de Caralt, S., Cebrian, E., Frleta-Valić, M., Montero-Serra, I., Pagès-Escalà, M., López-Sendino, P., & Garrabou, J. (2019). Response diversity in Mediterranean coralligenous assemblages facing climate change: Insights from a multi-specific thermotolerance experiment. *Ecology & Evolution*, 9(7), 4168–4180. <https://doi.org/10.1002/ece3.5045>
- Gómez-Gras, D., Linares, C., Dornelas, M., Madin, J. S., Brambilla, V., Ledoux, J. B., López-Sendino, P., Bensoussan, N., & Garrabou, J. (2021). Climate change transforms the functional identity of Mediterranean coralligenous assemblages. *Ecology Letters*, 24(5), 1038–1051. <https://doi.org/10.1111/ele.13718>

- Harvey, B. P., Marshal, K. E., Harley, C. B. P., & Rusell, B. D. (2022). Predicting responses to marine heatwaves using functional traits. *Trends in Ecology & Evolution*, 37(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.09.003>
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Álvarez-Noriega, M., Álvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., Babcock, R. C., Beger, M., Bellwood, D. R., Berkelmans, R., Bridge, T. C., Butler, I. R., Byrne, M., Cantin, N. E., Comeau, S., Connolly, S. R., Cumming, G. S., Dalton, S. J., DiazPulido, G., ... Wilson, S. K. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543, 373–377. <https://doi.org/10.1038/nature21707>
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Connolly, S. R., Álvarez-Romero, J. G., Eakin, C. M., Heron, S. F., Gonzalez, M. A., & Moneghetti, J. (2021). Emergent properties in the responses of tropical corals to recurrent climate extremes. *Current Biology*, 31(23), 5393–5399. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.10.046>
- Jacquemont, J., Blasiak, R., Le Cam, C., Le Gouellec, M., & Claudet, J. (2022). Ocean conservation boosts climate change mitigation and adaptation. *One Earth*, 5(10), 1126–1138.
- Jager T (2012) Bad habits die hard: The NOEC's persistence reflects poorly on ecotoxicology. *Environ Toxicol Chem* 31:228–229. doi: 10.1002/etc.746
- Kuffner IB, Andersson AJ, Jokiel PL, et al (2008) Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nat Geosci* 1:114–117. doi: 10.1038/ngeo100
- La Mesa G., Paglialonga A., Lauriano G., Mo G., Tunesi L. (2021). Report direttiva habitat: specie e habitat marini In: In: Ercole S., Angelini P., Carnevali L., Casella L., Giacanelli V., Grignetti A., La Mesa G., Nardelli R., Serra L., Stoch F., Tunesi L., Genovesi P. (ed), 2021. Rapporti Direttive Natura (2013-2018). Sintesi dello stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario e delle azioni di contrasto alle specie esotiche di rilevanza unionale in Italia. ISPRA, Serie Rapporti 349/2021.
- La Mesa G., Paglialonga A., Tunesi L. (2019). Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE e Direttiva 09/147/CE) in Italia: ambiente marino. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 190/2019.
- Lohbeck KT, Riebesell U, Thorsten BHR (2012) Adaptive evolution of a key phytoplankton species to ocean acidification. *Nat Geosci* 5:346–351. doi: doi: 10.1038/ngeo1441
- Loya, Y., Sakai, K., Yamazato, K., Nakano, Y., Sambali, H., & van Woesik, R. (2001). Coral bleaching: The winners and the losers. *Ecology Letters*, 4(2), 122–131. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00203.x>
- MacNeil MA, Graham NAJ, Cinner JE, et al (2010) Transitional states in marine fisheries: adapting to predicted global change. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 365:3753–3763. doi: 10.1098/rstb.2010.0289
- Marbà, N., Gabriel, J., Agusti, S., Girard, C., & Duarte, C. M. (2015). Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Frontiers of Marine Science*, 2, 56. <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00056>
- McCarty JP (2001) Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conserv Biol* 15:320–331. doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x
- Moullec, F., Barrier, M., Drira, S., Guilhaumon, F., Marsaleix, P., Somot, S., Ulses, C., Velez, L., & Shin, Y. J. (2019). An end-to-end model reveals losers and winners in a warming Mediterranean Sea. *Frontiers in*
- Orr JC, Fabry VJ, Aumont O, et al (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437:681–686. doi: 10.1038/nature04095
- Passow U (2004) Switching perspectives: Do mineral fluxes determine particulate organic carbon fluxes or viceversa? *Geochemistry, Geophys Geosystems* 5: n/a----n/a . doi: 10.1029/2003gc000670

- Perez, T., Garrabou, J., Sartoretto, S., Harmelin, J. G., Francour, P., & Vacelet, J. (2000). Mass mortality of marine invertebrates: An unprecedented event in the north occidental Mediterranean. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences—Series III—Sciences de la Vie*, 323, 853–865. [https://doi.org/10.1016/S0764-4469\(00\)01237-3](https://doi.org/10.1016/S0764-4469(00)01237-3)
- Ponti, M., Perlini, R. A., Ventra, V., Greco, D., Abbiati, M., & Cereno, C. (2014). Ecological shifts in Mediterranean coralligenous assemblages related to gorgonian forest loss. *PLoS One*, 9(7), e102782. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102782>
- Ponti, M., Turicchia, E., Ferro, F., Cerrano, C., & Abbiati, M. (2018). The understory of gorgonian forests in mesophotic temperate reefs. *Aquatic Conservation: Marine & Freshwater Ecosystems*, 28(5), 1153–1166. <https://doi.org/10.1002/aqc.2928>
- Pörtner HO, Peck MA (2010) Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *J Fish Biol* 77:1745–1779. doi: 10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x
- Roessig JM, Woodley CM, Cech JJ, Hansen LJ (2004) Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Rev Fish Biol Fish* 14:251–275. doi: 10.1007/s11160-004-6749-0
- 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, e115655. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115655>
- Smith, K. E., Burrows, M. T., Hobday, A. J., Sen Gupta, A., Moore, P. J., Thomsen, M., Wernberg, T., & Smale, D. A. (2021). Socioeconomic impacts of marine heatwaves: Global issues and opportunities. *Science*, 374, 6566. <https://doi.org/10.1126/science.abj3593>
- Thomson, J. A., Burkholder, D. A., Heithaus, M. R., Fourqurean, J. W., Fraser, M. W., Statton, J., & Kendrick, G. A. (2015). Extreme temperatures, foundation species, and abrupt ecosystem change: An example from an iconic seagrass ecosystem. *Global Change Biology*, 21, 1463–1474. <https://doi.org/10.1111/gcb.12694>
- Verdura, J., Santamaria, J., Ballesteros, E., Smale, D. A., Celafi, M. E., Golo, R., de Caralt, S., Vergés, A., & Cebrian, E. (2021). Local climatic refugia offer sanctuary for a habitat forming species during a marine heatwave. *Journal of Ecology*, 109, 1758–1773. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13599>
- Verdura, J., Linares, C., Ballesteros, E., Coma, R., Uriz, M. J., Bensoussan, N., & 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*, 9, 5911. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41929-0>
- 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., SantanaGarcon, J., Saunders, B. J., Smale, D. A., Thomsen, M. S., Tuckett, C. A., ... Wilson, S. (2016). Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science*, 353, 169–172. <https://doi.org/10.1126/science.aad8745>
- Woods D (2008) Stakeholder involvement and public participation: a critique of Water Framework Directive arrangements in the United Kingdom. *Water Environ J* 22:258–264. doi: 10.1111/j.1747-6593.2008.00136.x
- Qualità delle acque di balneazione*
- Byappanahalli M, Fowler M, Shively D, Whitman R (2003b). Ubiquity and persistence of *Escherichia coli* in a midwestern coastal stream. *Appl Environ Microbiol*. 69(8):4549–55.

Chorus I., Bartram j., 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. E& FN Spon.

Feng Z, Reniers A, Haus BK, Solo-Gabriele HM, Kelly EA (2016). Wave energy level and geographic setting correlate with Florida beach water quality. Mar Pollut Bull. 104(1–2):54–60

Gao GH, Falconer RA, Lin BL (2015). Modelling the fate and transport of faecal bacteria in estuarine and coastal waters. Mar Pollut Bull. 100:162–8.

Kosten S., Beasley, Huszar V., Becares E., Costa L., van Donk E., Hansson L.A., Jeppessn E., Kruk C., Lacerot G., Mazzeo N., De Meester L., Moss B., Lurling M., Noges T., Romo S., Scheffer M., 2011. Warmer climate boosts cyanobacterial dominance in shallow lakes. Global Change Biology, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02488. x.

Paerl H.W., Hall N.S., Calandrino E.S., 2011. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. Science of total Environment 409 (10), 1739-1745.

Piggot AM, Klaus JS, Johnson S, Phillips MC, Solo-Gabriele HM (2012). Relationship between enterococcal levels and sediment biofilms at recreational beaches in South Florida. Appl Environ Microbiol. 78:5973– 82

Direttiva 76/160/CEE del Consiglio, dell'8 dicembre 1975, concernente la qualità delle acque di Balneazione

Direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.

Direttiva 2006/7/CE relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e che abroga la direttiva 76/160/CEE.

Sanseverino I; Conduto António D; Loos R; Lettieri T. Cyanotoxins: methods and approaches for their analysis and detection . EUR 28624 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2017. JRC106478

Wagner C., Adrian R., 2009. Cyanobacteria dominance: quantifying the effects of climate change. Limnology and Oceanography 54(6/2), 2460-2468.

WHO, ed., 2003, Guidelines for safe recreational water environments, World Health Organization, Geneva, Switzerland

WHO, ed. 2021, Guidelines On Recreational Water Quality Volume 1 Coastal and Fresh Waters, Geneva, Switzerland

Harmful Algal Blooms (HABs) negli ecosistemi marino costieri

AA.VV., 2014. *Ostreopsis c.f. ovata*: linee guida per la gestione delle fioriture negli ambienti marino-costieri in relazione alla balneazione e ad altre attività ricreative. Rapporti ISTISAN, 14/19

Anderson D.M., Cembella 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.

Barroso García P., Rueda de la Puerta P., Parrón Carreño T., Marín Martínez P., Guillén Enríquez J., 2008. Brote con síntomas respiratorios en la provincia de Almería por una posible exposición a microalgas tóxicas. Gac Sanit., 22: 578-84.

Ciminiello P., Dell'Aversano C., Dello Iacovo E., Fattorusso E., Forino M., Grauso L., Tartaglione L., Guerrini F., Pezzolesi L., Pistocchi R., Vanucci S., 2012. Isolation and structure elucidation of ovatoxin-a, the major toxin produced by *Ostreopsis ovata*. *J. Am. Chem. Soc.*, 134: 1869-75.

Ciminiello P., Dell'Aversano C., Dello Iacovo E., Fattorusso E., Forino M., Tartaglione L., Yasumoto T., Battocchi C., Giacobbe M., Amorim A., Penna A., 2013. Investigation of toxin profile of Mediterranean and Atlantic strains of *Ostreopsis cf. siamensis* (Dinophyceae) by liquid chromatography–high resolution mass spectrometry. *Harmful Algae*, 23: 19–27.

Decreto Ministero della Salute 30 marzo 2010 - Supplemento ordinario alla G.U. n. 119 del 24 maggio 2010. Definizione dei criteri per determinare il divieto di balneazione, nonché modalità e specifiche tecniche per l'attuazione del decreto legislativo 30 maggio 2008, n. 116, di recepimento della direttiva 2006/7/CE, relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione.

Decreto Ministero della Salute 19 aprile 2018 – Modifica del Decreto 30 marzo 2010 recante: “Definizioni dei criteri per determinare il divieto di balneazione, nonché modalità specifiche tecniche per l'attuazione del decreto legislativo 20 maggio 2008, n. 116, di recepimento della direttiva 2006/7/CE, relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione”.

Decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152 - Decreto legislativo recante disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. G.U. n. 124 del 29 maggio 1999, s.o. n. 101/L

Durando P., Ansaldo F., Oreste P., Moscatelli P., Marensi L., Grillo C., Gasparini R., Icardi G., 2007. *Ostreopsis ovata* and human health: epidemiological and clinical features of respiratory syndrome outbreaks from a two year syndromic surveillance, 2005-2006, in northwest Italy. *Euro Surveill*, 12(23).

Faimali M., Giussani V., Piazza V., Garaventa F., Corrà C., Asnaghi V., Privitera D., Gallus L., Cattaneo-Vietti R., Mangialajo L., Chiantore M., 2012 - Toxic effects of harmful benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata* on invertebrate and vertebrate marine organisms. *Marine Environmental Research* Volume 76, May 2012, Pages 97-10

Fleming L.E., Backer L.C., Baden D.G., 2005. Overview of aerosolized florida red tide toxins: exposures and effects. *Environ. Health Persp.*, 113(5): 618-20.

Gallitelli M., Ungaro N., Addante L.M., Procacci V., Gentiloni N., Sabbà C., 2005. Respiratory illness as a reaction to tropical algal blooms occurring in a temperate climate. *JAMA*, 293: 2599-600.

Garcés E., Masó M., Vila M., Camp J., 2000. Harmful algae events in the Mediterranean: are they increasing? *HAN*, 20: 1-10.

Glibert P.M., 2020 - Harmful algae at the complex nexus of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* Volume 91, January 2020

Gobler C.J., 2020 - Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae* Vol. 91, January 2020

Gorbi S., Bocchetti R., Binelli A., Bacchiocchi S., Orletti R., Nanetti L., Raffaelli F., Vignini A., Accoroni S., Totti C., Regoli F., 2012. Biological effects of palytoxin-like compounds from *Ostreopsis cf. ovata*: A multibiomarkers approach with mussels *Mytilus galloprovincialis*. *Chemosphere*, 89: 623-32.

Gorbi S., Avio G., Benedetti M., Totti C., Accoroni S., Pichierri S., Bacchiocchi S., Orletti R., Graziosi T., Regoli F., 2013. Effects of harmful dinoflagellate *Ostreopsis cf. ovata* exposure on immunological, histological and oxidative responses of mussels *Mytilus galloprovincialis*. *Fish Shellfish Immun*, 35: 941-50.

Honsell G., De Bortoli M., Boscolo S., Dell'Aversano C., Battocchi C., Fontanive G., et al., 2011. Harmful dinoflagellate *Ostreopsis cf. ovata* Fukuyo: detection of ovatoxins in field samples and cell immunolocalization using antipalytoxin antibodies. *Environ. Sci. Technol.*, 45: 7051-9.

IPCC, 2019. In: Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M. (Eds.), *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, 2019.

ISPRA, 2020. Monitoraggio della microalga potenzialmente tossica *Ostreopsis cf. ovata* lungo le coste italiane – Anno 2019. Rapporto n. 336, www.isprambiente.gov.it. 173 pp.

Kermarec F., Dor F., Armengaud A., Charlet F., Kantin R., Sauzade D., de Haro L., 2008. Health risks related to *Ostreopsis ovata* in recreational waters. *Env. Risques Santé*, 7: 357-63.

Mangialajo L., Ganzin N., Accoroni S., Asnaghi V., Blanfuné A., Cabrini M., Cattaneo-Vietti R., Chavanon F., Chiantore M., Cohu S., Costa E., Fornasaro D., Grosse H., Marco-Miralles F., Masó M., Reñé A., Rossi AM., Sala MM., Thibaut T., Totti C., Vila M., Lemée R., 2011. Trends in *Ostreopsis* proliferation along the Northern Mediterranean coasts. *Toxicon*, 57: 408-20.

Meroni L., Chiantore M., Petrillo M., Asnaghi V., 2018 Habitat effects on *Ostreopsis cf. ovata* bloom dynamics *Harmful Algae* Volume 80, December 2018, Pages 64-71

Tester P.A., Litaker R.W., Berdalet E., 2020 - Climate change and harmful benthic microalgae. *Harmful Algae* Volume 91, January 2020.

Tichadou L., Glaizal M., Armengaud A., Grosse H., Lemée R., Kantin R., Lasalle J.L., Drouet G., Rambaud L., Malfait P., de Haro L., 2010. Health impact of unicellular algae of the *Ostreopsis* genus blooms in the Mediterranean Sea: experience of the French Mediterranean coast surveillance network from 2006 to 2009. *Clin. Toxicol. (Phila)*, 48: 839-44.

Totti C., Accoroni S., Cerino F., Cucchiari E., Romagnoli T., 2010. *Ostreopsis ovata* bloom along the Conero Riviera (northern Adriatic Sea): Relationships with environmental conditions and substrata. *Harmful Algae*, 9: 233-239.

Vila M., Camp J., Garcés E., Masó M., Delgado M., 2001. High resolution spatio-temporal detection of potentially harmful dinoflagellates in confined waters of the NW Mediterranean. *J. Plank Res.*, 23: 497-514.

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.

Zingone A., Enevoldsen H.O., 2000. The diversity of harmful algal blooms: a challenge for science and management. *Ocean Coast. Manag.*, 43: 725-48.

<https://annuario.isprambiente.it>

<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti>

<https://sinacloud.isprambiente.it/portal/apps/MapSeries/index.html?appid=044e1df52e5446e89886212680525549>

<https://www.isprambiente.gov.it>

<https://www.ipcc.ch/srocc/>

Suolo e territorio

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

EEA (2017), Landscape fragmentation indicator effective mesh density (Seff).

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

FAO (2022). Halt soil salinization, boost soil productivity – Proceedings of the Global Symposium on Salt-affected Soils. 20–22 October 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9565en>

Munafò, M. (a cura di), 2022. Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2022. Report SNPA 32/22

Panagos et al. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.

UNCCD (2021). Version 2 of the <https://www.unccd.int/resources/manuals-and-guides/good-practice-guidance-sdg-indicator-1531-proportion-land-degraded>

Ghiacciai

Galosi A. (2021), Bilancio di Massa dei Ghiacciai, in Rapporto sugli indicatori di impatto dei Cambiamenti Climatici, ed. 2021

World Meteorological Organization (2022), STATE OF GLOBAL WATER RESOURCES 2021, WMO-No. 1308

World Meteorological Organization (2022), State of the Global Climate 2021, WMO-No. 1290

http://www.nimbus.it/ghiacciai/2022/220922_CiardoneyBilancio.htm

http://www.nimbus.it/ghiacciai/2022/220914_RicognizioneGhiacciaiAlpiOvest.htm

Popolazione e salute umana

Agenzia Europea dell’Ambiente, Report 1/2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016.

Agenzia Europea dell’Ambiente, 2022. Towards ‘just resilience’: leaving no one behind when adapting to climate change.

ISTAT, Noi Italia 2022. Popolazione e Società.

ISTAT, Rapporto Annuale 2022. La situazione del paese.

Lastoria B., Bussettini M., Mariani S., Piva F., Braca G., 2021: Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 353/21

MASE, 2022. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

Patrimonio culturale

Adger W. N. et al. (2009). *Are there social limits to adaptation to climate change?*, Climatic Change April 2009, Volume 93, Issue 3-4.

Caneva G. (2010). *“Cultural landscapes and climate change”*, in R. A. Lefèvre, C. Sabbioni, *Climate change and cultural heritage*, Bari, Edipuglia.

ISPRA, 2018. *Annuario dei dati ambientali*.

Lastoria B., Bussetini M., Mariani S., Piva F., Braca G. (2021). *2021: Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati*, ISPRA.

Sereni E. (1961). *Storia del paesaggio agrario italiano*, Laterza, Bari.

Trigila A., Iadanza C., Lastoria B., Bussetini M., Barbano A. (2021). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2021*, ISPRA.

Vos W., Meekes H. (1999). *“Trends in European cultural landscape development: perspectives for a sustainable future”*, in *Landscape and Urban Planning*, Volume 46, Issues 1–3.

Agricoltura

Ammassari P, Valentini R, Zaccarini Bonelli C, Bonati G (2011). Libro bianco. Sfide e opportunità dello sviluppo rurale per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Rete Rurale Nazionale 2007-2013, Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali

Arzeni A (a cura di) (2021). Le aziende agricole in Italia: risultati economici e produttivi, caratteristiche strutturali, sociali ed ambientali. Rapporto RICA 2021. CREA Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria. ISBN 978-88-338-5139-6

Bindi M e Olesen JE (2010). The responses of agriculture in Europe to climate change. *Reg Environ Chang* 11:151–158. doi: 10.1007/s10113-010-0173-x

FAO, 2013. *Climate Smart Agriculture Sourcebook*. ISBN 978-92-5-107720-7

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

ISPRA, 2021. *Stato dell'ambiente. Edizione 2020. Rapporto 95/2021*. ISBN 978-88-448-1040-5

Lobell DB, Field CB (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ Res Lett* 2. doi: 10.1088/1748-9326/2/1/014002 359

Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333:616–620. doi: 10.1126/science.120453

Moriondo M, Jones G V., Bois B, et al (2013a). Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Clim Change* 119:825–839. doi: 10.1007/s10584-013-0739-y

Moriondo M, Trombi G, Ferrise R, et al (2013b). Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Glob Ecol Biogeogr* 22:818–833. doi: 10.1111/geb.12061

Pesca marittima

- Abella A, Fiorentino F, Mannini A, Relini LO (2008) Exploring relationships between recruitment of European hake (*Merluccius merluccius* L. 1758) and environmental factors in the Ligurian Sea and the Strait of Sicily (Central Mediterranean). *J Mar Syst* 71:279–293. doi: 10.1016/j.jmarsys.2007.05.010
- Azzurro E, Moschella P, Maynou F (2011) Tracking Signals of Change in Mediterranean Fish Diversity Based on Local Ecological Knowledge. *PLoS One* 6: . doi: 10.1371/journal.pone.0024885
- 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, 6268– 6279. <https://doi.org/10.1111/gcb.16362>
- Azzurro, Ernesto, Sonia Smeraldo and Manuela D’Amen. “Spatio-temporal dynamics of exotic fish species in the Mediterranean Sea: Over a century of invasion reconstructed.” *Global Change Biology* 28 (2022): 6268 - 6279.
- Bartolino V, Colloca F, Sartor P, Ardizzone G (2008) Modelling recruitment dynamics of hake, *Merluccius merluccius*, in the central Mediterranean in relation to key environmental variables. *Fish Res* 92:277–288 . doi: 10.1016/j.fishres.2008.01.007
- 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>
- Bianchi CN (2007) Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 580:7–21 . doi: 10.1007/s10750-006-0469-5
- Blanchet, M. A., Primicerio, R., Smalås, A., Arias-Hansen, J., & Aschan, M. (2019). How vulnerable is the European seafood production to climate warming? *Fisheries Research*, 209(December 2017), 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.09.004>
- Blasiak, R., Spijkers, J., Tokunaga, K., Pittman, J., Yagi, N., & Österblom, H. (2017). Climate change and marine fisheries: Least developed countries top global index of vulnerability. *PLoS ONE*, 12(6), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179632>
- Boero F, Bouillon J, Gravili C, et al. (2008) Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes). *Marine Ecology Progress Series*, 356:299–310 . doi: 10.3354/meps07368
- Boero F, Carlton J, Briand F, et al (2013) Marine Extinctions. Patterns and Processes. *CIESM Work 343 Monographs*. 45:5–19.
- Boero F, Putti M, Trainito E, et al (2009) First records of *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora) from the Ligurian, Thyrrenian and Ionian Seas (Western Mediterranean) and first record of *Phyllorhiza punctata* (Cnidaria) from the Western Mediterranean. *Aquatic Invasions*, 4:675–680 . doi: 10.3391/ai.2009.4.4.13
- Checkley, D. M., Asch, R. G., & Rykaczewski, R. R. (2017). Climate, Anchovy, and Sardine. *Annual Review of Marine Science*, 9(1), 469–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-033819>
- 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>

- 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>
- Clavero M., Franch N., Bernardo-Madrid R., López V., Abelló P., Maria Queral J., Mancinelli G. (2022). Severe, rapid and widespread impacts of an Atlantic blue crab invasion, *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113479. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113479>.
- Cossarini G, Lazzari P, Solidoro C (2015) Spatiotemporal variability of alkalinity in the Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 12:1647–1658 . doi: 10.5194/bg-12-1647-2015
- Cossarini G, Libralato S, Salon S, et al (2008) Downscaling experiment for the Venice lagoon. II. Effects of changes in precipitation on biogeochemical properties. *Clim Res* 38:43–59 . doi: 10.3354/cr00758
- Darnaude, A.M., Salen-Picard, C., Polunin, N.V.C. et al. 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>
- Daskalov G (2002) Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 225:53–63 . doi: 10.3354/meps225053
- European Commission, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, Joint Research Centre, The EU blue economy report 2022 : annexes, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2771/547607>
- FAO. 2022. The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries 2022. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc3370en>
- Fortibuoni, T., Aldighieri, F., Giovanardi, O., Pranovi, F., & Zucchetto, M. (2015). Climate impact on Italian fisheries (Mediterranean Sea). *Regional Environmental Change*, 15(5), 931–937. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0781-6>
- Gamito, R., Pita, C., Teixeira, C., Costa, M. J., & Cabral, H. N. (2016). Trends in landings and vulnerability to climate change in different fleet components in the Portuguese coast. *Fisheries Research*, 181, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.04.008>
- Garzke J, Ismar SMH, Sommer U (2014) Climate change affects low trophic level marine consumers: warming decreases copepod size and abundance. *Oecologia* 177:849–860 . doi: 10.1007/s00442-014-3130-4
- GFCM Secretariat (2012) First meeting of the GFCM ad hoc working group on the Black Sea. Background document on the Black Sea fisheries. Costanta
- Gualdi S, Giorgi F, Navarra A (2009) Le proiezioni del clima futuro nell'area dell'Euro-Mediterraneo negli scenari globali e regionali. In: Castellari S, Artale V (eds) I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti. Bononia University Press, Bologna, pp 47–80
- Haynie, A. C., & Pfeiffer, L. (2012). Why economics matters for understanding the effects of climate change on fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1160–1167. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss021>
- Hidalgo, M., El-Haweet, 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>

- ISPRA, 2021a. Stock ittici in sovrasfruttamento. In: *Annuario dei dati ambientali 2021*. https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/report/html/711
- ISPRA, 2021b. Tasso di sfruttamento da pesca delle risorse ittiche nazionali. In: *Annuario dei dati ambientali 2021*. https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/1001
- ISPRA, 2022. *Annuario dei dati ambientali*.
- Lazzari P, Mattia G, Solidoro C, et al (2014) The impacts of climate change and environmental management policies on the trophic regimes in the Mediterranean Sea: Scenario analyses. *J Mar Syst* 135:137–149 . doi: 10.1016/j.jmarsys.2013.06.005
- Lasram FBR, Mouillot D (2008) Increasing southern invasion enhances congruence between endemic and exotic Mediterranean fish fauna. *Biological Invasions* 11:697–711 . doi: 10.1007/s10530-008-9284-4
- 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
- Libralato S, Caccin A, Pranovi F (2015) Modeling species invasions using thermal and trophic niche dynamics under climate change. *Front Mar Sci* 2:29 . doi: 10.3389/fmars.2015.00029
- 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>
- Pörtner HO, Peck MA (2010) Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *J Fish Biol* 77:1745–1779 . doi: 10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x
- Regolamento (UE) n. 1380/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell' 11 dicembre 2013 relativo alla politica comune della pesca, che modifica i regolamenti (CE) n. 1954/2003 e (CE) n. 1224/2009 del Consiglio e che abroga i regolamenti (CE) n. 2371/2002 e (CE) n. 639/2004 del Consiglio, nonché la decisione 2004/585/CE del Consiglio
- Rivetti I, Fraschetti 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
- Romanelli M, Giovanardi O (2012) Recent patterns of the Adriatic hydraulic dredge fishery targeting striped venus *Chamelea gallina* (L.) and influence of smaller rivers. *Biol Mar Mediterr* 19:218–219
- Sumaila, U. R., Cheung, W. W. L. L., Lam, V. W. Y. Y., Pauly, D., & Herrick, S. (2011). Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Climate Change*, 1(9), 449–456. <https://doi.org/10.1038/nclimate1301>
- 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>
- 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>
- Zenetos A, Gofas S, Morri C, et al (2012) A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction to trends and pathways. *Mediterranean Marine Science*, 13:328–352

Acquacoltura

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

Chiesa S., Di Blasio L., Marino G., 2022. Alien species associated to commercial bivalve translocations. *Proceedings of Aquaculture Europe "Innovative solutions in a changing world", Rimini, 27-30 settembre.*

Collins, C., Bresnan, E., Brown, L., Falconer, L., Guildler, 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. doi: 10.14465/2020.arc21.aqu

De Young C., Soto D., Bahri T. Brown D., 2012. Building resilience for adaptation to climate change in the fisheries and aquaculture. FAO-OECD Workshop Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. <http://www.fao.org/docrep/017/i3084e/i3084e00.htm>.

Di Blasio L., Chiesa S., Arcangeli G., Petochi T., Marino G., 2022. Specie non indigene e rischi sanitari associati alla movimentazione di molluschi bivalvi di interesse commerciale. *Atti del IX Convegno Nazionale SIRAM Società Italiana di Ricerca Applicata alla Molluschicoltura «Molluschicoltura, salute e ambiente», Trieste, 11-12 novembre.*

Donadelli V., Chiesa S., 2022. Aziende In Acquacoltura E Produzioni. *Annuario dei Dati Ambientali ISPRA (in pubblicazione).*

Falconer L., Telfer T.C., Garrett A., Hermansen Ø., Mikkelsen E., Hjøllø S.S., et al. (2022) Insight into real-world complexities is required to enable effective response from the aquaculture sector to climate change. *PLOS Clim* 1(3): e0000017. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000017>

FAO, 2010. Climate change and aquaculture: opportunities and challenges for adaptation and mitigation <http://www.fao.org/docrep/meeting/019/k7582e.pdf>.

FAO-GFCM, 2012. Resolution GFCM/36/2012/1 on guidelines on allocated zones for aquaculture (AZA). http://www.faosipam.org/GfcmWebSite/docs/RecRes/RES-GFCM_36_2012_1.pdf

Galli G., Solidoro C., Lovato M., 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).

Marino, G., Petochi, T., Cardia, F., 2020. Assegnazione di Zone Marine per l'Acquacoltura (AZA). Guida Tecnica, 214 p., Documenti Tecnici, ISPRA. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/documenti-tecnici/assegnazione-di-zone-marine-perlacquacoltura-aza-guida-tecnica>

Peruzza L., Dalla Rovere G., Frizzo R., Panin M., Riello T., Camerani F., Milan M., Smits M., Manuzzi A., Venier P., Mammi S., Bargelloni L., 2022. L'impatto delle Heat waves sulla biologia della vongola filippina *Ruditapes philippinarum*. *Atti del IX Convegno Nazionale SIRAM Società Italiana di Ricerca Applicata alla Molluschicoltura «Molluschicoltura, salute e ambiente», Trieste, 11-12 novembre.*

Siracusa M., Bacchiocchi S., Campacci D., Accoroni S., Totti C., Barchiesi F., Piersanti A., 2022. Un hot spot di Tetrodotossina nel Mar Adriatico: studio dell'origine e dei meccanismi di contaminazione nei mitili. *Atti del IX Convegno Nazionale SIRAM Società Italiana di Ricerca Applicata alla Molluschicoltura «Molluschicoltura, salute e ambiente», Trieste, 11-12 novembre.*

*Turismo**Insedimenti urbani*

MASE, 2022. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

*Infrastrutture di Trasporto Terrestre**Trasporto aereo e infrastrutture aeroportuali*

MASE, 2022. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

MIMS, 2021. Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità. Rapporto della “Commissione cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità sostenibili”.

Ambienti portuali

Bevacqua, E. et al. (2020). More meteorological events that drive compound coastal flooding are projected under climate change. *Commun. Earth Environ.* 1, 1-11.

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

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

Collin M., M. Sutherland, L. Bouwer, S.-M. Cheong, T. Frölicher, H. Jacot Des Combes, M. Koll Roxy, I. Losada, K., McInnes, B. Ratter, E. Rivera-Arriaga, R.D. Susanto, D. Swingedouw, and L. Tibig, (2019). Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press

Cramer W., Guiot J., Fader M., Garrabou J., Gattuso J-P., Iglesias A., Lange M.A., Lionello P., Llasat M.C., Paz S., Peñuelas J., Snoussi M., Toreti A., Tsimplis M.N., Xoplaki E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972-980, doi:10.1038/s41558-018-0299-2.

P.M. De Martini, H.J. Bruins, L. Feist, B.N. Goodman-Tchernov, H. Hadler, J. Lario, G. Mastronuzzi, L. Obrocki, D. Pantosti, R. Paris, K. Reicherter, A. Smedile, A. Vött (2021) The Mediterranean Sea and the Gulf of Cadiz as a natural laboratory for paleotsunami research: Recent advancements, *Earth-Science Reviews*, 216, 103578. DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103578.

Emanuel, K. (2005). Genesis and maintenance of ‘Mediterranean hurricanes’. *Adv. Geosci.* 2, 217-220.

European Environmental Agency (2021). Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction. EEA Report No 01/2021. Web site: <https://www.eea.europa.eu/vpublications/nature-based-solutions-in-europe>

EPA.gov (2022) Climate Change Indicators: Weather and Climate. [Online] website: <https://www.epa.gov/climate-indicators/weather-climate#:~:text=Scientific%20studies%20indicate%20that%20extreme,storms%2C%20floods%2C%20and%20droughts.>

GIZ (2017) Risk supplement to the vulnerability sourcebook. Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk.

Kontogianni A., Damigos D., Kyrtzoglou T., Tourkolias C. & Skourtos M. (2018) Development of a composite climate change vulnerability index for small craft harbours. *Environmental Hazards*, DOI: 10.1080/17477891.2018.1512469.

Laffoley, D. & Baxter, J.M. (eds.) (2019). *Ocean deoxygenation: Everyone's problem - Causes, impacts, consequences and solutions*. Full report. Gland, Switzerland: IUCN. 580pp.

León-Mateos, Fernando, et al. "Adapting our sea ports to the challenges of climate change: Development and validation of a Port Resilience Index." *Marine Policy* 130 (2021): 104573.

Lejeune 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

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

Lionello, P., Conte, D., Marzo, L. & Scarascia, L. The contrasting effect of increasing mean sea level and decreasing storminess on the maximum water level during storms along the coast of the Mediterranean Sea in the mid 21st century. *Glob. Planet. Change* 151, 80–91 (2016).

MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno)

Pasquali, D., Di Risio, M. e De Girolamo, P. (2015). A simplified real time method to forecast semi-enclosed basins storm surge. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 165, 61-69.

Sea Level Rise indicator by EEA (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sealevel-rise-6>)

Svendsen, I. A. e Jonsson, I. G. (1980). *Hydrodynamics of coastal regions*. (Den Private Ingeniørfond, Technical University Denmark)

Touratier F., Goyet C. (2009) Decadal evolution of anthropogenic CO₂ in the northwestern Mediterranean Sea from the mid-1990s to the mid-2000s. *Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap* 56:1708–1716 . doi: 10.1016/j.dsr.2009.05.015

Vermeer, M. & Rahmstorf, S. Global sea level linked to global temperature. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, 21527–21532 (2009).

Ward, P. J. et al. (2018). Dependence between high sea-level and high river discharge increases flood hazard in global deltas and estuaries. *Environ. Res. Lett.* 13, 084012.

Zhang, J., Gilbert, D., Gooday, A. J., Levin, L., Naqvi, S. W. A., Middelburg, J. J., Scranton, M., Ekau, W., Peña, A., Dewitte, B., Oguz, T., Monteiro, P. M. S., Urban, E., Rabalais, N. N., Ittekkot, V., Kemp, W. M., Ulloa, O., Elmgren, R., Escobar-Briones, E., and Van der Plas, A. K. (2010) Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development, *Biogeosciences*, 7, 1443–1467, <https://doi.org/10.5194/bg-7-1443-2010>.

Zecca A, Chiari L (2012) Lower bounds to future sea-level rise. *Glob Planet Change* 98–99:1–5 . doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.002