

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

# L'oceano e la criosfera in un clima che cambia

Rapporto speciale dell'IPCC

Sintesi per Decisori Politici



WG I WG II



# L'oceano e la criosfera in un clima che cambia

Rapporto speciale dell'IPCC

## Sintesi per Decisori Politici

A cura di

**Hans-Otto Pörtner**

Working Group II Co-Chair

**Valérie Masson-Delmotte**

Working Group I Co-Chair

**Debra C. Roberts**

Working Group II Co-Chair

**Panmao Zhai**

Working Group I Co-Chair

**Melinda Tignor**

Head of WGII TSU

**Elvira Poloczanska**

Science Advisor to the WGII  
Co-Chairs and TSU

**Katja Mintenbeck**

Director of Science

**Andrés Alegría**

Graphics Officer

**Maike Nicolai**

Communications Officer

**Andrew Okem**

Science Officer

**Jan Petzold**

Science Officer

**Bardhyl Rama**

Director of Operations

**Nora M. Weyer**

Science Officer

Working Group II Technical Support Unit

## Versione originale

© 2019 Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2019: Summary for Policymakers. 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.

La versione originale inglese di questo documento è disponibile in formato elettronico sul sito Web dell'IPCC all'indirizzo: [www.ipcc.ch/srocc](http://www.ipcc.ch/srocc)

Layout della copertina: Stefanie Langsdorf

## Traduzione italiana

La presente traduzione non è una traduzione ufficiale dell'IPCC. È stata fatta con l'obiettivo di rendere la lingua utilizzata nel testo originale nel modo più appropriato possibile.

Edizione italiana a cura di  
Società Italiana per le Scienze del Clima  
[www.sisclima.it](http://www.sisclima.it)

IPCC focal point for Italy  
[www.cmcc.it/ipccitalia](http://www.cmcc.it/ipccitalia)



Traduzione: Studenti del corso di Stefano Caserini "Mitigazione dei cambiamenti climatici", Politecnico di Milano, a.a. 2019/2020: Federica Astrologo, Alessandro Battaglia, Andrea Betteo, Mattia Betteo, Chiara Bonacina, Simone Bruschi, Marco Colombo, Matteo Colombo, Paolo Colombo, Silvia Colombo, Alessandro Corbo, Nicola Crippa, Francesco Crisanto, Iacopo Del Vecchio, Patrick Gianoni, Filippo Grandjacquet, Michael Greco, Stefano Lasperini, Marta Mandonico, Lucia Maruffi, Anthony Mascia, Mark Matalog, Marco Mazzolini, Lorenzo Olgiati, Gianluigi Pagano, Elia Pains, Massimiliano Palmitessa, Erica Persetti, Luca Rampon, Fabio Raniolo, Luca Spinelli, Federico Strobino, Selene Varliero, Davide Vezzoli, Alberto Zoccali.

Revisione scientifica: Coordinamento: Carlo Barbante e Silvio Gualdi. Revisori: Carlo Barbante, Stefano Caserini, Silvio Gualdi, Mita Lapi, Simona Masina, Paola Mercogliano, Antonello Pasini, Azzurra Spagnesi, Dino Zardi

Layout: Renato Dalla Venezia

## Fonti

Questa traduzione può essere scaricata dal sito [www.sisclima.it](http://www.sisclima.it) come file PDF.

Come organismo delle Nazioni Unite, l'IPCC pubblica i suoi rapporti nelle sei lingue ufficiali delle Nazioni Unite (arabo, cinese, inglese, francese, russo, spagnolo). Le versioni in queste lingue sono disponibili per il download su [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). Per ulteriori informazioni, contattare la segreteria dell'IPCC (indirizzo: 7bis Avenue de la Paix, C.P. 2300, 1211 Ginevra 2, Svizzera, e-mail: [ipcc-sec@wmo.int](mailto:ipcc-sec@wmo.int)).

ISBN 978-92-9169-155-5

# Sintesi per Decisori Politici



## Sintesi per Decisori Politici

### **Autori della stesura:**

Nerilie Abram (Australia), Carolina Adler (Switzerland/Australia), Nathaniel L. Bindoff (Australia), Lijing Cheng (China), So-Min Cheong (Republic of Korea), William W. L. Cheung (Canada), Matthew Collins (UK), Chris Derksen (Canada), Alexey Ekaykin (Russian Federation), Thomas Frölicher (Switzerland), Matthias Garschagen (Germany), Jean-Pierre Gattuso (France), Bruce Glavovic (New Zealand), Stephan Gruber (Canada/Germany), Valeria Guinder (Argentina), Robert Hallberg (USA), Sherilee Harper (Canada), Nathalie Hilmi (Monaco/France), Jochen Hinkel (Germany), Yukiko Hirabayashi (Japan), Regine Hock (USA), Anne Hollowed (USA), Helene Jacot Des Combes (Fiji), James Kairo (Kenya), Alexandre K. Magnan (France), Valérie Masson-Delmotte (France), J.B. Robin Matthews (UK), Kathleen McInnes (Australia), Michael Meredith (UK), Katja Mintenbeck (Germany), Samuel Morin (France), Andrew Okem (South Africa/Nigeria), Michael Oppenheimer (USA), Ben Orlove (USA), Jan Petzold (Germany), Anna Pirani (Italy), Elvira Poloczanska (UK/Australia), Hans-Otto Pörtner (Germany), Anjal Prakash (Nepal/India), Golam Rasul (Nepal), Evelia Rivera-Arriaga (Mexico), Debra C. Roberts (South Africa), Edward A.G. Schuur (USA), Zita Sebesvari (Hungary/Germany), Martin Sommerkorn (Norway/Germany), Michael Sutherland (Trinidad and Tobago), Alessandro Tagliabue (UK), Roderik Van De Wal (Netherlands), Phil Williamson (UK), Rong Yu (China), Panmao Zhai (China)

### **Autori che hanno contribuito alla stesura: :**

Andrés Alegría (Honduras), Robert M. DeConto (USA), Andreas Fischlin (Switzerland), Shengping He (Norway/China), Miriam Jackson (Norway), Martin Künsting (Germany), Erwin Lambert (Netherlands), Pierre-Marie Lefeuve (Norway/France), Alexander Milner (UK), Jess Melbourne-Thomas (Australia), Benoit Meyssignac (France), Maike Nicolai (Germany), Hamish Pritchard (UK), Heidi Steltzer (USA), Nora M. Weyer (Germany)

### **Data:**

24 Settembre 2019

### **Questa sintesi per i decisori politici dovrebbe essere citata come:**

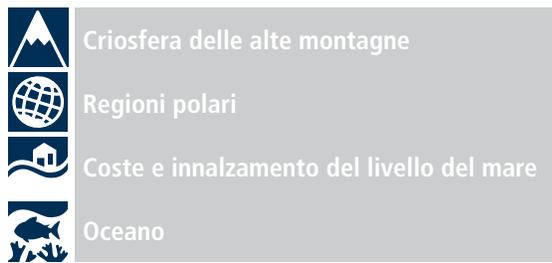
IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

## Introduzione

Questo Rapporto Speciale sull'Oceano e la Criosfera<sup>1</sup> in un Clima che Cambia (SROCC) è stato preparato in seguito alla decisione presa dal Panel dell'IPCC nel 2016 di preparare tre Rapporti Speciali durante il Sesto Ciclo di Valutazione<sup>2</sup>. Sulla base delle analisi della nuova letteratura scientifica<sup>3</sup>, il SROCC<sup>4</sup> risponde alle proposte dei governi e delle organizzazioni osservatrici. Il SROCC segue gli altri due Rapporti Speciali sul Riscaldamento Globale di 1.5°C (SR1.5) e sui Cambiamenti Climatici e Terra (SRCLL)<sup>5</sup> e la Piattaforma Intergovernativa di Politiche Scientifiche sulla Biodiversità e sui Servizi Ecosistemici (IPBES) il Report Globale di Valutazione sulla Biodiversità e sui Servizi Ecosistemici.

Questo Riassunto per i Decisori Politici (SPM) riporta i risultati chiave del Rapporto ed è strutturato in tre parti: SPM.A: Cambiamenti osservati e impatti, SPM.B: Cambiamenti proiettati e rischi, e SPM.C: Implementare le risposte al cambiamento dell'oceano e della criosfera. Per aiutare nella lettura del SPM, le icone indicano dove può essere trovato il contenuto. Il livello di confidenza dei risultati chiave è riportato usando il linguaggio calibrato dall'IPCC<sup>6</sup> e le basi scientifiche sottostanti ogni risultato chiave sono indicate nei riferimenti delle sezioni del rapporto sottostante.

### Icone chiave per indicare il contenuto:



<sup>1</sup> La criosfera è definita in questo rapporto (Allegato I: Glossario) come le componenti del Sistema Terrestre sulla e sotto la superficie della terra e dell'oceano che è congelata, compresi la copertura nevosa, le calotte glaciali, le piattaforme glaciali, gli iceberg, il mare ghiacciato, i laghi ghiacciati, i fiumi ghiacciati, il permafrost, e il terreno che ghiaccia stagionalmente.

<sup>2</sup> La decisione di preparare un Rapporto Speciale sui Cambiamenti Climatici e gli Oceani e la Criosfera è stata presa durante la Quarantatreesima Sessione dell'IPCC a Nairobi, Kenya, 11–13 aprile 2016.

<sup>3</sup> Scadenze: 15 ottobre 2018 per la presentazione del manoscritto, 15 maggio 2019 accettazione per la pubblicazione.

<sup>4</sup> Il SROCC è stato prodotto sotto la supervisione scientifica del Gruppo di Lavoro I e il Gruppo di Lavoro II. In linea con l'indice approvato, non sono valutate le opzioni di mitigazione (Gruppo di Lavoro III) ad eccezione della mitigazione potenziale del carbonio blu (ecosistemi acquatici).

<sup>5</sup> I titoli interi di questi due Rapporti Speciali sono: "Riscaldamento Globale di 1,5°C. Un rapporto speciale dell'IPCC sugli impatti del riscaldamento globale di 1,5°C sopra i livelli pre-industriali e il relativo percorso delle emissioni globali di gas effetto serra, in un contesto di rafforzamento della risposta globale alla minaccia dei cambiamenti climatici, dello sviluppo sostenibile, e degli sforzi per estirpare la povertà"; "Cambiamenti Climatici e Terra: un rapporto speciale dell'IPCC sui cambiamenti climatici, sulla desertificazione, sulla degradazione dei suoli, sulla gestione sostenibile della terra, sulla sicurezza del cibo, e sui flussi dei gas effetto serra negli ecosistemi terrestri".

<sup>6</sup> Ogni conclusione è basata su una valutazione delle evidenze e degli accordi sottostanti. Un livello di confidenza è espresso utilizzando cinque qualifiche: molto bassa, bassa, media, alta e molto alta, e caratteri in corsivo, per esempio *confidenza media*. I termini seguenti sono stati utilizzati per indicare la probabilità valutata di un esito o un risultato: virtualmente certo probabilità 99–100%, molto probabile 90–100%, probabile 66–100%, più o meno probabile 33–66%, improbabile 0–33%, molto improbabile 0–10%, eccezionalmente improbabile 0–1%. Le probabilità valutate sono scritte in carattere corsivo, per esempio *molto probabile*. Questo è coerente con il Rapporto AR5 e con gli altri Rapporti Speciali AR6. Termini in aggiunta (estremamente probabile 95–100%, più probabile che improbabile >50–100%, più improbabile che probabile 0–<50%, estremamente improbabile 0–5%) sono utilizzati quando appropriato. Questo Rapporto utilizza anche il termine 'intervallo probabile' o 'intervallo molto probabile' per indicare che la probabilità valutata di un risultato si inserisce nell'intervallo di probabilità del 17–83% o del 5–95%. Per maggiori dettagli vedere {1.9.2, Figura 1.4}.

## Riquadro iniziale | L'importanza degli oceani e della criosfera per l'uomo

Tutti gli esseri umani sulla Terra dipendono direttamente o indirettamente dagli oceani e dalla criosfera. Gli oceani ricoprono il 71% della superficie della Terra e rappresentano circa il 97% dell'acqua del pianeta. La criosfera fa riferimento alle componenti ghiacciate del sistema Terra. Circa il 10% della superficie terrestre è ricoperta da ghiacciai o calotte di ghiaccio. Gli oceani e la criosfera sostengono habitat unici, e sono interconnessi con altre componenti del sistema climatico attraverso uno scambio globale di acqua, energia e carbonio. Le risposte proiettate degli oceani e della criosfera alle emissioni di gas serra passate e attuali indotte dall'uomo e al riscaldamento globale in atto includono feedback sul clima, cambiamenti da scale decennali fino a millenarie che non possono essere evitati, soglie di improvvisi cambiamenti e irreversibilità. {Riquadro 1.1, 1.2}

Le comunità umane in stretta connessione con gli ambienti costieri, le piccole isole (compresi gli Stati in via di sviluppo delle piccole isole, SIDS), le aree polari e le zone di alta montagna<sup>7</sup> sono particolarmente esposte al cambiamento degli oceani e della criosfera, come l'innalzamento del livello del mare, i livelli estremi del mare e la contrazione della criosfera. Altre comunità più lontane dalla costa sono anch'esse esposte a cambiamenti che avvengono negli oceani, come ad esempio gli eventi meteorologici estremi. Oggi, circa 4 milioni di persone vivono permanentemente nella regione artica, di cui il 10% sono Indigeni. Le zone costiere<sup>8</sup> più basse sul livello del mare ospitano attualmente circa 680 milioni di persone (quasi il 10% della popolazione mondiale nel 2010) e si stima possano raggiungere oltre un miliardo di abitanti entro il 2050. I SIDS ospitano 65 milioni di persone. Circa 670 milioni di persone (quasi il 10% della popolazione mondiale nel 2010), compresi i popoli Indigeni, vivono in regioni di alta montagna in tutti i continenti eccetto l'Antartide. Nelle regioni di alta montagna, la popolazione dovrebbe raggiungere tra i 740 e gli 840 milioni di persone entro il 2050 (circa l'8,4–8,7% della popolazione globale proiettata). {1.1, 2.1, 3.1, Cross-Chapter, Riquadro 9, Figura 2.1}

Oltre al loro ruolo all'interno del sistema climatico, come l'assorbimento e la redistribuzione dell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e del calore naturali e antropogenici, nonché il supporto dell'ecosistema, i servizi forniti dall'oceano e/o dalla criosfera comprendono l'approvvigionamento di cibo e acqua, energia rinnovabile e benefici per la salute e il benessere, i valori culturali, il turismo, il commercio e i trasporti. Lo stato degli oceani e della criosfera interagisce con ogni aspetto della sostenibilità riflesso negli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (SDGs). {1.1, 1.2, 1.5}

<sup>7</sup> Le aree di alta montagna comprendono tutte le regioni montane in cui ghiacciai, neve o permafrost sono elementi di spicco del paesaggio. Per un elenco delle regioni di alta montagna trattate in questo rapporto, vedere il Capitolo 2. La popolazione nelle regioni di alta montagna è calcolata per aree a meno di 100 chilometri da ghiacciai o permafrost nelle zone di alta montagna valutate in questo rapporto {2.1}. Le proiezioni per il 2050 forniscono un intervallo demografico in queste regioni in tutti e cinque i percorsi socioeconomici condivisi {Cross-Chapter, Riquadro 1 nel Capitolo 1}

<sup>8</sup> La popolazione nelle zone costiere più basse sul livello del mare viene calcolata per le aree terrestri connesse alla costa, compresi i piccoli stati insulari, che sono a meno di 10 metri sopra il livello del mare {Cross-Chapter, Riquadro 9}. Le proiezioni per il 2050 forniscono un intervallo demografico in queste regioni in tutti e cinque i percorsi socio-economici condivisi {Cross-Chapter, Riquadro 1 nel Capitolo 1}.

## A. Cambiamenti osservati ed impatti

### Cambiamenti fisici osservati

**A.1 Negli ultimi decenni, il riscaldamento globale ha portato ad una diffusa riduzione della criosfera, con perdita di massa dalle calotte glaciali e dai ghiacciai (*confidenza molto alta*), riduzione nella copertura nevosa (*confidenza alta*), ed estensione e spessore del ghiaccio artico (*confidenza molto alta*), e aumento delle temperature del permafrost (*confidenza molto alta*). {2.2, 3.2, 3.3, 3.4, Figure SPM.1, SPM.2}**

A.1.1  Le calotte glaciali e i ghiacciai del pianeta hanno perso massa (*confidenza molto alta*). Tra il 2006 e il 2015 la calotta glaciale della Groenlandia<sup>9</sup> ha perso massa ad un tasso medio di  $278 \pm 11$  Gt/anno (equivalente a  $0,77 \pm 0,03$  mm/anno di aumento del livello globale del mare<sup>10</sup>), soprattutto dovuto alla fusione della superficie (*confidenza alta*). Nel 2006–2015, la calotta glaciale antartica ha perso massa ad un tasso medio di  $155 \pm 19$  Gt/anno ( $0,43 \pm 0,05$  mm/anno), soprattutto a causa del rapido assottigliamento e al ritirarsi dei principali ghiacciai di sbocco che drenano la calotta glaciale antartica occidentale (*confidenza molto alta*). I ghiacciai di tutto il mondo, esclusi la Groenlandia e l'Antartide, hanno perso massa ad un tasso medio di  $220 \pm 30$  Gt/anno (equivalente a  $0,61 \pm 0,08$  mm/anno di aumento del livello globale del mare) nel 2006–2015. {3.3.1, 4.2.3, Appendice 2.A, Figura SPM.1}

A.1.2  L'estensione della copertura nevosa a giugno in Artico sulla terra è diminuita del  $13,4 \pm 5,4\%$  per decennio dal 1967 al 2018, con una perdita totale di circa 2,5 milioni di km<sup>2</sup>, principalmente a causa dell'aumento della temperatura dell'aria superficiale (*confidenza alta*). In quasi tutte le zone di alta montagna, la profondità, l'estensione e la durata della copertura nevosa sono diminuite negli ultimi decenni, soprattutto a quote più basse (*confidenza alta*). {2.2.2, 3.4.1, Figura SPM.1}

A.1.3  Le temperature del permafrost sono aumentate a livelli elevati (1980–oggi) (*confidenza molto alta*) incluso il recente aumento di  $0,29^\circ\text{C} \pm 0,12^\circ\text{C}$  dal 2007 al 2016 in media nelle regioni polari e di alta montagna a livello globale. Il permafrost artico e boreale contiene 1460–1600 Gt di carbonio organico, circa due volte il carbonio in atmosfera (*confidenza media*). Vi sono evidenze medie con scarso consenso del fatto che il permafrost delle regioni settentrionali stia attualmente rilasciando flussi netti di metano e CO<sub>2</sub> supplementari a causa del disgelo. Lo scongelamento del permafrost e il ritiro dei ghiacciai hanno ridotto la stabilità dei pendii di alta montagna (*confidenza alta*). {2.2.4, 2.3.2, 3.4.1, 3.4.3, Figura SPM.1}

A.1.4  Tra il 1979 e il 2018, l'estensione del ghiaccio marino artico è *molto probabilmente* diminuita per tutti i mesi dell'anno. Le riduzioni di ghiaccio marino in settembre sono *molto probabilmente* del  $12,8\% \pm 2,3\%$  per decennio. Questi cambiamenti del ghiaccio marino in settembre *probabilmente* non hanno precedenti negli ultimi 1000 anni. Il ghiaccio marino dell'Artico si è assottigliato, in concomitanza con una transizione al ghiaccio più giovane: tra il 1979 e il 2018, la proporzione areale del ghiaccio pluriennale vecchio di almeno 5 anni è diminuita approssimativamente del 90% (*confidenza molto alta*). I meccanismi di retroazione legati alla perdita del ghiaccio marino estivo e della copertura nevosa primaverile a terra hanno contribuito ad amplificare il riscaldamento dell'Artico (*alta confidenza*), dove la temperatura dell'aria superficiale è *probabilmente* aumentata di oltre il doppio della media globale negli ultimi due decenni. I cambiamenti nel ghiaccio marino artico hanno il potenziale di influenzare il clima alle medie latitudini (*confidenza media*), ma c'è confidenza scarsa nel rilevamento di questa influenza per specifici regimi di circolazione atmosferica. L'estensione del ghiaccio marino antartico in generale non ha avuto una tendenza statisticamente significativa (1979–2018) a causa dei segnali regionali contrastanti e della grande variabilità inter-annuale (*confidenza alta*). {3.2.1, 6.3.1; Riquadro 3.1; Riquadro 3.2; A1.2, Figure SPM.1, SPM.2}

<sup>9</sup> Ghiacciai periferici inclusi.

<sup>10</sup> 360 Gt di ghiaccio corrispondono a 1 mm di innalzamento medio del livello del mare globale.

# Cambiamenti passati e futuri nell'oceano e nella criosfera

Cambiamenti storici (osservati e modellati) e proiezioni con RCP2.6 e RCP8.5 per indicatori chiave

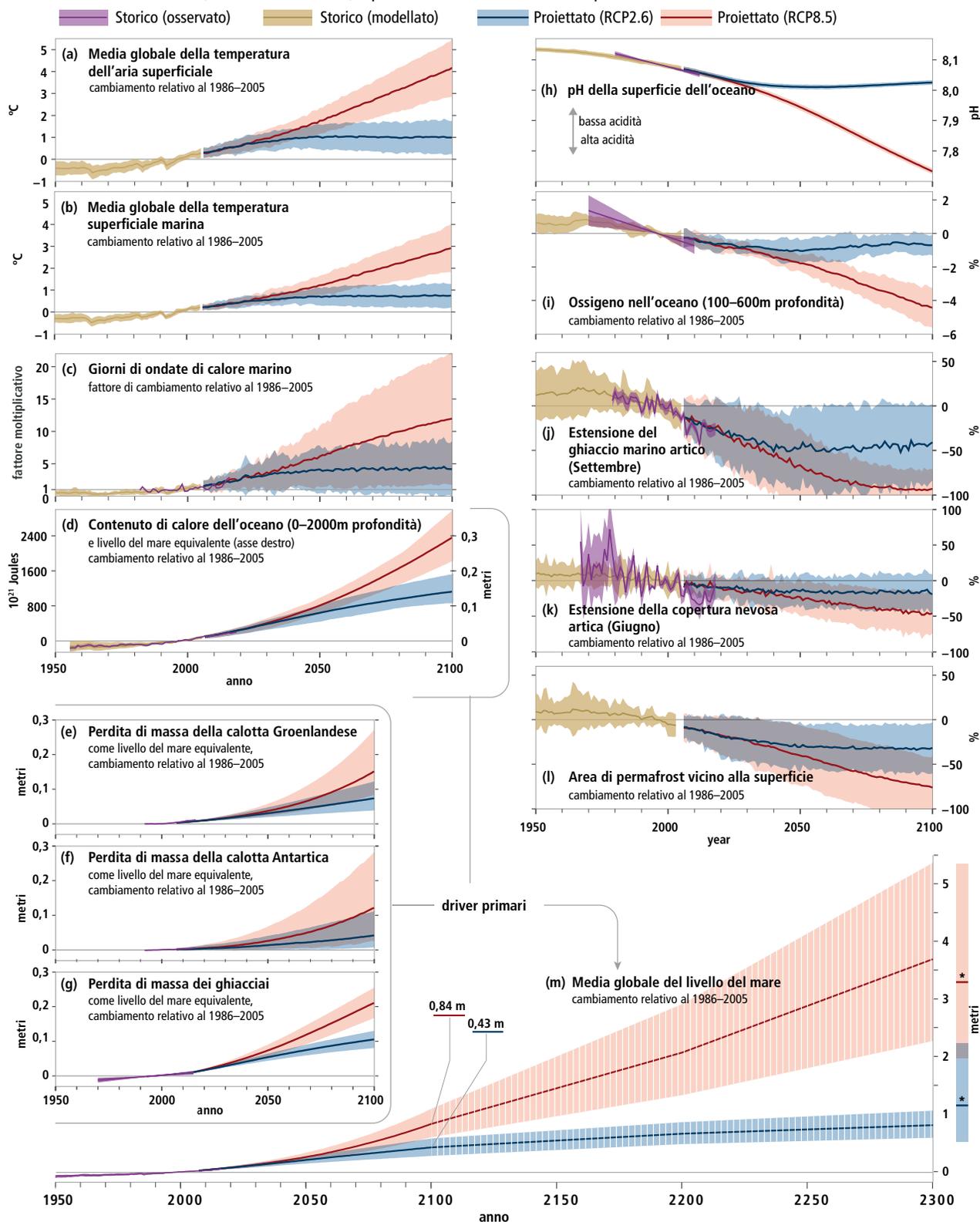


Figura SPM.1 | Cambiamenti storici osservati e modellati nell'oceano e nella criosfera dal 1950<sup>11</sup> e proiezioni future dei cambiamenti in scenari di basse (RCP2.6) e alte

<sup>11</sup> Questo non implica che il cambiamento sia cominciato nel 1950. Cambiamenti in alcune variabili si sono verificati nel periodo preindustriale.

(RCP8.5) emissioni di gas serra. {Riquadro SPM.1}. Le variazioni sono mostrate per (a) cambiamento della media globale della temperatura dell'aria superficiale con intervalli *probabili* {Riquadro SPM.1, *Cross-Chapter* Riquadro 1 nel Capitolo 1}. **Cambiamenti legati all'oceano** con intervalli *molto probabili* per (b) cambiamento della media globale della temperatura superficiale marina {Riquadro 5.1, 5.2.2}; (c) Fattore di cambiamento nei giorni di ondata di calore marino nell'oceano superficiale {6.4.1}; (d) Cambiamento globale del contenuto di calore dell'oceano (0–2000 m di profondità). Una valutazione approssimata del livello marino sterico equivalente è mostrata sull'asse destro moltiplicando il contenuto di calore dell'oceano per il coefficiente di espansione termica media globale ( $\alpha \approx 0,125$  m per 1024 Joule)<sup>12</sup> per il riscaldamento osservato dal 1970 (Figura 5.1); (h) valore di pH superficiale medio globale (sulla scala totale). Le tendenze osservate sono compilate da serie temporali di durata superiore a 15 anni in mare aperto {Riquadro 5.1, Figura 5.6, 5.2.2}; e (i) variazione globale di ossigeno medio nell'oceano (profondità 100–600 m). Le tendenze osservate vanno dal 1970 al 2010 incentrate sul 1996 (Figura 5.8, 5.2.2). **Cambiamenti del livello del mare** con *probabili* intervalli (m) di variazione globale media del livello del mare. L'ombreggiatura tratteggiata riflette una *confidenza scarsa* nelle proiezioni del livello del mare oltre il 2100 e le barre a 2300 riflettono il consenso degli esperti sull'intervallo di possibili cambiamenti del livello del mare {4.2.3, Figura 4.2}; e componenti (e, f) dovuti alla perdita di massa della calotta glaciale della Groenlandia e dell'Antartide {3.3.1}; e (g) perdita di massa dei ghiacciai {*Cross-Chapter* Riquadro 6 del Capitolo 2, Tabella 4.1}. Ulteriori **cambiamenti relativi alla criosfera** con intervalli *molto probabili* per (j) variazione dell'estensione del ghiaccio marino artico in settembre<sup>13</sup> {3.2.1, 3.2.2 Figura 3.3}; (k) cambio della copertura nevosa artica in giugno (aree a nord di 60° N) {3.4.1, 3.4.2, Figura 3.10}; e (l) Variazione dell'area di permafrost superficiale (entro 3–4 m) nell'emisfero Nord {3.4.1, 3.4.2, Figura 3.10}. Le valutazioni dei cambiamenti proiettati negli scenari intermedi RCP4.5 e RCP6.0 non sono disponibili per tutte le variabili considerate, ma dove disponibili, sono riportate nel rapporto sottostante {Per RCP4.5, vedere: 2.2.2, *Cross-Chapter* Riquadro 6 nel Capitolo 2, 3.2.2, 3.4.2, 4.2.3, per RCP6.0 vedere il *Cross-Chapter* Riquadro 1 nel Capitolo 1}.

## Riquadro SPM.1 | Uso degli scenari di cambiamento climatico nello SROCC

Le valutazioni dei futuri cambiamenti proiettati in questo rapporto si basano in gran parte sulle proiezioni di modelli climatici CMIP5<sup>14</sup> utilizzando i Percorsi di Concentrazione Rappresentativi (*Representative Concentration Pathways*, RCP). Gli RCP sono scenari che includono serie temporali di emissioni e concentrazioni dell'insieme completo di gas a effetto serra (GHG) e aerosol e gas chimicamente attivi, nonché uso e copertura del suolo. Gli RCP forniscono solo un insieme di molti possibili scenari che porterebbero a diversi livelli di riscaldamento globale. {Allegato I: Glossario}

Questo rapporto utilizza principalmente RCP2.6 e RCP8.5 nella sua valutazione, rispecchiando la letteratura disponibile. L'RCP2.6 rappresenta uno scenario a bassa emissione di gas a effetto serra, un futuro con un alto livello di mitigazione, che nelle simulazioni CMIP5 offre una possibilità su due di limitare il riscaldamento globale a meno di 2° C entro 2100<sup>15</sup>. Al contrario, RCP8.5 è uno scenario ad elevate emissioni di gas serra in assenza di politiche per combattere i cambiamenti climatici, portando a una crescita continua e sostenuta dei gas serra atmosferici. I capitoli sottostanti fanno riferimento anche ad altri scenari, inclusi RCP4.5 e RCP6.0 che hanno livelli intermedi di emissioni di gas serra e comportano livelli intermedi di riscaldamento. {Allegato I: Glossario, *Cross-Chapter* Riquadro 1 nel Capitolo 1}

La Tabella SPM.1 fornisce stime del riscaldamento totale dal periodo preindustriale sotto quattro diversi scenari RCP per intervalli di valutazione chiave usati nello SROCC. Il riscaldamento tra il periodo 1850–1900 e il periodo 1986–2005 è stato valutato in 0,63°C (da 0,57 a 0,69°C intervallo *probabile*) usando le osservazioni della temperatura dell'aria in prossimità della superficie terrestre. Coerentemente con l'approccio in AR5, al riscaldamento osservato sono aggiunti i cambiamenti futuri simulati della temperatura dell'aria superficiale relativi al periodo 1986–2005. {*Cross-Chapter* Riquadro 1 nel Capitolo 1}

**Tabella SPM.1** | Proiezione del cambiamento della temperatura superficiale media globale rispetto al periodo 1850–1900 per due periodi temporali in quattro scenari RCP<sup>16</sup>. {*Cross-Chapter* Riquadro 1 nel Capitolo 1}

Scenario	Futuro prossimo alla scadenza: 2031–2050		Fine secolo: 2081–2100	
	Media (°C)	Intervallo probabile (°C)	Media (°C)	Intervallo Probabile (°C)
RCP2.6	1,6	1,1 a 2,0	1,6	0,9 a 2,4
RCP4.5	1,7	1,3 a 2,2	2,5	1,7 a 3,3
RCP6.0	1,6	1,2 a 2,0	2,9	2,0 a 3,8
RCP8.5	2,0	1,5 a 2,4	4,3	3,2 a 5,4

<sup>12</sup> Il fattore di scala (media globale dell'espansione dell'oceano come aumento del livello del mare in metri per unità di calore) varia di circa il 10% tra differenti modelli, e aumenterà sistematicamente di circa il 10% nel 2100 nello scenario RCP8.5, in conseguenza all'aumento del coefficiente di espansione termica medio dovuto al riscaldamento oceanico {4.2.1, 4.2.2, 5.2.2}

<sup>13</sup> Il ghiaccio marino antartico non è mostrato a causa della *confidenza bassa* nelle proiezioni future. {3.2.2}

<sup>14</sup> CMIP5 è la Fase 5 del *Coupled Model Intercomparison Project* (Allegato I: Glossario).

<sup>15</sup> Uno scenario con emissioni più basse (RCP1.9), che corrisponderebbe a un livello inferiore di riscaldamento proiettato rispetto a RCP2.6, non faceva parte di CMIP5.

<sup>16</sup> In alcuni casi, questo rapporto valuta le modifiche relative al periodo 2006–2015. Il riscaldamento dal periodo 1850–1900 fino al 2006–2015 è stato valutato come 0,87°C (intervallo probabile da 0,75 a 0,99 °C). {*Cross-Chapter* Riquadro 1 in Capitolo 1}.

**A.2** È *virtualmente certo* che globalmente l'oceano si è riscaldato senza sosta dal 1970 ed ha assorbito oltre il 90% del calore in eccesso nel sistema climatico (*confidenza alta*). Dal 1993, il tasso di riscaldamento dell'oceano è più che raddoppiato (*probabile*). Le ondate di calore marine sono *molto probabilmente* raddoppiate in frequenza dal 1982 e stanno aumentando di intensità (*confidenza molto alta*). Assorbendo più CO<sub>2</sub>, l'oceano ha subito una crescente acidificazione superficiale (*virtualmente certo*). Si è verificata una perdita di ossigeno dalla superficie a 1000 m (*confidenza media*). {1.4, 3.2, 5.2, 6.4, 6.7, Figure SPM.1, SPM.2}

A.2.1.  È proseguito il trend di riscaldamento degli oceani documentato nel Quinto Rapporto di Valutazione IPCC (AR5). Dal 1993 il tasso di riscaldamento degli oceani e quindi l'assorbimento di calore è più che raddoppiato (*probabile*) da  $3,22 \pm 1,61$  ZJ /anno (0–700 m di profondità) e  $0,97 \pm 0,64$  ZJ /anno (700–2000 m di profondità) tra il 1969 e il 1993, a  $6,28 \pm 0,48$  ZJ /anno (0–700 m di profondità) e  $3,86 \pm 2,09$  ZJ /anno (700–2000 m di profondità) tra il 1993 e il 2017<sup>17</sup>, ed è attribuito alla forzante antropogenica (*molto probabile*). {1.4.1, 5.2.2, Tabella 5.1, Figura SPM.1}

A.2.2.  All'Oceano Meridionale è imputabile il 35–43% dell'aumento totale di calore dell'oceano globale sopra i 2000 m tra il 1970 e il 2017 (*confidenza alta*). La sua quota è aumentata a 45–62% tra il 2005 e il 2017 (*confidenza alta*). L'oceano profondo al di sotto dei 2000 m si è riscaldato dal 1992 (*probabile*), specialmente nell'Oceano Meridionale. {1.4, 3.2.1, 5.2.2, Tabella 5.1, Figura SPM.2}

A.2.3.  Globalmente, gli eventi legati al calore marino sono aumentati; ondate di calore marino<sup>18</sup>, definite come eventi nei quali la temperatura giornaliera della superficie del mare eccede localmente il 99-esimo percentile nel periodo 1982–2016, sono raddoppiati in frequenza e sono diventati più duraturi, più intensi e più estesi (*molto probabile*). È *molto probabile* che tra l'84–90% delle ondate di calore marino che si sono verificate tra il 2006 e il 2015 sono attribuibili all'aumento antropico della temperatura. {Tabella 6.2, 6.4; Figura SPM.1, SPM.2}

A.2.4.  La stratificazione della densità<sup>19</sup> dell'oceano nei primi 200 m è aumentata dal 1970 (*molto probabile*). Il riscaldamento osservato della superficie dell'oceano e l'aggiunta ad alta latitudine di acqua dolce stanno rendendo la superficie dell'oceano meno densa rispetto alle parti più profonde (*confidenza alta*) e inibendo la miscelazione tra le acque superficiali e quelle più profonde (*confidenza alta*). La stratificazione media nei primi 200 m nel periodo 1998–2017 è aumentata del  $2,3 \pm 0,1$  % (*intervallo molto probabile*) rispetto alla media del 1971–1990 {5.2.2}

A.2.5.  L'oceano ha assorbito tra il 20–30% (*molto probabile*) delle emissioni antropogeniche di CO<sub>2</sub> totali dagli anni '80 causando un'ulteriore acidificazione degli oceani. Il pH della superficie dell'oceano aperto è diminuito di un intervallo di 0,017–0,027 unità di pH (*molto probabile*) per decennio dalla fine degli anni '80<sup>20</sup>, con una diminuzione del pH della superficie dell'oceano (*molto probabile*) che già si discosta dalla variabilità naturale di fondo in oltre il 95 % dell'area della superficie dell'oceano. {3.2.1; 5.2.2; Riquadro 5.1; Figura SPM.1, SPM.2}

<sup>17</sup> ZJ è Zettajoule ed è uguale a 10<sup>21</sup> Joule. Per riscaldare l'intero oceano di 1°C sono necessari circa 5500 ZJ; 144 ZJ riscalderebbero i primi 100 m di circa 1°C.

<sup>18</sup> Un'ondata di calore marina è un periodo di temperatura estremamente calda in prossimità della superficie del mare che persiste per giorni o mesi e può estendersi fino a migliaia di chilometri (Allegato I: Glossario).

<sup>19</sup> In questo rapporto la stratificazione della densità è definita come il contrasto di densità tra strati più superficiali e più profondi. Una maggiore stratificazione riduce lo scambio verticale di calore, salinità, ossigeno, carbonio, e nutrienti.

<sup>20</sup> Basato su misure eseguite in situ per più di quindici anni.

A.2.6  I dati tra il 1970 e il 2010 mostrano che l'oceano aperto ha perso ossigeno, nello strato fino a 1000 m di profondità, in un intervallo *molto probabile* compreso tra 0,5 e 3,3%. In contemporanea, si mostra una probabile espansione (*confidenza media*) del volume di zone di minimo ossigeno (3–8%). La perdita di ossigeno è dovuta principalmente all'incremento della stratificazione oceanica, al cambiamento della ventilazione e della biogeochimica (*confidenza alta*). {5.2.2; Figure SPM.1, SPM.2}.

A.2.7  Le osservazioni, sia in situ (2004–2017) che basate su ricostruzioni della temperatura marina in superficie, indicano che la *Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)*<sup>21</sup> si è attenuata rispetto al periodo tra il 1850 e il 1900 (*confidenza media*). Non ci sono dati sufficienti per quantificare l'entità dell'indebolimento, o per attribuire adeguatamente questo indebolimento a una forzante antropogenica, a causa della limitata lunghezza del periodo di osservazione. Nonostante tale attribuzione non sia al momento possibile, le simulazioni dei modelli CMIP5 del periodo 1850–2015, mostrano, in media, un indebolimento dell'AMOC indotto dalla forzante antropogenica. {6.7}.

**A.3 Il livello medio del mare alla scala globale (GMSL) sta aumentando, con un'accelerazione negli ultimi decenni dovuto all'incremento del tasso di perdita dei ghiacci nelle calotte polari della Groenlandia e dell'Antartide (*confidenza molto alta*), in aggiunta alla continua perdita di massa dei ghiacciai e all'espansione termica oceanica. L'aumento delle precipitazioni e dei venti nei cicloni tropicali, e l'aumento di onde estreme, combinato all'aumento del livello del mare relativo, accentua gli eventi estremi di livello del mare e i pericoli costieri (*confidenza alta*). {3.3; 4.2; 6.2; 6.3; 6.8; Figure SPM.1, SPM.2, SPM.4, SPM.5}**

A.3.1  L'aumento totale del GMSL tra il 1902 e il 2015 è di 0,16 m (*intervallo probabile*: 0,12–0,21 m). Il tasso di innalzamento del GMSL tra il 2006 e il 2015, pari a 3,6 mm/anno (*intervallo molto probabile*: 3,1–4,1 mm/anno), è senza precedenti nell'ultimo secolo (*confidenza alta*), ed è circa 2,5 volte il tasso del 1901–1990, pari a 1,4 mm/anno (*intervallo molto probabile*: 0,8–2 mm/anno). La sorgente dominante dell'innalzamento del livello del mare nel periodo tra il 2006 e il 2015 è data dalla somma dei contributi delle calotte polari e dei ghiacciai (1,8 mm/anno, intervallo molto probabile: 1,7–1,9 mm/anno), superando l'effetto dell'espansione termica dell'acqua oceanica (1,4 mm/anno, intervallo molto probabile: 1,1–1,7 mm/anno)<sup>22</sup> (*confidenza molto alta*). La causa dominante dell'innalzamento del livello medio del mare alla scala globale dal 1970 è la forzante antropogenica (*confidenza alta*). {4.2.1, 4.2.2, Figura SPM.1}

A.3.2  L'innalzamento del livello del mare si è accelerato (*molto probabile*) a causa dell'incremento congiunto della perdita di ghiaccio dalle calotte polari della Groenlandia e dell'Antartide (*confidenza molto alta*). La perdita di massa dalle calotte polari dell'Antartide nel periodo 2007–2016 è triplicata rispetto al periodo 1997–2006. Per la Groenlandia, la perdita di massa è raddoppiata nello stesso periodo (*probabile, confidenza media*). {3.3.1; Figure SPM.1, SPM.2; SPM A1.1}

A.3.3  L'accelerazione del flusso e del ritiro del ghiaccio in Antartide, che potrebbero portare ad un aumento del livello del mare di svariati metri entro pochi secoli, è stata osservata nella baia del Mar di Amundsen, nell'Antartide occidentale, e nella Terra di Wilkes, nell'Antartide orientale (*confidenza molto alta*). Questi cambiamenti potrebbero costituire il principio di un'irreversibile<sup>23</sup> instabilità della calotta glaciale. L'incertezza riferita al principio di instabilità della calotta glaciale deriva da osservazioni limitate, dalla rappresentazione inadeguata dei modelli sui processi della calotta glaciale e dalla conoscenza limitata delle complesse interazioni tra atmosfera, oceano e calotta glaciale {3.3.1, *Cross-Chapter* Riquadro 8 nel Capitolo 3, 4.2.3}

<sup>21</sup> The Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) è il principale sistema di correnti nell'Oceano atlantico meridionale e settentrionale (Allegato I: Glossario).

<sup>22</sup> Il tasso totale di innalzamento del livello del mare è maggiore della somma dei contributi della criosfera e dell'oceano a causa delle incertezze nella stima dello stoccaggio delle acque terrestri.

<sup>23</sup> La scala temporale di rigenerazione è di centinaia di migliaia di anni (Allegato I: Glossario)

- A.3.4  L'innalzamento del livello del mare non è uniforme globalmente e varia regionalmente. Le differenze regionali, entro  $\pm 30\%$  della media globale dell'innalzamento del livello del mare, sono il risultato della perdita di ghiaccio terrestre e delle variazioni nel riscaldamento e nella circolazione degli oceani. Differenze dalla media globale si possono riscontrare in aree con rapidi movimenti verticali del suolo, tra cui quelli derivanti da attività antropiche locali (ad es. estrazione di acqua di falda). (*confidenza alta*) {4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 6.3.1, 6.8.2, Figura SPM.2}
- A.3.5  Valori estremi di altezza dell'onda, che contribuiscono ad eventi estremi di livello del mare, all'erosione costiera e alle inondazioni, sono aumentati nella parte meridionale e settentrionale dell'Oceano Atlantico di circa 1,0 cm/anno e 0,8 cm/anno nel periodo 1985–2018 (*confidenza media*). La perdita di ghiaccio marino nell'Artico ha anche aumentato le altezze d'onda nel periodo 1992–2014 (*confidenza media*). {4.2.2, 6.2, 6.3, 6.8, Riquadro 6.1}
- A.3.6  Dalle osservazioni risulta che il cambiamento climatico di origine antropica ha aumentato la precipitazione (*confidenza media*), i venti (*confidenza bassa*) e gli eventi estremi del livello del mare (*confidenza alta*) associati ad alcuni cicloni tropicali; tutto ciò ha incrementato l'intensità di eventi estremi multipli, con gli impatti a cascata conseguenti (*confidenza alta*). Negli ultimi decenni, il cambiamento climatico di origine antropica potrebbe aver contribuito, nella parte occidentale del Pacifico settentrionale, ad una migrazione verso i poli dei cicloni di massima intensità, in relazione all'espansione tropicale causata da forzanti antropogeniche (*confidenza bassa*). Negli ultimi decenni, si assiste ad una crescente evidenza dell'incremento dei cicloni tropicali di categoria 4 o 5 nella distribuzione annuale alla scala globale (*confidenza bassa*). {6.2, Tabella 6.2, 6.3, 6.8, Riquadro 6.1}

## Impatti Osservati sugli Ecosistemi

- A.4 Le modifiche della criosfera e le conseguenti variazioni idrologiche hanno avuto effetti sia sulle specie terrestri e di acqua dolce, sia sugli ecosistemi di alta montagna e nelle regioni polari, attraverso la comparsa di suolo che in passato era ricoperto di ghiaccio, mediante modifiche del manto nevoso e a causa della fusione del permafrost. Queste alterazioni hanno contribuito alla variazione delle attività stagionali, all'abbondanza e distribuzione di specie animali e vegetali di importanza ecologica, culturale ed economica, alle perturbazioni ecologiche e al funzionamento degli ecosistemi (*confidenza alta*). {2.3.2, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, Riquadro 3.4, Figura SPM.2}**
- A.4.1  Nel corso dell'ultimo secolo alcune specie di piante e animali sono cresciute in abbondanza, hanno spostato il proprio habitat, e si sono stabilite in nuove aree a causa dell'arretramento dei ghiacciai e del prolungamento di stagioni prive di neve (*confidenza alta*). Insieme al riscaldamento, questi cambiamenti hanno localmente indotto un incremento del numero di specie in alta montagna, a causa della migrazione verso quote superiori di specie abitualmente presenti a quote più basse (*confidenza molto alta*). Alcune specie adattate al freddo o dipendenti dalla presenza di neve sono diminuite in abbondanza, con incremento del rischio di estinzione, in particolare sulle cime montane (*confidenza alta*). Nelle regioni polari e montane, numerose specie hanno modificato le proprie attività stagionali specialmente in inverno avanzato e in primavera (*confidenza alta*). {2.3.3, Riquadro 3.4}
- A.4.2  L'aumento degli incendi e la fusione repentina del *permafrost*, così come i cambiamenti nell'Artico e nell'idrologia delle montagne hanno modificato la frequenza e l'intensità delle perturbazioni degli ecosistemi (*confidenza alta*). Questo ha portato impatti positivi e negativi alla vegetazione e alla fauna selvatica, come renne e salmoni (*confidenza alta*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.3}
- A.4.3  Le osservazioni da satellite mostrano un complessivo inverdimento della tundra, spesso indicativo di un incremento della produttività delle piante (*confidenza alta*). Alcune aree della tundra e della foresta boreale si mostrano più scure alle osservazioni satellitari, e sono indicative di una diminuzione della produttività (*confidenza alta*). Questi cambiamenti hanno avuto ripercussioni negative sull'approvvigionamento,

la regolamentazione e i servizi ecosistemici culturali, con anche alcuni impatti positivi transitori sui servizi di approvvigionamento, sia in alta montagna (confidenza media) che nelle regioni polari (*confidenza alta*). {2.3.1, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, Allegato I: Glossario}

**A.5 Dal 1950 circa, molte specie marine appartenenti a diversi gruppi hanno subito dei cambiamenti nella loro estensione geografica e nelle loro attività stagionali a causa del riscaldamento degli oceani, della variazione del ghiaccio marino e dei cambiamenti biogeochimici dei loro habitat, come la perdita di ossigeno (*confidenza alta*). Questo ha dato origine a dei cambiamenti nella composizione delle specie, nell'abbondanza e nella produttività di biomassa degli ecosistemi, dall'equatore ai poli. Queste alterazioni nei rapporti tra le diverse specie hanno provocato degli impatti a cascata sulla struttura e il funzionamento degli ecosistemi (*confidenza media*). In alcuni ecosistemi marini le specie sono state colpite sia dagli effetti della pesca che dai cambiamenti climatici (*confidenza media*). {3.2.3, 3.2.4, Riquadro 3.4, 5.2.3, 5.3, 5.4.1, Figura SPM.2}**

A.5.1  I tassi di spostamento verso i poli delle differenti specie marine, a partire dagli anni Cinquanta, sono di  $52 \pm 33$  km al decennio (intervallo *molto probabile*) per gli organismi della zona epipelagica (estesa fino a 200 m di profondità dalla superficie marina) e di  $29 \pm 16$  km al decennio (intervallo *molto probabile*) per gli ecosistemi dei fondali. Il tasso e la direzione degli spostamenti osservati sono determinati dalla temperatura locale, dall'ossigeno, dalla distribuzione delle correnti oceaniche lungo la profondità, dal gradiente di latitudine e longitudine (*confidenza alta*). L'ampiezza delle espansioni delle specie indotte dal riscaldamento hanno fortemente modificato la struttura e il funzionamento degli ecosistemi, come nel Nord Atlantico, nel Nord-Est Pacifico e nell'Artico (*confidenza media*). {5.2.3, 5.3.2, 5.3.6, Riquadro 3.4, Figura SPM.2}

A.5.2  Negli ultimi decenni, vi è stato un aumento della produzione primaria netta nelle acque artiche prive di ghiaccio (*confidenza alta*) e, in risposta al cambiamento del ghiaccio marino e della disponibilità di nutrienti, le fioriture primaverili di fitoplancton avvengono più precocemente ad inizio anno con conseguenze localmente ora positive ora negative per gli ecosistemi marini (*confidenza media*). In Antartide, tali alterazioni sono spazialmente eterogenee e legate ai rapidi cambiamenti climatici locali, fra i quali il ritiro dei ghiacciai e la variazione del ghiaccio marino (*confidenza media*). Mutamenti nelle attività stagionali, come la produzione e la distribuzione di alcune popolazioni di zooplancton artico e lo spostamento verso sud della distribuzione di popolazioni di krill antartico nell'Atlantico Meridionale, si verificano a causa di cambiamenti ambientali legati al clima (*confidenza media*). Nelle regioni polari, a causa delle alterazioni del ghiaccio marino, i mammiferi e gli uccelli marini, che dipendono dal ghiaccio, hanno subito una contrazione di habitat (*confidenza alta*) e impatti sul successo nella ricerca del cibo causati dagli impatti climatici sulla distribuzione delle prede (*confidenza media*). Gli effetti a cascata di molteplici fattori climatici sulle popolazioni di zooplancton polare hanno influenzato la struttura e la funzione della catena alimentare, la biodiversità e la pesca (*confidenza alta*). {3.2.3, 3.2.4, Riquadro 3.4, 5.2.3, Figura SPM.2}

A.5.3  Le zone di risalita delle acque profonde ai margini orientali oceanici (*Eastern Boundary Upwelling Systems*, EBUS) rappresentano le aree più produttive per gli ecosistemi marini. La crescente acidificazione degli oceani e la diminuzione di ossigeno nell'acqua hanno conseguenze negative in due dei quattro principali sistemi di risalita delle acque: la corrente Californiana e la corrente di Humboldt (*confidenza alta*). L'acidificazione degli oceani e la diminuzione del livello di ossigeno registrati nelle acque di risalita della corrente Californiana hanno alterato la struttura dell'ecosistema, con impatti negativi diretti sulla produzione di biomassa e sulla biodiversità (*confidenza media*). {Riquadro 5.3, Figura SPM.2}

A.5.4  Dal 20° secolo ad oggi, il riscaldamento degli oceani ha contribuito ad una diminuzione del massimo di pesca potenziale (*confidenza media*), aggravando ulteriormente gli impatti causati dalla pesca intensiva di alcuni stock ittici (*confidenza alta*). In molte regioni, il calo dell'abbondanza di pesci e molluschi, causato da effetti diretti e indiretti del riscaldamento globale e dei cambiamenti biogeochimici, ha già contribuito ad una riduzione

dell'attività di pesca (*confidenza alta*). In alcune aree, le mutevoli condizioni oceaniche hanno contribuito all'espansione di alcuni habitat e/o ad un incremento nell'abbondanza di alcune specie (*confidenza alta*). Tali cambiamenti sono stati accompagnati da variazioni nella composizione delle specie pescate a partire dagli anni '70 in molti ecosistemi (*confidenza media*). {3.2.3, 5.4.1, Figura SPM.2}

**A.6 Gli ecosistemi costieri risentono del riscaldamento degli oceani, incluse le intensificate ondate di calore marine, l'acidificazione, la diminuzione di ossigeno, l'aumento di salinità e l'innalzamento del livello del mare, in combinazione con gli effetti avversi dovuti alla presenza di attività umane sugli oceani e sulle terre (*confidenza alta*). Gli impatti sono già osservati sull'area di habitat e sulla biodiversità (*confidenza alta*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3, 5.4.1, 6.4.2, Figura SPM 2}**

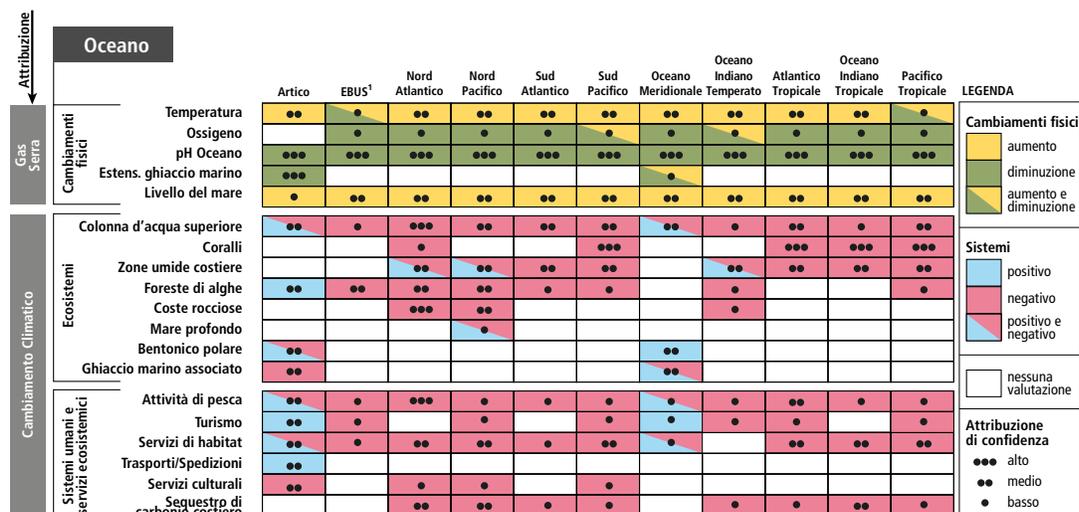
A.6.1  Gli ecosistemi costieri dotati di vegetazione proteggono la costa da tempeste e fenomeni erosivi e contribuiscono a mitigare gli impatti derivanti dall'innalzamento del livello del mare. Quasi il 50% delle zone umide costiere sono state perse negli ultimi 100 anni a causa dell'effetto combinato di pressioni antropiche localizzate, innalzamento del livello del mare, riscaldamento e eventi climatici estremi (*confidenza alta*). Gli ecosistemi costieri caratterizzati da vegetazione sono importanti riserve di carbonio; la loro diminuzione è responsabile dell'attuale rilascio di 0,04–1,46 GtC /anno (*confidenza media*). Dalla fine degli anni '70, in risposta al riscaldamento, la distribuzione della vegetazione marina tende ad espandersi ad alte latitudini e a contrarsi alle basse latitudini (*confidenza alta*), mentre in qualche regione tale vegetazione è colpita da perdite episodiche a seguito di ondate di calore (*confidenza media*). La mortalità su larga scala della mangrovia, legata al riscaldamento fin dagli anni '60, è stata parzialmente compensata dalla sua invasione in saline subtropicali a causa dell'aumento di temperatura; questo causa a sua volta la perdita di aree aperte con piante erbacee che forniscono cibo e habitat per la fauna locale (*confidenza alta*). {4.3.3, 5.3.2, 5.3.6, 5.4.1 5.5.1, Figura SPM.2}.

A.6.2  L'aumento dell'intrusione di acquamarina negli estuari, causato dall'innalzamento del livello del mare, ha spinto la redistribuzione a monte delle specie marine (*confidenza media*) e ha provocato la riduzione degli habitat che sono adatti alle comunità che vivono negli estuari (*confidenza media*). L'aumento fin dagli anni '70 del carico di nutrienti e materia organica negli estuari a causa di un intenso sviluppo umano e degli scarichi fluviali ha esasperato gli effetti stimolanti del riscaldamento degli oceani sulla respirazione batterica, portando all'espansione delle aree a basso contenuto di ossigeno (*confidenza alta*). {5.3.1}.

A.6.3  Gli impatti dell'innalzamento del livello del mare sugli ecosistemi costieri includono la riduzione degli habitat, lo spostamento geografico di specie associate e la perdita di biodiversità e funzionalità ecosistemica. Gli impatti sono amplificati da perturbazioni umane dirette e nei luoghi dove le barriere artificiali prevengono lo spostamento delle paludi e delle mangrovie verso terra (chiamato compressione costiera) (*confidenza alta*). A seconda della geomorfologia locale e della disponibilità di sedimenti, le paludi e le mangrovie possono crescere verticalmente a velocità pari o superiori all'attuale innalzamento del livello del mare (*confidenza alta*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3.2, 5.3.7, 5.4.1}

A.6.4  Le barriere coralline di acqua calda e le coste rocciose dominate da organismi immobili e calcificati (ad esempio conchiglie e scheletri) come coralli, cirripedi e cozze, sono attualmente influenzate da temperature estreme e dall'acidificazione degli oceani (*confidenza alta*). Le ondate di calore marine hanno già provocato su larga scala fenomeni di sbiancamento dei coralli con frequenza crescente (*confidenza molto alta*) causando il degrado globale della barriera corallina a partire dal 1997 il cui recupero, se si verifica, è molto lento (più di 15 anni) (*confidenza alta*). Periodi prolungati di elevata temperatura ambientale e disidratazione degli organismi comportano un rischio elevato per gli ecosistemi costieri rocciosi (*confidenza alta*). {SR1.5; 5.3.4, 5.3.5, 6.4.2, Figura SPM.2}

## Impatti regionali osservati dai cambiamenti nell'oceano e nella criosfera



<sup>1</sup> Sistemi Limite Orientali di Upwelling (Corrente del Benguela, Corrente delle Canarie, Corrente della California, e Corrente di Humboldt); (Box 5.3)

<sup>2</sup> Compreso Hindu Kush, Karakoram, Hengduan Shan e Tien Shan; <sup>3</sup> Ande tropicali, Messico, Africa orientale e Indonesia; <sup>4</sup> include Finlandia, Norvegia e Svezia; <sup>5</sup> include aree adiacenti nel territorio dello Yukon e British Columbia, Canada; <sup>6</sup> La migrazione si riferisce a un aumento o diminuzione della migrazione netta, non a valori positivi/negativi

**Figura SPM.2 | Sintesi dei pericoli osservati a scala regionale e impatti su oceani<sup>24</sup> (in alto), alta montagna e regioni polari (in basso) valutati nello SROCC. Per ogni regione sono mostrati: cambiamenti fisici, impatti su ecosistemi chiave, impatti sui sistemi umani e servizi ecosistemici. Per i cambiamenti fisici, giallo/verde indica aumento/diminuzione, rispettivamente, nelle quantità o nella frequenza della variabile misurata. Per gli impatti su ecosistemi, sistemi antropici e servizi ecosistemici, blu o rosso indicano rispettivamente se l'impatto osservato sia positivo (*benefico*) o negativo (*avverso*) sul dato sistema o servizio. Le celle con assegnato "aumento e diminuzione" indicano che all'interno di quella regione sono stati trovati cambiamenti fisici sia in aumento che in diminuzione, ma non sono necessariamente della stessa entità; lo stesso vale per le celle alle quali sono attribuiti impatti "positivi e negativi". Per le regioni oceaniche, il livello di confidenza si riferisce alla confidenza nell'attribuzione dei cambiamenti osservati ai cambiamenti nella forzante dei gas serra per i cambiamenti fisici, al cambiamento climatico per ecosistemi, sistemi antropici e servizi ecosistemici. Per le regioni di alta montagna e polari terrestri, viene mostrato il livello di confidenza dell'attribuzione dei cambiamenti fisici e degli impatti almeno parzialmente dovuti al cambiamento nella criosfera. *Nessuna valutazione* significa: non applicabile, non attribuito a scala regionale, o evidenze non sufficienti per dare una valutazione. I cambiamenti fisici negli oceani sono definiti come: cambiamento di temperatura nello strato tra 0 e 700 m dell'oceano, a eccezione dell'Oceano Meridionale (0–2000 m) e l'Oceano Artico (strato superficiale misto e affluenti principali); Ossigeno nello strato tra 0 e 1200 m o strato di ossigeno minimo; pH dell'oceano come pH superficiale (una diminuzione di pH corrisponde a un aumento nell'acidificazione degli oceani). Ecosistemi oceanici: *Coralli* si riferisce alle barriere coralline in acque calde e ai coralli d'acqua fredda. La categoria "colonna d'acqua superiore" si riferisce alla zona epipelagica per tutte le regioni oceaniche ad eccezione delle Regioni Polari, dove sono stati inclusi gli impatti su alcuni organismi pelagici in acque aperte a profondità maggiori di 200 m. Zone umide costiere includono paludi salate, mangrovie e fanerogame marine. Le *Foreste di alghe* sono habitat di un gruppo specifico di macroalghe. Le *Coste rocciose* sono habitat costieri dominati da organismi immobili calcificati come cozze e cirripedi. Il *Mare profondo* è l'ecosistema fondale profondo 3000–6000 m. Il ghiaccio marino nel suo insieme include gli ecosistemi all'interno, sopra e sotto i ghiacci marini. 'Servizi di Habitat si riferiscono alle strutture e servizi di supporto (es. habitat, biodiversità, produzione primaria). Sequestro del Carbonio Costiero si riferisce alla sottrazione e all'immagazzinamento di carbonio da parte degli ecosistemi costieri di *blue carbon ecosystem*. Ecosistemi di terra: Tundra si riferisce alla tundra e ai pascoli alpini, e include gli ecosistemi antartici terrestri. Migrazione si riferisce ad aumenti o riduzioni nelle migrazioni nette, non a valori benefici/avversi. Impatti sul turismo si riferiscono alle condizioni operative per il settore turistico. I Servizi Culturali includono identità culturale, senso di casa, e valori spirituali, intrinseci ed estetici, insieme a contributi dall'archeologia dei ghiacciai. Le informazioni alla base sono date per le regioni terrestri nelle tabelle SM2.6, SM2.7, SM2.8, SM3.8, SM3.9, e SM3.10, e per le regioni oceaniche nelle tabelle SM5.10, SM5.11, SM3.8, SM3.9, e SM3.10. {2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6, 2.3.7, Figure 2.1, 3.2.1; 3.2.3; 3.2.4; 3.3.3; 3.4.1; 3.4.3; 3.5.2; Riquadro 3.4, 4.2.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.3, 5.4, 5.6, Figura 5.24, Riquadro 5.3}**

<sup>24</sup> I mari marginali non sono stati valutati individualmente come regioni oceaniche in questo rapporto.

## Gli impatti osservati sulla popolazione e sui servizi ecosistemici

**A.7** Fin dalla metà del 20° secolo, la riduzione della criosfera nell'Artico e nelle regioni di alta montagna ha portato ad impatti prevalentemente negativi su sicurezza alimentare, risorse idriche, qualità dell'acqua, mezzi di sostentamento, salute e benessere, infrastrutture, turismo e attività ricreative nonché sulla cultura delle società umane, in particolare per le popolazioni Indigene (*confidenza alta*). Costi e benefici sono stati distribuiti in maniera non uniforme tra popolazioni e regioni. Gli sforzi di adattamento hanno beneficiato dell'inclusione della conoscenza Indigena e della conoscenza locale (*confidenza alta*). {1.1, 1.5, 1.6.2, 2.3, 2.4, 3.4, 3.5, Figure SPM.2}

**A.7.1**   La sicurezza alimentare e idrica è stata negativamente influenzata dai cambiamenti riguardanti la copertura nevosa, il ghiaccio di lago e fiume, e il permafrost di molte regioni artiche (*confidenza alta*). Questi cambiamenti hanno ostacolato l'accesso e la disponibilità di cibo all'interno di aree di allevamento, caccia, pesca e raccolta danneggiando i mezzi di sostentamento e l'identità culturale dei residenti dell'Artico comprese le popolazioni Indigene (*confidenza alta*). Il ritiro dei ghiacciai e i cambiamenti nella copertura nevosa hanno contribuito ad un calo localizzato delle produzioni agricole in alcune regioni di alta montagna tra cui Hindu Kush Himalaya e le Ande tropicali (*confidenza media*). {2.3.1, 2.3.7, Riquadro 2.4, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, 3.5.2, Figura SPM.2}

**A.7.2**   Nell'Artico, gli impatti negativi sulla salute umana dovuti al cambiamento della criosfera hanno compreso l'aumento del rischio di malattie di origine idrica-alimentare, di malnutrizione, di danno e di minacce per la salute psicologica specialmente tra le popolazioni Indigene (*confidenza alta*). In alcune aree di alta montagna, la qualità dell'acqua è stata compromessa da contaminanti, in particolar modo dal mercurio, rilasciato dalla fusione dei ghiacciai e dalla fusione del permafrost (*confidenza media*). Gli sforzi di adattamento in campo sanitario nell'Artico vanno dalla scala locale a quella internazionale, e i successi sono stati sostenuti dalla conoscenza Indigena. (*confidenza alta*) {1.8, Cross-Chapter Riquadro 4 nel Capitolo 1, 2.3.1, 3.4.3}

**A.7.3**   I residenti dell'Artico, specialmente le popolazioni Indigene, hanno modificato i tempi delle attività per rispondere ai cambiamenti di stagionalità e sicurezza delle condizioni di viaggio sul suolo, ghiaccio e neve. Le amministrazioni locali e l'industria stanno iniziando ad affrontare le carenze infrastrutturali associate alle inondazioni e allo scongelamento del permafrost e alcune comunità costiere hanno pianificato il trasferimento (*confidenza alta*). Limitati finanziamenti, competenze, capacità, sostegno istituzionale per impegnarsi in modo significativo nei processi di pianificazione, hanno complicato l'adattamento (*confidenza alta*). {3.5.2, 3.5.4, Cross-Chapter riquadro 9}

**A.7.4**    Il trasporto marittimo nell'Artico durante l'Estate (compreso il turismo) è aumentato nel corso delle due passate decadi contestualmente alla riduzione del ghiaccio marino (*confidenza alta*). Ciò ha implicazioni sul commercio internazionale e sulle economie associate ai percorsi di navigazione tradizionale, e presenta rischi per gli ecosistemi marini e le comunità costiere dell'Artico, ad esempio dovuti a specie invasive e all'inquinamento locale. {3.2.1, 3.2.4, 3.5.4, 5.4.2, Figure SPM.2}

**A.7.5**   Nei decenni passati, l'esposizione della popolazione e delle infrastrutture a rischi naturali è aumentata a causa della crescita di popolazione, turismo e sviluppo socioeconomico (*confidenza alta*). Alcuni disastri sono stati associati ai cambiamenti nella criosfera, per esempio nelle Ande, nella zona di alta montagna dell'Asia, Caucaso e Alpi europee (*confidenza alta*). {2.3.2, Fig SPM.2}

**A.7.6**   I cambiamenti riguardanti la neve e i ghiacciai hanno cambiato la quantità e la stagionalità del dilavamento e delle risorse idriche nei bacini fluviali dominati dalla neve e alimentati dai ghiacciai (*confidenza molto alta*). Gli impianti idroelettrici hanno subito cambiamenti di stagionalità e sia l'aumento che la diminuzione dell'apporto idrico proveniente da zone di alta montagna, ad esempio, in Europa centrale, Islanda, Stati Uniti

occidentali/Canada e Ande tropicali (*confidenza media*). Tuttavia, ci sono solo *evidenze limitate* di impatti sulle operazioni e sulla produzione di energia. {B1.4, 2.3.1}

A.7.7  Gli aspetti estetici e culturali dell'alta montagna sono stati influenzati negativamente dal declino dei ghiacciai e del manto nevoso (ad esempio in Himalaya, Africa orientale, Ande tropicali) (*confidenza media*). Anche il turismo e le attività ricreative, compreso il turismo sugli sci e sui ghiacciai, l'escursionismo e l'alpinismo, hanno subito un impatto negativo in molte regioni di montagna (*confidenza media*). In alcuni luoghi, l'innevamento artificiale ha ridotto gli impatti negativi sul turismo sciistico (*confidenza media*). {2.3.5, 2.3.6, Figura SPM.2}

**A.8 I cambiamenti negli oceani hanno influenzato gli ecosistemi marini e i servizi ecosistemici con risultati differenti a livello regionale, mettendo alla prova la loro governance (*confidenza alta*). Sono stati trovati impatti sia positivi che negativi per la sicurezza alimentare attraverso la pesca, le culture locali e i mezzi di sostentamento (*confidenza media*) e il turismo e le attività ricreative (*confidenza media*). Gli impatti sui servizi ecosistemici hanno conseguenze negative sulla salute e sul benessere (*confidenza media*), e per le popolazioni Indigene e comunità locali legate alle attività di pesca (*confidenza alta*). {1.1, 1.5, 3.2.1, 5.4.1, 5.4.2, Figura SPM.2}**

A.8.1  Le modifiche indotte dal riscaldamento climatico in relazione alla distribuzione spaziale e all'abbondanza di alcuni stock ittici e di molluschi hanno avuto effetti positivi e negativi sulla pesca, sui benefici economici, sui mezzi di sussistenza e sulla cultura locale (*confidenza alta*). Vi sono delle conseguenze negative per le popolazioni Indigene e le comunità locali dipendenti dalle attività di pesca (*confidenza alta*). I cambiamenti nelle distribuzioni e nell'abbondanza di specie hanno messo in discussione le governance internazionale e nazionali degli oceani e della pesca, anche nell'Artico, nell'Atlantico settentrionale e nel Pacifico, in termini di regolamentazione della pesca per garantire l'integrità dell'ecosistema e la condivisione delle risorse tra gli enti preposti alla pesca (*confidenza alta*). {3.2.4, 3.5.3, 5.4.2, 5.5.2, Figura SPM.2}

A.8.2  Le fioriture algali dannose mostrano un'espansione areale e un aumento di frequenza nelle aree costiere a partire dagli anni '80, in risposta a fattori climatici e non climatici come l'aumento del deflusso dei nutrienti fluviali (*confidenza alta*). Le tendenze osservate nella fioritura di alghe nocive sono attribuite in parte agli effetti del riscaldamento degli oceani, delle ondate di calore marine, della perdita di ossigeno, dell'eutrofizzazione e dell'inquinamento (*confidenza alta*). Le fioriture algali dannose hanno avuto ripercussioni negative sulla sicurezza alimentare, sul turismo, sull'economia locale e sulla salute umana (*confidenza alta*). Le comunità umane che sono più vulnerabili a questi pericoli biologici sono quelle esposte ad aree senza programmi sistematici di monitoraggio e sistemi di allerta specifici per le fioriture algali nocive (*confidenza media*). {Riquadro 5.4, 5.4.2, 6.4.2}

**A.9 Le comunità costiere sono esposte a molteplici pericoli legati al clima, tra cui cicloni tropicali, livelli del mare estremi e inondazioni, ondate di calore marine, perdita di ghiaccio marino e fusione del permafrost (*confidenza alta*). Una varietà di risposte è stata implementata in tutto il mondo, principalmente dopo eventi estremi, ma alcune anche in previsione del futuro innalzamento del livello del mare, ad esempio nel caso di grandi infrastrutture. {3.2.4, 3.4.3, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.4.2, 5.4.2, 6.2, 6.4.2, 6.8, Riquadro 6.1, Cross Chapter Riquadro 9, Figura SPM.5}**

A.9.1  L'attribuzione degli attuali impatti costieri sulle persone all'aumento del livello del mare rimane di difficile stima nella maggior parte delle località poiché gli effetti sono stati accentuati da fattori non climatici indotti dall'uomo, tra cui la subsidenza del terreno (ad esempio, l'estrazione di acque sotterranee), l'inquinamento, il degrado degli habitat, prelievi di sabbia dalle spiagge e roccia dalle scogliere (*confidenza alta*). {4.3.2., 4.3.3}

- A.9.2  La protezione costiera attraverso misure severe, tra cui argini, dighe e barriere di sicurezza, è diffusa in molte città costiere e delta. Gli approcci ibridi e quelli basati sugli ecosistemi che combinano ecosistemi ed infrastrutture artificiali stanno diventando sempre più popolari in tutto il mondo. L'avanzamento costiero, che si riferisce alla creazione di nuove terre precedentemente occupate dal mare (ad esempio, le bonifiche), ha una lunga storia in molte aree ad alta densità di popolazioni costiere e con carenza di terra. Si osserva anche un ritiro costiero, che si riferisce all'abbandono di insediamenti umani nelle aree costiere, ma è generalmente limitato alle piccole comunità o si verifica per la creazione di habitat nelle zone umide costiere. L'efficacia delle risposte all'innalzamento del livello del mare è valutata nella Figura SPM.5. {3.5.3, 4.3.3, 4.4.2, 6.3.3, 6.9.1, Cross Chapter Riquadro 9}

## B. Cambiamenti e rischi proiettati

### Cambiamenti fisici proiettati<sup>25</sup>

- B.1 Le proiezioni indicano che la perdita di massa dei ghiacciai a scala globale, la fusione del permafrost e il declino della copertura nevosa e dell'estensione del ghiaccio marino artico continueranno nel prossimo futuro (2031–2050) a causa dell'aumento della temperatura dell'aria in superficie (*confidenza alta*), con conseguenze inevitabili per il deflusso dei fiumi e pericoli a scala locale (*confidenza alta*). Le proiezioni indicano che le calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide perderanno massa ad un tasso crescente per tutto il 21° secolo e oltre (*confidenza alta*). Le proiezioni indicano che i tassi e le entità di questi cambiamenti della criosfera aumenteranno ulteriormente nella seconda metà del 21° secolo in uno scenario di alte emissioni di gas serra (*confidenza alta*). Le forti riduzioni delle emissioni di gas serra nei prossimi decenni proiettano riduzioni ulteriori dei cambiamenti dopo il 2050 (*confidenza alta*). {2.2, 2.3, Cross-Chapter Riquadro 6 nel Capitolo 2, 3.3, 3.4, Figura SPM.1, SPM Riquadro SPM.1}**

- B.1.1  Le riduzioni di massa dei ghiacciai proiettate tra il 2015 e il 2100 (escluse le calotte di ghiaccio) vanno dal  $18 \pm 7\%$  (intervallo *probabile*) per RCP2.6 al  $36 \pm 11\%$  (intervallo *probabile*) per RCP8.5, corrispondente a un contributo di livello del mare equivalente di  $94 \pm 25$  mm (intervallo *probabile*) per RCP2.6 e  $200 \pm 44$  mm (intervallo *probabile*) per RCP8.5 (*confidenza media*). Le proiezioni indicano che le regioni con ghiacciai prevalentemente più piccoli (ad es. Europa centrale, Caucaso, Asia del Nord, Scandinavia, Ande tropicali, Messico, Africa orientale e Indonesia), perderanno oltre l'80% della loro attuale massa di ghiaccio entro il 2100 nello scenario RCP8.5 (*confidenza media*) e si prevede che molti ghiacciai scompaiano indipendentemente dalle emissioni future (*confidenza molto alta*). {Cross-Chapter Riquadro 6 nel Capitolo 2, Figura SPM.1}

- B.1.2  Le proiezioni indicano che nel 2100, il contributo della calotta glaciale della Groenlandia all'aumento del GMSL sarà di 0,07 m (0,04–0,12 m, intervallo *probabile*) per RCP2.6 e 0,15 m (0,08–0,27 m, intervallo *probabile*) per RCP8.5. Le proiezioni indicano che nel 2100, la calotta antartica contribuirà con 0,04 m (0,01–0,11 m, intervallo *probabile*) per RCP2.6 e 0,12 m (0,03–0,28 m, intervallo *probabile*) per RCP8.5. La calotta glaciale della Groenlandia sta attualmente contribuendo maggiormente all'innalzamento del livello del mare rispetto alla calotta glaciale dell'Antartide (*confidenza alta*), ma l'Antartide potrebbe avere un contributo maggiore entro la fine del 21° secolo a seguito di un rapido ritiro (*confidenza bassa*). Oltre il 2100, la crescente divergenza tra i contributi relativi della Groenlandia e dell'Antartide all'aumento del GMSL nell'ambito dell'RCP8.5 avrà conseguenze importanti per il tasso dell'innalzamento relativo del livello del mare nell'emisfero settentrionale. {3.3.1, 4.2.3, 4.2.5, 4.3.3, Cross-Chapter Riquadro 8, Figura SPM.1}

<sup>25</sup> Questo rapporto utilizza principalmente RCP2.6 e RCP8.5 per i seguenti motivi: questi scenari rappresentano ampiamente l'intervallo valutato per gli argomenti trattati in questo rapporto; essi rappresentano ampiamente ciò che è trattato nella letteratura presa in considerazione, basata su CMIP5; essi consentono una narrazione coerente sui cambiamenti previsti. RCP4.5 e RCP6.0 non sono disponibili per tutti gli argomenti trattati nel rapporto. {Riquadro SPM.1}

- B.1.3  Le proiezioni indicano una diminuzione del 5–10% della copertura nevosa autunnale e primaverile nell'Artico a breve termine (2031–2050) rispetto al periodo 1986–2005, senza successive perdite nello scenario RCP2.6, ma con una perdita aggiuntiva del 15–25% entro la fine del secolo nello scenario RCP8.5 (*confidenza alta*). Nelle regioni di alta montagna, nelle proiezioni sono probabili diminuzioni nello spessore medio del manto nevoso a bassa quota del 10–40% nel periodo 2031–2050 rispetto al periodo 1986–2005, per qualsiasi scenario di emissione (*confidenza alta*). Per il periodo 2081–2100, questa proiettata diminuzione è probabilmente del 10–40% secondo RCP2.6 e del 50–90% per RCP8.5. {2.2.2, 3.3.2, 3.4.2, Figura SPM.1}
- B.1.4  Le proiezioni indicano un disgelo diffuso del permafrost per questo secolo (*confidenza molto alta*) e nel futuro. Le proiezioni indicano entro il 2100 una diminuzione dell'area di permafrost superficiale (entro 3–4 m) del  $24 \pm 16\%$  (intervallo *probabile*) secondo lo scenario RCP2.6 e del  $69 \pm 20\%$  (intervallo *probabile*) secondo RCP8.5. Lo scenario RCP8.5 porta ad un rilascio cumulato compreso fra le decina e le centinaia di miliardi di tonnellate (GtC) di carbonio del permafrost sotto forma di CO<sub>2</sub><sup>26</sup> e metano nell'atmosfera entro il 2100, con un potenziale inasprimento del cambiamento climatico (*confidenza media*). Scenari emissivi più bassi diminuiscono l'emissione di carbonio dalla regione del permafrost (*confidenza alta*). Il metano contribuisce in piccola parte al carbonio totale emesso ma è importante per il suo potenziale di riscaldamento. Le proiezioni indicano che un aumento nella crescita delle piante ricostituirà in parte la presenza di carbonio nel suolo, ma non pareggerà le emissioni di carbonio nel lungo periodo (*confidenza media*). {2.2.4, 3.4.2, 3.4.3, Figura SPM.1, Cross-Chapter Riquadro 5 nel Capitolo 1}
- B.1.5  In molte regioni di alta montagna, le proiezioni indicano che il ritiro dei ghiacciai e il disgelo del permafrost faranno diminuire ulteriormente la stabilità dei versanti e il numero e la superficie dei laghi glaciali continuerà ad aumentare (*confidenza alta*). Le proiezioni indicano che alluvioni dovute al deflusso improvviso di laghi glaciali oppure a fenomeni piovosi in aree coperte dal manto nevoso, frane e valanghe avvengano anche in nuove località e in stagioni diverse (*confidenza alta*). {2.3.2}
- B.1.6  Le proiezioni indicano che il deflusso nei bacini fluviali di alta montagna sovrastati da aree con copertura nevosa oppure alimentati da ghiacciai, cambierà per qualsiasi scenario emissivo (*confidenza molto alta*), con un aumento del deflusso medio invernale (*confidenza alta*) e piene primaverili anticipate (*confidenza molto alta*). Secondo tutti gli scenari emissivi, i massimi della media annuale ed estiva del deflusso glaciale sono proiettati raggiungere il picco prima della fine del secolo (*confidenza alta*), per esempio circa a metà del secolo per l'alta-montagna asiatica, seguito da una diminuzione del deflusso glaciale. In regioni con poca copertura glaciale (come Ande, Alpi Europee) la maggior parte dei ghiacciai ha già superato questo massimo (*confidenza alta*). La proiettata diminuzione del deflusso dai ghiacciai entro il 2100 (RCP8.5) può ridurre il dilavamento nei bacini del 10% o più in almeno un mese della stagione di fusione in molti grandi bacini fluviali, specialmente nelle regioni di alta montagna asiatiche, durante la stagione secca (*confidenza bassa*). {2.3.1}
- B.1.7  La perdita del ghiaccio marino Artico è proiettata continuare fino a metà secolo, con differenze da allora in poi che dipendono dall'entità del riscaldamento globale: per un riscaldamento globale stabile di 1,5°C la probabilità annuale di un settembre privo di ghiaccio marino entro la fine del secolo è di circa 1%, che cresce a 10–35% per un riscaldamento globale stabile di 2°C (*confidenza alta*). Vi è *confidenza bassa* nelle proiezioni del ghiaccio marino Antartico. {3.2.2, Figura SPM.1}

**B.2 Le proiezioni indicano che nel corso del 21° secolo, l'oceano passerà a condizioni senza precedenti con un aumento delle temperature (*praticamente certo*), una maggiore stratificazione dell'oceano superficiale (*molto probabile*), un'ulteriore acidificazione (*praticamente certa*), una diminuzione dell'ossigeno (*confidenza media*) e una produzione primaria netta alterata**

<sup>26</sup> Per contestualizzare, le emissioni totali annue di CO<sub>2</sub> erano di  $10,8 \pm 0,8$  GtC /anno ( $39,6 \pm 2,9$  GtCO<sub>2</sub> /anno) in media nel periodo 2008–2017. Le emissioni totali annue di metano erano  $0,35 \pm 0,01$  GtCH<sub>4</sub> /anno, in media nel periodo 2003–2012. {5.5.1}

(*confidenza bassa*). Nelle proiezioni le ondate di calore marine (*confidenza molto alta*) e gli eventi estremi di El Niño e La Niña (*confidenza media*) diventeranno più frequenti. La *Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)* è proiettata indebolirsi (*molto probabile*). I tassi e le grandezze di questi cambiamenti saranno minori negli scenari con basse emissioni di gas serra (*molto probabile*). {3.2; 5.2; 6.4; 6.5; 6.7; Riquadro 5.1; Figure SPM.1, SPM.3}

- B.2.1  L'oceano continuerà a riscaldarsi durante il 21° secolo (*virtualmente certo*). Entro il 2100, secondo le proiezioni, i 2000 m più superficiali dell'oceano assorbiranno 5–7 volte più calore nel RCP8.5 (o 2–4 volte nel RCP2.6) rispetto all'assorbimento accumulato osservato dal 1970 (*molto probabile*). Secondo le proiezioni la stratificazione di densità media annuale<sup>19</sup> dei 200 m più superficiali, media calcolata tra 60°S e 60°N, aumenterà del 12–30% nel RCP8.5 e 1–9% nel RCP2.6, nel periodo 2081–2100 rispetto al 1986–2005 (*molto probabile*), inibendo il flusso verticale di nutrienti, carbonio e ossigeno. {5.2.2, Figura SPM.1}
- B.2.2  Secondo le proiezioni entro il 2081–2100 nel RCP8.5, diminuiranno globalmente il contenuto di ossigeno dell'oceano (*confidenza media*), il contenuto superficiale di nitrati (*confidenza media*), la produzione primaria netta (*confidenza bassa*) e l'assorbimento di carbonio (*confidenza media*), rispettivamente del 3–4%, 9–14%, 4–11% e 9–16%, rispetto al 2006–2015. Nel RCP2.6, secondo le proiezioni, i cambiamenti globali entro il 2081–2100 sono minori rispetto al RCP8.5 per quanto riguarda la perdita di ossigeno (*molto probabile*), la disponibilità di nutrienti (*più o meno probabile*) e la produzione primaria netta (*confidenza alta*). {5.2.2; Riquadro 5.1; Figure SPM.1, SPM.3}
- B.2.3  L'assorbimento continuo di carbonio da parte dell'oceano entro il 2100 aggraverà l'acidificazione dell'oceano (*virtualmente certo*). Secondo le proiezioni, il pH delle superfici oceaniche libere diminuirà di circa 0,3 unità di pH entro il 2081–2100, rispetto al 2006–2015, nel RCP8.5 (*virtualmente certo*). Nello scenario RCP8.5, vi sono rischi elevati per specie chiave che hanno gusci di aragonite, dovuti al superamento di una soglia di stabilità dell'aragonite durante tutto l'anno negli oceani Polare e sub-Polare, entro il 2081–2100 (*molto probabile*). Nello scenario RCP2.6, queste condizioni saranno evitate in questo secolo (*molto probabile*), ma secondo le proiezioni, alcuni sistemi di risalita delle acque profonde ai margini orientali oceanici rimarranno vulnerabili (*confidenza alta*). {3.2.3, 5.2.2, Riquadro 5.1, Riquadro 5.3, Figura SPM.1}
- B.2.4  Dal periodo preindustriale negli oceani si stanno sviluppando condizioni climatiche senza precedenti che aumentano i rischi per gli ecosistemi degli oceani aperti. Acidificazione e riscaldamento superficiale sono già avvenuti nel periodo storico (*molto probabile*). Le proiezioni ottenute con lo scenario RCP8.5 suggeriscono che, entro il 2031–2050, una perdita di ossigeno tra 100 e 600 m di profondità si verificherà in oltre il 59–80% dell'area oceanica (*molto probabile*). Le proiezioni dei tempi di emergenza per cinque dei principali fattori del cambiamento dell'ecosistema marino (riscaldamento e acidificazione superficiale, perdita di ossigeno, contenuto di nitrati e variazione della produzione primaria netta) indicano periodi precedenti al 2100 per oltre il 60% dell'area oceanica con RCP8.5 e per oltre il 30% con RCP2.6 (*molto probabile*). {Allegato I: Glossario, Riquadro 5.1, Figura 1}
- B.2.5  Le proiezioni indicano che le ondate di calore marine aumenteranno in frequenza, durata, estensione spaziale e intensità (temperatura massima) (*confidenza molto alta*). Le proiezioni basate su modelli climatici suggeriscono che entro il 2081–2100 le ondate di calore marine subiranno, rispetto al 1850–1900, un aumento di frequenza di circa 50 volte secondo RCP8.5 e di 20 volte secondo RCP2.6 (*confidenza media*). Il maggiore aumento in frequenza secondo le proiezioni avverrà per l'oceano Artico e per l'oceano tropicale (*confidenza media*). Le proiezioni indicano che nello scenario RCP8.5 entro il 2081–2100 l'intensità delle ondate di calore marine aumenterà di circa 10 volte rispetto al 1850–1900 (*confidenza media*). {6.4, Figura SPM.1}

B.2.6  Le proiezioni indicano per gli eventi El Niño e La Niña estremi un *probabile* aumento di frequenza nell'arco del 21° secolo e una *probabile* intensificazione dei pericoli esistenti con risposte più umide o più secche in diverse regioni del mondo. Secondo le proiezioni, rispetto al 20° secolo, nel 21° secolo gli eventi di El Niño estremi si verificheranno circa il doppio delle volte sia nello scenario RCP2.6 che in quello RCP8.5 (*confidenza media*). Le proiezioni suggeriscono che anche gli eventi di Dipolo nell'Oceano Indiano estremi aumenteranno di frequenza (*confidenza bassa*). {6.5; Figure 6.5, 6.6}

B.2.7  Secondo le proiezioni l'AMOC si indebolirà nel corso del 21° secolo in tutti gli RCP (molto probabile) ma un collasso è *molto improbabile* (*confidenza media*). Secondo le proiezioni del CMIP5 il collasso dell'AMOC entro il 2300 è *più o meno probabile* in scenari caratterizzati da alte emissioni e molto improbabile negli scenari caratterizzati da minori emissioni (*confidenza media*). Le proiezioni indicano che qualsiasi sostanziale indebolimento dell'AMOC provocherà una diminuzione della produttività marina nel Nord Atlantico (*confidenza media*), un maggior numero di tempeste nel Nord Europa (*confidenza media*), meno precipitazioni estive nel Sahel (*confidenza alta*) e piogge estive nell'Asia Meridionale (*confidenza media*), una riduzione nel numero di cicloni tropicali nell'Atlantico (*confidenza media*) e un aumento del livello del mare a scala regionale lungo la costa nord-orientale del Nord America (*confidenza media*). Tali cambiamenti si andrebbero a sommare al segnale del riscaldamento globale. {6.7; Figure 6.8–6.10}

**B.3 Il livello del mare continua a salire a un ritmo crescente. Eventi estremi di innalzamento del livello del mare che sono storicamente rari (una volta per secolo nel recente passato), nelle proiezioni si verificano frequentemente (almeno una volta all'anno) in molte località entro il 2050 in tutti gli scenari RCP, specialmente nelle regioni tropicali (*confidenza alta*). La crescente frequenza di alti livelli del mare può avere gravi impatti in molte località a seconda dell'esposizione (*confidenza alta*). L'innalzamento del livello del mare continuerà oltre il 2100 in tutti gli scenari RCP. Per uno scenario ad alte emissioni (RCP8.5), le proiezioni dell'innalzamento del livello del mare globale entro il 2100 sono maggiori rispetto a AR5 a causa di un contributo maggiore dalla calotta glaciale antartica (*confidenza media*). Le proiezioni nei prossimi secoli secondo RCP8.5, indicano che l'innalzamento del livello del mare supererà tassi di diversi centimetri all'anno con conseguente aumento di molti metri (*confidenza media*), mentre per RCP2.6 l'innalzamento del livello del mare dovrebbe essere limitato a circa 1 m nel 2300 (*confidenza bassa*). Nelle proiezioni, i livelli del mare estremi e i rischi costieri saranno esacerbati dall'aumento dell'intensità dei cicloni tropicali e delle precipitazioni ad essi associate (*confidenza alta*). Le proiezioni dei cambiamenti nelle onde e nelle maree variano localmente amplificando o attenuando questi rischi (*confidenza media*). {Cross-Chapter Riquadro 5 tra capitoli nel Capitolo 1; Cross-Chapter Riquadro 8 del Capitolo 3; 4.1; 4.2; 5.2.2, 6.3.1; Figure SPM.1, SPM.4, SPM.5}**

B.3.1  Nello scenario RCP2.6 le proiezioni suggeriscono che l'innalzamento del livello medio globale del mare (GMSL) rispetto al 1986–2005 sarà di 0,39 m (0,26–0,53 m, intervallo *probabile*) per il periodo 2081–2100, e di 0,43 m (0,29–0,59 m, intervallo *probabile*) nel 2100. Nello scenario RCP8.5, l'innalzamento del GMSL corrispondente sarà 0,71 m (0,51–0,92, intervallo *probabile*) per 2081–2100 e 0,84 m (0,61–1,10 m, intervallo *probabile*) nel 2100. Le proiezioni dell'innalzamento del livello medio del mare sono più alte di 0,1 m rispetto all'AR5 secondo lo scenario RCP8.5 nel 2100, e l'intervallo probabile si estende oltre 1 m nel 2100 a causa delle maggiori proiezioni di perdita della calotta glaciale antartica (*confidenza media*). L'incertezza alla fine del secolo è determinata principalmente dalle calotte glaciali, specialmente in Antartide. {4.2.3; Figura SPM.1, SPM.5}

B.3.2  Le proiezioni del livello del mare mostrano differenze a carattere regionale rispetto al GMSL. Processi non provocati dal recente cambiamento climatico, come subsidenze locali causate da processi naturali ed attività umane, sono importanti per i cambiamenti relativi del livello del mare sulla costa (*confidenza alta*). Mentre

secondo le proiezioni l'importanza relativa dell'innalzamento del livello del mare provocato dal clima crescerà nel tempo, i processi locali devono essere considerati per le proiezioni e gli impatti del livello del mare (confidenza alta). {SPMA3.4, 4.2.1, 4.2.2, Figura SPM.5}

- B.3.3  La velocità dell'innalzamento del livello medio globale del mare secondo le proiezioni raggiungerà 15 mm /anno (10–20 mm /anno, intervallo *probabile*) nello scenario RCP8.5 nel 2100, e supererà parecchi centimetri l'anno nel 22° secolo. Secondo lo scenario RCP2.6, le proiezioni evidenziano come la velocità raggiungerà 4 mm /anno (2–6 mm /anno, intervallo *probabile*) nel 2100. Studi modellistici indicano innalzamenti di più metri del livello del mare per il 2300 (2,3–5,4 m per RCP8.5 e 0,6–1,07 m secondo RCP 2.6) (*confidenza bassa*), indicando l'importanza di ridurre le emissioni per il limitare l'innalzamento del livello del mare. I processi che controllano la tempistica della perdita futura della piattaforma di ghiaccio marino e il grado di instabilità della calotta glaciale, potrebbero aumentare il contributo dell'Antartide all'innalzamento del livello del mare fino a valori significativamente più alti dell'intervallo probabile a scale di tempo secolari e più lunghe (*confidenza bassa*). Considerando le conseguenze dell'innalzamento del livello del mare che un collasso di parti della calotta glaciale dell'Antartide comporterebbero, questo rischio ad impatto elevato merita attenzione. {*Cross-Chapter* Riquadro 5 nel Capitolo 1, *Cross-Chapter* Riquadro 8 nel Capitolo 3, 4.1, 4.2.3}
- B.3.4  L'aumento del livello marino globale medio causerà l'aumento della frequenza degli eventi estremi di livello marino, nella maggior parte dei luoghi. Nelle proiezioni i livelli marini locali che storicamente si verificano una volta al secolo (eventi storicamente centenari) si verificano almeno annualmente nella maggior parte delle località entro il 2100 in tutti gli scenari RCP (*confidenza alta*). Nelle proiezioni molte megalopoli a livello del mare e piccole isole (incluse le SIDS) sperimentano eventi storicamente centenari almeno annualmente entro il 2050 secondo gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. L'anno nel quale l'evento storicamente centenario diventa evento annuale nelle medie latitudini si verifica prima nello scenario RCP8.5, poi nel RCP4.5 ed infine nel RCP2.6. L'incremento della frequenza di elevati livelli d'acqua può avere gravi impatti in molte località in base al loro livello di esposizione (*confidenza alta*). {4.2.3; 6.3; Figura SPM.4, SPM.5}
- B.3.5  Nelle proiezioni le altezze significative d'onda (l'altezza media dal punto più basso alla cresta del terzo superiore delle onde) aumentano nell'Oceano Antartico e nella zona tropicale dell'Oceano Pacifico (*confidenza alta*), nel Mar Baltico (*confidenza media*) e diminuiscono nel Nord Atlantico e nel Mar Mediterraneo nel RCP8.5 (*confidenza alta*). Nelle proiezioni l'estensione e l'andamento delle maree costiere variano a causa dell'innalzamento del livello marino e delle misure costiere di adattamento (*molto probabile*). Nelle proiezioni, variazioni nell'innalzamento delle onde derivanti da cambiamenti nella circolazione meteorologica, e variazioni nelle maree dovute all'innalzamento del livello del mare, possono localmente aumentare o attenuare il pericolo costiero (*confidenza media*). {6.3.1, 5.2.2}
- B.3.6  Nelle proiezioni l'intensità media dei cicloni tropicali, la proporzione dei cicloni tropicali di Categoria 4 e 5 e l'associato tasso di precipitazione media aumenteranno per un innalzamento di 2°C della temperatura globale al di sopra di ogni periodo di riferimento (*confidenza media*). L'aumento del livello medio del mare contribuirà ad alzare i livelli marini estremi associati ai cicloni tropicali (*confidenza molto alta*). Il pericolo costiero verrà esacerbato dall'aumento dell'intensità media, dall'ampiezza delle onde di tempesta e dal tasso di precipitazione dei cicloni tropicali. Ci sono proiezioni di incrementi maggiori nello scenario RCP8.5 che nel RCP2.6 da circa metà secolo al 2100 (*confidenza media*). C'è *bassa confidenza* nelle variazioni delle frequenze future dei cicloni tropicali a scala globale. {6.3.1}

## Proiezioni dei rischi per gli ecosistemi

**B.4 Le future modifiche della criosfera terrestre continueranno ad alterare gli ecosistemi terrestri e di acqua dolce nelle regioni di alta montagna e polari con importanti modifiche nella distribuzione delle specie che determinano modifiche nella struttura e nel funzionamento dell'ecosistema e l'eventuale perdita di biodiversità unica al mondo (*confidenza media*). Si prevede che gli incendi boschivi aumenteranno in modo significativo per il resto di questo secolo nella maggior parte della tundra e delle regioni boreali, e anche in alcune regioni di montagna (*confidenza media*). {2.3.3, Box 3.4, 3.4.3}**

B.4.1  Nelle regioni di alta montagna, ulteriori migrazioni verso quote più alte di specie di bassa quota, contrazione dell'areale e aumento di mortalità, porteranno a un declino della popolazione in molte specie alpine, particolarmente di specie dipendenti dai ghiacciai o dalla neve (*confidenza alta*), con perdita di specie locali ed eventualmente globali (*confidenza media*). La persistenza di specie alpine e il sostentamento dei servizi ecosistemici dipende da misure di conservazione e adattamento appropriate (*confidenza alta*). {2.3.3}

B.4.2  Le proiezioni indicano che le terre Artiche perderanno una parte della loro biodiversità, unica al mondo, poiché alcune specie dell'Alto Artico vivono in *refugia* limitati, e sono quindi superati nella competizione con specie provenienti da climi più temperati (*confidenza media*). È proiettato che arbusti legnosi e alberi si espanderanno fino a coprire il 24–52% della tundra Artica entro il 2050 (*confidenza media*). Nelle proiezioni l'estensione della foresta boreale aumenterà sul suo margine settentrionale, mentre diminuirà su quello meridionale dove sarà sostituita da boschi/macchie arbustive aventi una minore biomassa (*confidenza media*). {3.4.3, Riquadro 3.4}

B.4.3  Il disgelo del permafrost e la diminuzione della neve influenzeranno l'Artico, l'idrologia montana e gli incendi boschivi, con impatti su vegetazione e fauna selvatica (*confidenza media*). Circa il 20% del permafrost terrestre Artico è a rischio di repentino disgelo e subsidenza del suolo, il che, si proietta, incrementerà la superficie occupata da piccoli laghi di oltre il 50% entro il 2100 secondo RCP8.5 (*confidenza media*). Sebbene le proiezioni indicano che complessivamente nella regione il ciclo dell'acqua sarà più intenso, includendo incrementi nelle precipitazioni, nell'evapotraspirazione, e nel deflusso fluviale verso l'Oceano Artico, la diminuzione di neve e permafrost potrà condurre all'inaridimento del terreno con conseguenze sulla produttività degli ecosistemi e perturbazioni (*confidenza media*). Gli incendi boschivi nelle proiezioni aumenteranno durante il resto di questo secolo su gran parte della tundra e delle regioni boreali, e anche in alcune regioni montane, mentre l'interazione tra la vegetazione autoctona e quelle nuove in movimento influenzerà la futura frequenza e l'intensità degli incendi (*confidenza media*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, SPM B1}

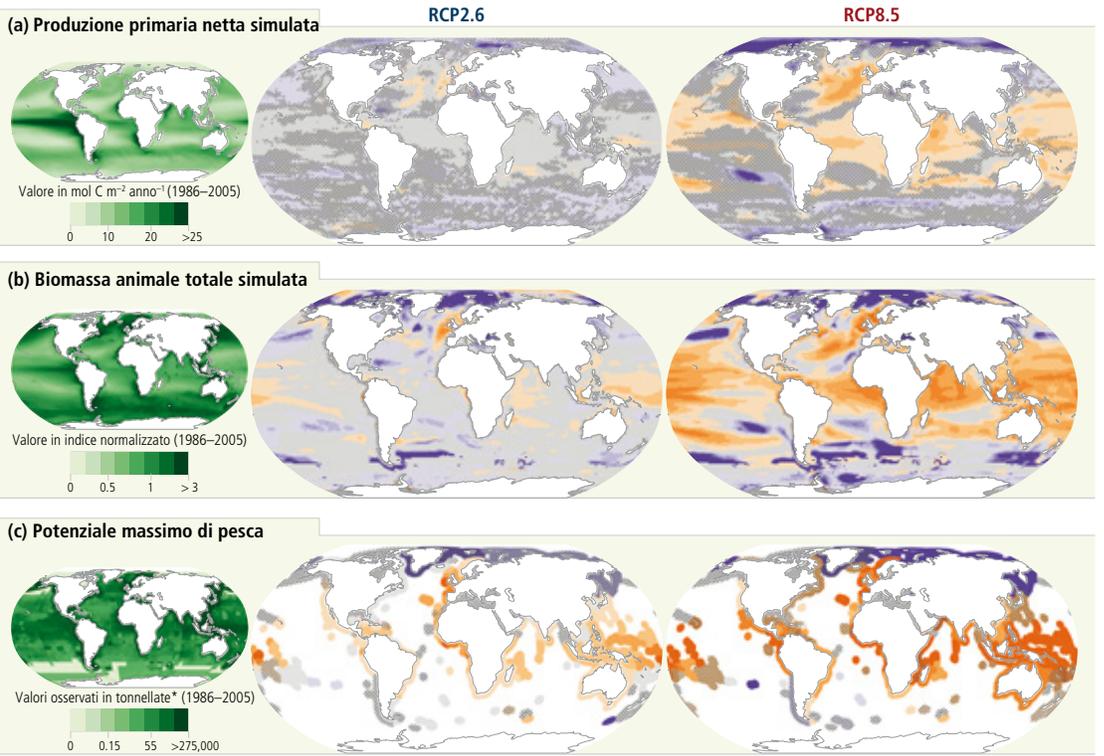
**B.5 Durante il 21° secolo, per tutti gli scenari di emissione, le proiezioni indicano una diminuzione della biomassa globale delle comunità di animali marini, della loro produzione e del potenziale di pesca e un cambiamento nella composizione delle specie negli ecosistemi oceanici dalla superficie al fondo marino (*confidenza media*). Il tasso e l'entità del declino sono proiettati essere più alti ai tropici (*confidenza alta*), mentre gli impatti rimangono variegati nelle regioni polari (*confidenza media*) e aumentano per scenari ad alte emissioni. L'acidificazione degli oceani (*confidenza media*), la perdita di ossigeno (*confidenza media*) e la ridotta estensione del ghiaccio marino (*confidenza media*) così come le attività umane non direttamente impattanti sul clima (*confidenza media*) hanno il potenziale di esacerbare questi impatti sull'ecosistema indotti dal riscaldamento. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.4.1, Figura SPM.3}**

B.5.1  Il riscaldamento oceanico proiettato, così come i cambiamenti nella produzione primaria netta, alterano la biomassa, la produzione e la struttura delle comunità degli ecosistemi marini. Le proiezioni indicano che, su scala globale, la biomassa animale marina della rete trofica diminuirà del  $15,0 \pm 5,9\%$  (intervallo *molto probabile*)

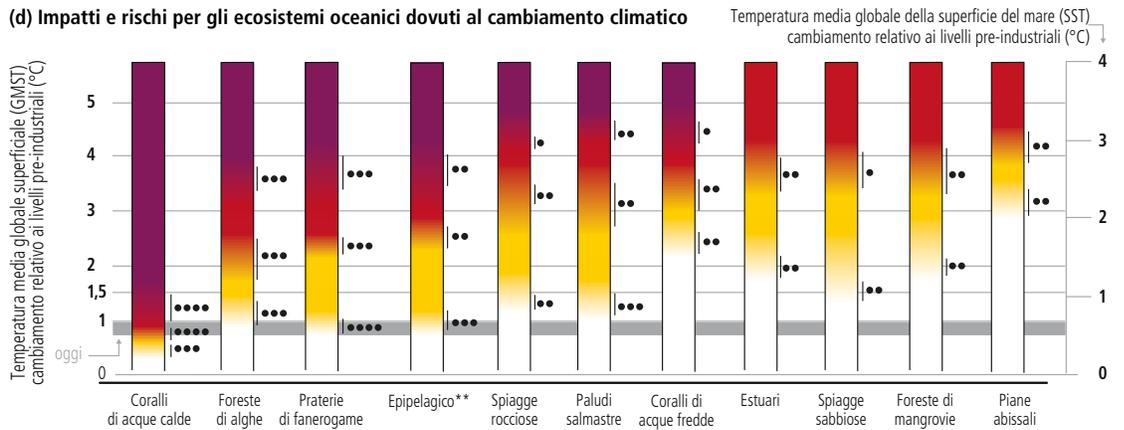
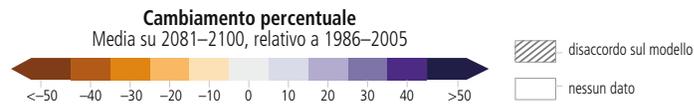
e il massimo pescato potenziale del 20,5–24,1% entro la fine del 21° secolo, rispetto al periodo 1986–2005 secondo RCP8.5 (*confidenza media*). Questi cambiamenti sono proiettati essere molto probabilmente tre o quattro volte più rilevanti secondo RCP8.5 rispetto a RCP2.6. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.4.1, Figura SPM.3}

- B.5.2  Nelle fasce tropicali è proiettato un decremento del 7–16% (intervallo *molto probabile*) della produzione primaria netta oceanica, secondo l’RCP8.5 entro il 2081–2100 (*confidenza media*), in conseguenza della riduzione della disponibilità di nutrienti causata da una stratificazione sempre più marcata. Per quel che riguarda le regioni tropicali, è proiettata una riduzione di produzione e di biomassa animale marina oltre la media globale in tutti gli scenari di emissioni nel ventunesimo secolo (*confidenza alta*). Le proiezioni indicano che il riscaldamento e le variazioni delle caratteristiche dei ghiacci polari incrementeranno la produzione primaria netta marina in Artico (*confidenza media*) e Antartide (*bassa confidenza*), poiché avverranno cambiamenti nei fenomeni di risalita e stratificazione dei nutrienti. Globalmente, il flusso di materia organica dalla superficie oceanica verso le profondità è proiettato diminuire conseguentemente ai cambiamenti nella produzione primaria netta (*confidenza alta*). Come risultato di ciò, secondo l’RCP8.5 più del 95% dei fondali profondi (3000–6000 m) e degli ecosistemi corallini di acqua fredda, sono proiettati sperimentare un declino della biomassa bentonica (*confidenza media*) {3.2.3, 5.2.2, 5.2.4, Figura SPM.1}
- B.5.3  A causa del riscaldamento e dell’acidificazione degli oceani, della riduzione dell’estensione dei ghiacciai stagionali e della continua perdita di quelli pluriennali, si proietta un impatto sugli ecosistemi marini polari attraverso effetti diretti e indiretti sugli habitat, sulle popolazioni e sulla loro vitalità (*confidenza media*). Le proiezioni indicano che le specie marine Artiche, inclusi mammiferi, uccelli e pesci, vedranno contrarsi l’area geografica caratteristica del proprio habitat, mentre quella di alcune comunità di pesci subartici è destinata ad espandersi (*confidenza media*), aumentando ulteriormente la pressione sulle specie dell’Alto Artico (*confidenza media*). Nell’Oceano Meridionale, l’habitat del krill antartico, preda fondamentale per pinguini, foche e balene, è proiettato subire una contrazione verso sud secondo l’RCP2.6 e l’RCP8.5 (*confidenza media*). {3.2.2, 3.2.3, 5.2.3}
- B.5.4  Le proiezioni indicano che negli oceani, perdita di ossigeno, riscaldamento, acidificazione e riduzione del flusso di carbonio organico dalla superficie alle profondità oceaniche comporteranno conseguenze pericolose per gli ecosistemi corallini di acqua fredda, le quali supportano grande biodiversità, ovvero, una ridotta calcificazione, bioerosione ed un incremento nella dissoluzione degli scheletri (*confidenza media*). Vulnerabilità e rischi sono più elevati quando e dove le condizioni sia di temperatura che di ossigeno raggiungono valori al di fuori degli intervalli di tolleranza delle specie (*confidenza media*). {Riquadro 5.2, Figura SPM.3}

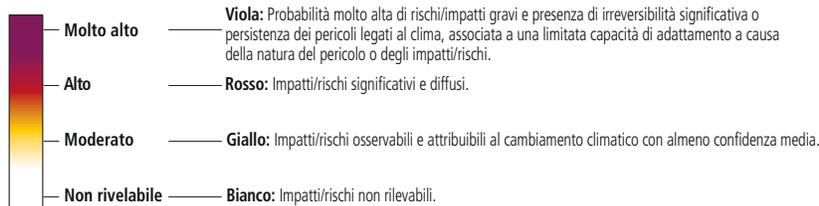
# Cambiamenti, impatti e rischi proiettati per gli ecosistemi oceanici come conseguenza del cambiamento climatico



\* Vedere la didascalia della figura per i dettagli



**Livello di impatti/rischi aggiunti**



**Livello di confidenza per la transizione**



\*\*vedere la didascalia della figura per la definizione

**Figura SPM.3** | Proiezioni dei cambiamenti, impatti e rischi per le regioni oceaniche e gli ecosistemi: **(a)** produzione primaria netta integrata sulla profondità (NPP dalle CMIP5<sup>27</sup>), **(b)** biomassa animale totale (integrata sulla profondità, inclusi pesci ed invertebrati dalla FISHMIP<sup>28</sup>), **(c)** massimo di pesca potenziale e **(d)** impatti e rischi per gli ecosistemi costieri e dell'oceano aperto. I tre pannelli a sinistra rappresentano i valori simulati (a,b) e osservati (c) valori medi per il passato recente (1986–2005), il pannello centrale e quello a destra rappresentano le proiezioni dei cambiamenti (%) entro il 2081–2100 relativi al passato recente secondo lo scenario rispettivamente di basse (RCP2.6) ed alte (RCP8.5) emissioni di gas serra [Riquadro SPM.1]. La biomassa animale totale nel passato recente (b, pannello a sinistra) rappresenta la proiezione della biomassa animale totale per ogni pixel spaziale relativo alla media globale. (c) \*Media del pescato osservato nel passato recente (basata su dati provenienti dal *Sea Around Us global fisheries database*); le proiezioni dei cambiamenti nel massimo di pesca potenziale nelle piattaforme marine sono basate sui valori medi dei risultati di due modelli di pesca ed ecosistemi marini. Per indicare le aree di inconsistenza del modello, le aree ombreggiate rappresentano le regioni in cui i modelli sono in disaccordo sull'andamento del cambiamento per più di: (a) e (b) 3 su 10 proiezioni del modello, e (c) uno su due modelli. Sebbene non ombreggiate, le proiezioni dei cambiamenti nelle regioni Artica e Antartica (b) nella biomassa totale animale e (c) nel potenziale di cattura della pesca presentano una *bassa confidenza* dovuta a delle incertezze associate ai drivers interattivi multipli della modellizzazione e alle risposte degli ecosistemi. Le proiezioni rappresentate in (b) e (c) sono determinate dai cambiamenti nelle condizioni fisiche e biogeochimiche degli oceani es., temperatura, livello di ossigeno, e produzione primaria netta proiettati dai modelli del Sistema Terra CMIP5 Earth System. \*\*La zona epipelagica si riferisce alla parte superiore dell'oceano con una profondità <200 m dalla superficie dove vi è abbastanza luce del sole da permettere la fotosintesi. (d) Valutazione dei rischi per gli ecosistemi costieri e dell'oceano aperto basata sugli impatti climatici osservati e proiettati su struttura, funzionamento e biodiversità degli ecosistemi. Gli impatti e i rischi sono mostrati in relazione ai cambiamenti nella temperatura superficiale media globale (Global Mean Surface Temperature, GMST) relativi ai livelli pre-industriali. Dato che la valutazione dei rischi e degli impatti sono basati sulla temperatura superficiale media globale del mare (Sea Surface Temperature SST), i corrispondenti livelli di SST sono mostrati<sup>29</sup>. La valutazione delle transizioni del rischio è descritta nel Capitolo 5 Sezioni 5.2, 5.3, 5.2.5 e 5.3.7 e nei Materiali Supplementari SM5.3, Tabella SM5.6, Tabella SM5.8 ed altre parti del rapporto a seguire. La figura indica i rischi valutati relativi a livelli approssimati di riscaldamento e pericoli in aumento nell'oceano legati al clima: riscaldamento dell'oceano, acidificazione, deossigenazione, aumento della stratificazione legata alla densità, cambiamenti nei flussi di carbonio, innalzamento del livello del mare, e aumento della frequenza e/o intensità degli eventi estremi. La valutazione considera la naturale capacità di adattamento degli ecosistemi, la loro esposizione e vulnerabilità. I livelli di impatto e rischio non considerano le strategie di riduzione del rischio come l'intervento umano, o i cambiamenti futuri nei driver non climatici. I rischi per gli ecosistemi sono stati valutati considerando gli aspetti biologici, biogeochimici, geomorfologici e fisici. I rischi più alti associati agli effetti combinati dei pericoli climatici includono la perdita di habitat e biodiversità, cambiamenti nella composizione delle specie e degli intervalli di distribuzione, e impatti/rischi sulla struttura e sul funzionamento degli ecosistemi, inclusi i cambiamenti in densità e biomassa animale/vegetale, produttività, flussi di carbonio e trasporto dei sedimenti. Come parte della valutazione, la bibliografia è stata considerata e i dati riassunti in una tabella. È stato utilizzato un processo iterativo di raccolta di pareri esperti per una valutazione indipendente del giudizio di soglia, e una discussione di consenso finale. Maggiori informazioni sui metodi e la letteratura di riferimento possono essere trovati nel Capitolo 5, Sezioni 5.2 e 5.3 e nel Materiale Supplementare. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, Figura 5.16, Riquadro 1 nel Capitolo 1 Tabella CCB1}

**B.6 I rischi di seri impatti sulla biodiversità, struttura e funzione degli ecosistemi costieri sono proiettati in modo da essere più alti per temperature elevate, secondo gli scenari ad alte emissioni comparati con quelli a basse del 21° secolo e oltre. Le risposte dell'ecosistema proiettate includono perdite di specie, perdita di diversità e la degradazione delle funzioni dell'ecosistema. La capacità di organismi ed ecosistemi di regolarsi e adattarsi è più alta negli scenari a basse emissioni (*confidenza alta*). Per ecosistemi sensibili come le praterie di poseidonia e le foreste di alghe, sono proiettati alti rischi se il riscaldamento globale supera di 2°C la temperatura preindustriale, combinati con altri pericoli legati al clima (*confidenza alta*). I coralli d'acqua calda sono già in grave pericolo ed è proiettata una transizione verso un rischio molto alto anche se il riscaldamento globale si limiterà a 1,5°C (*confidenza molto alta*). {4.3.3, 5.3, 5.5, Figura SPM.3.}**

**B.6.1**  Nelle proiezioni tutti gli ecosistemi costieri esaminati affronteranno un aumento del livello di rischio, da moderato ad alto secondo l'RCP2.6 e da alto a rischio molto alto secondo l'RCP8.5 entro il 2100. Nelle proiezioni gli ecosistemi di coste rocciose intertidali sono a rischio molto alto entro il 2100 in uno scenario RCP8.5 (*confidenza media*) a causa dell'esposizione al riscaldamento, specialmente durante le ondate di calore marine, così come all'acidificazione, all'innalzamento del livello del mare, alla perdita di specie calcificanti e di biodiversità (*confidenza alta*). L'acidificazione dell'oceano mette alla prova questi ecosistemi e limita ulteriormente la disponibilità dei loro habitat (*confidenza media*) inibendone la ricostituzione per via di una ridotta calcificazione e un'augmentata bioerosione. Le proiezioni indicano che il declino delle foreste di alghe continuerà a causa del riscaldamento, in

<sup>27</sup> La NPP è stimata dal Coupled Models Intercomparison Project 5 (CMIP5).

<sup>28</sup> La biomassa totale animale viene dal Fisheries and Marine Ecosystem Models Intercomparison Project (FISHMIP).

<sup>29</sup> La conversione tra GMST e SST si basa su un fattore di scala di 1,44 derivato dai cambiamenti in un insieme di simulazioni RCP8.5; questo fattore di scala ha un'incertezza di circa il 4% a causa delle differenze tra gli scenari RCP2.6 e RCP8.5. {Tabella SPM.1}

particolar modo secondo lo scenario di intensificazione delle ondate di calore marine, con un alto rischio di estinzioni locali secondo l'RCP8.5 (*confidenza media*). {5.3, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 6.4.2, Figura SPM.3}

- B.6.2  Le praterie di poseidonia, le paludi salmastre e gli associati depositi di carbonio sono esposte a un rischio moderato per un riscaldamento globale di 1,5°C e ad un rischio in crescita per un ulteriore riscaldamento (*confidenza media*). A livello globale, le proiezioni indicano che tra il 20% e il 90% delle zone umide costiere andrà perso entro il 2100, a seconda delle proiezioni dell'innalzamento del livello del mare, le differenze regionali e i tipi di zona umida, specialmente dove la crescita verticale è già vincolata da un apporto ridotto di sedimenti e la migrazione verso terra è limitata dalla topografia scoscesa o dalla modificazione umana dei litorali (*confidenza alta*). {4.3.3, 5.3.2, Figura SPM.3, SPM A6.1}
- B.6.3  Nelle proiezioni, il riscaldamento degli oceani, l'innalzamento del livello del mare e i cambiamenti delle maree estenderanno la salinizzazione e l'ipossia negli estuari (*confidenza media*) con alti rischi per alcuni biota portandoli alla migrazione, a ridotta sopravvivenza ed a estinzione locale secondo scenari ad alta emissione (*confidenza media*). Questi impatti, nelle proiezioni, sono più pronunciati negli estuari più vulnerabili dal punto di vista eutrofico e poco profondi con bassa escursione di marea in regioni temperate e ad alte latitudini (*confidenza media*). {5.2.2, 5.3.1, Figura SPM.3}
- B.6.4  Secondo le proiezioni, quasi tutte le barriere coralline di acqua calda soffriranno perdite areali significative ed estinzioni locali, anche se il riscaldamento globale sarà limitato a 1,5 °C (*confidenza alta*). Le proiezioni indicano che la composizione delle specie e la diversità delle comunità della barriera rimanente saranno differenti dalle barriere odierne (*confidenza molto alta*). {5.3.4, 5.4.1, Figura SPM.3}

## Rischi proiettati per le Persone e per i Servizi Ecosistemici

**B.7 Si proietta che i futuri cambiamenti della criosfera sulla terra influenzeranno le risorse idriche e il loro utilizzo, come l'energia idroelettrica (*confidenza alta*) e l'agricoltura irrigua all'interno e a valle delle aree di alta montagna (*confidenza media*), così come i mezzi di sostentamento nell'Artico (*confidenza media*). Si proietta che i cambiamenti nelle inondazioni, valanghe, smottamenti e destabilizzazione del suolo aumenteranno il rischio per le infrastrutture, le risorse culturali, turistiche e ricreative (*confidenza media*). {2.3, 2.3.1, 3.4.3}**

B.7.1  Ci si aspetta che aumentino i rischi di calamità per gli insediamenti umani e per le opportunità di sostentamento nelle aree di alta montagna e nell'Artico (*confidenza media*), a causa dei futuri cambiamenti di rischio come inondazioni, incendi, frane, valanghe, condizioni inaffidabili di neve e ghiaccio, e una maggiore esposizione delle persone e delle infrastrutture (*confidenza alta*). Gli attuali approcci ingegnerizzati di riduzione del rischio sono proiettati essere meno efficaci in quanto le calamità cambieranno di carattere (*confidenza media*). Le strategie di riduzione del rischio e di adattamento aiutano ad evitare i crescenti impatti di alluvioni montane e rischio di frane, essendoci una crescente esposizione e vulnerabilità in molte regioni di montagna, in questo secolo (*confidenza alta*). {2.3.2, 3.4.3, 3.5.2}

B.7.2  Si proietta che il cedimento della superficie terrestre provocato dal disgelo del permafrost avrà impatti su infrastrutture di trasporto e comunicazione urbane e rurali nell'Artico e nelle aree di alta montagna (*confidenza media*). La maggior parte delle infrastrutture dell'Artico è ubicata in regioni dove il disgelo del permafrost è proiettato aumentare entro metà del secolo. L'ammodernamento e la riprogettazione delle infrastrutture hanno il potenziale di dimezzare i costi derivanti dal disgelo del permafrost e dai relativi cambiamenti climatici entro il 2100. (*confidenza media*). {2.3.4, 3.4.1, 3.4.3}

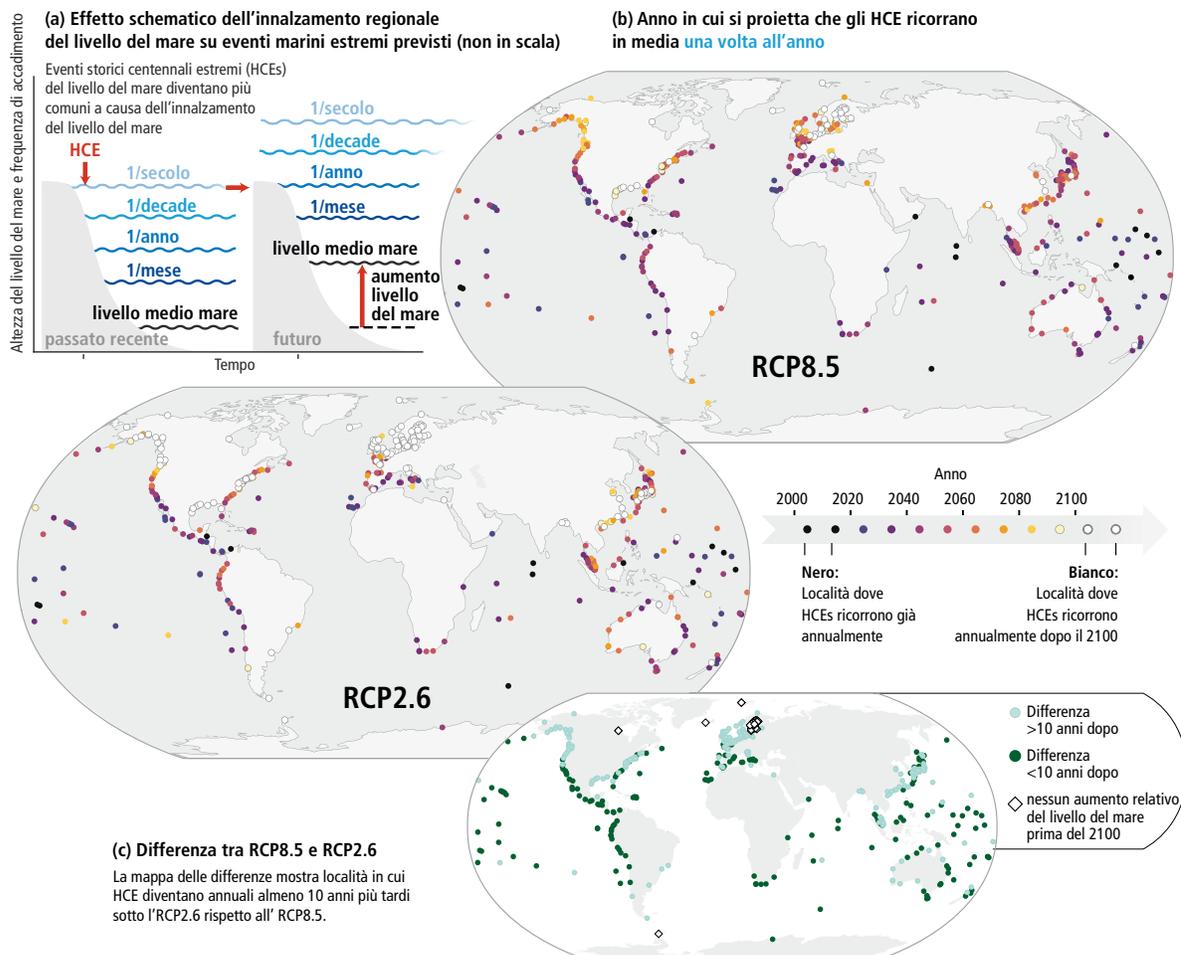
- B.7.3**  Nelle proiezioni, le attività turistiche, ricreative e culturali di alta montagna risentiranno negativamente dei futuri cambiamenti della criosfera (*confidenza alta*). Nelle proiezioni le attuali tecnologie di innevamento artificiale saranno meno efficaci nel ridurre i rischi per il turismo sciistico in un clima più caldo in molte parti d'Europa, del Nord America e del Giappone, in particolare a 2°C e oltre (*confidenza alta*). {2.3.5, 2.3.6}
- B.8** **Nelle proiezioni i futuri cambiamenti nella distribuzione del pesce e la diminuzione della loro abbondanza e del potenziale di cattura della pesca a causa dei cambiamenti climatici influenzeranno il reddito, i mezzi di sussistenza e la sicurezza alimentare delle comunità dipendenti dalle risorse marine (*confidenza media*). La perdita e il degrado a lungo termine degli ecosistemi marini comprometteranno il ruolo dell'oceano nei valori culturali, ricreativi e intrinseci importanti per l'identità e il benessere umano (*confidenza media*). {3.2.4, 3.4.3, 5.4.1, 5.4.2, 6.4}**
- B.8.1**  Nelle proiezioni gli spostamenti geografici e le diminuzioni della biomassa marina animale mondiale e del potenziale pescato sono più pronunciati in RCP8.5 rispetto a RCP2.6 aumentando quindi il rischio di reddito e sostentamento delle comunità dipendenti, soprattutto nelle aree economicamente vulnerabili (*confidenza media*). Si proietta che la ridistribuzione delle risorse e la loro abbondanza aumenteranno il rischio di conflitti tra le attività di pesca, le autorità o le comunità (*confidenza media*). Le sfide nella gestione della pesca sono diffuse nello scenario RCP8.5, soprattutto nelle zone dell'Artico e nella parte tropicale dell'Oceano Pacifico (*confidenza media*). {3.5.2, 5.4.1, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 6.4.2, Figura SPM.3}
- B.8.2**  Secondo le proiezioni, il declino della barriera corallina di acque calde comprometterà molto i servizi che svolgono per la società, come la fornitura di cibo (*confidenza alta*), la protezione delle coste (*confidenza alta*) e il turismo (*confidenza media*). Secondo le proiezioni, l'aumento del rischio per la sicurezza del cibo di origine marina (*confidenza media*) associato con una diminuzione di disponibilità delle risorse ittiche, aumenterà il rischio per la salute nutrizionale in alcune comunità altamente dipendenti da cibo proveniente dal mare (*confidenza media*), come quelle nell'Artico, nell'Africa occidentale e nelle Piccole Isole Stato in via di Sviluppo. Tali impatti aggravano i rischi derivanti da altri cambiamenti nelle diete e nei sistemi alimentari causati da cambiamenti sociali ed economici e dai cambiamenti climatici sulla terra (*confidenza media*). {3.4.3, 5.4.2, 6.4.2}
- B.8.3**  Il riscaldamento globale compromette la sicurezza delle risorse ittiche (*confidenza media*) attraverso l'esposizione umana a un elevato bioaccumulo di inquinanti organici persistenti e mercurio nelle piante e animali marini (*confidenza media*), la crescente prevalenza di *Vibrio* patogeni trasmessi via acqua (*confidenza media*) e maggiore probabilità di fioriture algali dannose (*confidenza media*). Nelle proiezioni, questi rischi sono particolarmente elevati per le comunità umane ad alto consumo di cibo proveniente dal mare, comprese le comunità Indigene costiere (*confidenza media*) e per settori economici come la pesca, l'acquacoltura e il turismo (*confidenza alta*). {3.4.3, 5.4.2, Riquadro 5.3}
- B.8.4**  Gli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi marini e sui loro servizi mettono a rischio le dimensioni culturali delle vite e dei mezzi di sussistenza (*confidenza media*), anche attraverso cambiamenti nella distribuzione o nell'abbondanza delle specie raccolte e un accesso ridotto alle zone di pesca o di caccia. Ciò include una perdita potenzialmente rapida e irreversibile di cultura e conoscenza locale e conoscenza Indigena e impatti negativi sulle diete tradizionali e sulla sicurezza alimentare, sugli aspetti estetici e sulle attività ricreative marine (*confidenza media*). {3.4.3, 3.5.3, 5.4.2}
- B.9** **Nelle proiezioni, l'aumento del livello medio ed estremo del mare, insieme al riscaldamento degli oceani e all'acidificazione, aggraverà i rischi per le comunità umane nelle zone costiere più basse (*confidenza alta*). Nelle comunità umane antiche senza un rapido sollevamento del suolo**

e nelle isole degli atolli urbani, si proietta che i rischi siano da moderati a elevati anche in uno scenario a basse emissioni (RCP2.6) (*confidenza media*), compreso il raggiungimento dei limiti di adattamento (*confidenza alta*). In uno scenario ad alte emissioni (RCP8.5), si proietta che le regioni di delta e le città costiere ricche di risorse sperimenteranno livelli di rischio da moderati ad elevati dopo il 2050 in base all'attuale adattamento (*confidenza media*). Ci si aspetta che un adattamento ambizioso, compresa la governance trasformativa, riduca il rischio (*confidenza alta*), ma con vantaggi specifici al contesto. {4.3.3, 4.3.4, 6.9.2, Cross-Chapter, SM4.3, Figura SPM.5}

- B.9.1  Nelle proiezioni, in assenza di sforzi di adattamento più ambiziosi rispetto ad oggi e alle attuali tendenze di aumento dell'esposizione e della vulnerabilità delle comunità costiere, rischi, quali erosione e perdita di terra, inondazioni, salinizzazione e gli impatti a cascata dovuti all'innalzamento del livello del mare ed eventi estremi, aumenteranno significativamente nel corso di questo secolo in tutti gli scenari di emissioni di gas a effetto serra (*confidenza molto alta*). Considerando le stesse ipotesi, si proietta che i danni delle alluvioni costiere annuali aumenteranno di 2–3 ordini di grandezza entro il 2100 rispetto a oggi (*confidenza alta*). {4.3.3; 4.3.4; Riquadro 6.1; 6.8; SM4.3; Figura SPM.4, SPM.5}
- B.9.2  In caso di scenari con alte emissioni, le comunità vulnerabili degli ambienti della barriera corallina, le isole con atolli abitati e le località dell'Artico che si trovano poco al di sopra del livello del mare saranno a rischio, elevato o anche molto elevato, prima della fine di questo secolo. Questo comporta che vengano raggiunti i limiti di adattamento, che sono le soglie dove gli obiettivi di un attore (o che il sistema necessita) non possono essere protetti, da pericoli insostenibili, attraverso azioni di adattamento (*confidenza alta*). Il raggiungimento dei limiti di adattamento (ad esempio biofisici, geografici, finanziari, tecnici, sociali, politici ed istituzionali) dipende dallo scenario di emissioni e dalla tolleranza al rischio specifica del contesto e si proietta che esso si allarghi a più aree dopo il 2100, a causa dell'andamento a lungo termine dell'innalzamento del livello del mare (*confidenza media*). Alcune nazioni insulari diventeranno *probabilmente* inabitabili a causa dei cambiamenti in relazione al mare e alla criosfera (*confidenza media*), tuttavia le soglie di abitabilità rimangono estremamente difficili da valutare. {4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, Cross-Chapter Riquadro 9, SM4.3, SPM C1, Glossario, Figura SPM.5}
- B.9.3  A livello globale, un cambiamento più lento relativo al clima e alla criosfera fornirà migliori opportunità di adattamento (*confidenza alta*). Mentre esiste una *confidenza alta* su strategie di adattamento ambiziose, includendo una governance per cambiamenti trasformativi, che abbiano il potenziale di ridurre i pericoli in molti luoghi, tali benefici potranno variare a seconda del luogo. A scala globale, la protezione delle coste potrà ridurre il rischio di allagamenti di 2–3 ordini di grandezza durante il 21° secolo, ma dipenderà dall'entità, da decine a svariate centinaia di miliardi di dollari, degli investimenti annuali (*confidenza alta*). Mentre questi investimenti sono generalmente efficienti dal punto di vista dei costi per aree urbane densamente popolate, aree più povere e rurali saranno messe a dura prova per permettersi tali investimenti, con costi annui relativi, per alcuni piccoli stati insulari, che ammontano a diversi punti percentuali del proprio PIL (*confidenza alta*). Nelle proiezioni, anche con sforzi di adattamento maggiori, si verificano eventi pericolosi e perdite associate (*confidenza media*), tuttavia rimangono difficili da valutare i limiti all'adattamento in specifiche situazioni e i rischi residui. {4.1.3, 4.2.2.4, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.4., 4.4.3, 6.9.1, 6.9.2, Cross-Chapter Riquadri 1–2 del Capitolo 1, SM4.3, Figura SPM.5}

## Eventi estremi del livello del mare

A causa delle proiezioni dell'innalzamento del livello marino medio (GMSL), i livelli locali del mare che si raggiungevano storicamente una volta al secolo (eventi storici centennali HCE) sono proiettati diventare eventi almeno annuali nella maggior parte dei luoghi per il 21° secolo. L'altezza raggiunta da un HCE ha un'alta variabilità, e a seconda del livello di esposizione può già avere gravi impatti. Gli impatti continueranno ad aumentare con la crescita delle frequenze di accadimento degli HCE.



**Figura SPM.4** | Effetti dell'innalzamento regionale del livello del mare su eventi marini estremi nelle località costiere. **(a)** Illustrazione schematica degli eventi estremi relativi al livello del mare e relativa ricorrenza media nel recente passato (1986–2005) e nel futuro. Come conseguenza dell'innalzamento medio del livello del mare, si proietta che i livelli locali che il mare storicamente raggiungeva una volta al secolo (eventi storici centennali, HCE) si presenteranno più frequentemente in futuro. **(b)** Anno in cui si prevede che gli HCE, nelle 439 località costiere dove i dati di osservazione sono sufficienti, secondo gli scenari RCP8.5 e RCP2.6, accadano, in media, una volta all'anno. L'assenza in alcune aree del simbolo indica l'impossibilità di realizzare una valutazione a causa di una mancanza di dati, non indica tuttavia l'assenza di esposizione e rischio. Là dove il cerchio è più scuro, il cambiamento sarà atteso prima. L'intervallo per le località dove questi cambiamenti sono attesi prima del 2100 è *probabilmente* di  $\pm 10$  anni. I cerchi bianchi (33% delle località per lo scenario RCP2.6 e 10% per RCP8.5) indicano che gli HCE non ci si aspetta che avvengano con frequenza annuale prima del 2100. **(c)** Indicazione delle località in cui il cambiamento degli HCE, da eventi centennali ad eventi annuali, è previsto che accada 10 anni più tardi considerando lo scenario RCP2.6 rispetto a RCP8.5. Poiché gli scenari mostrano piccole differenze per molti luoghi al 2050, i risultati non sono mostrati qui per lo scenario RCP4.5 ma sono disponibili al Capitolo 4. {4.2.3, Figura 4.10, Figura 4.12}

## C. Implementazione delle risposte al cambiamento dell'oceano e della criosfera

### Sfide

**C.1** **Gli impatti dei cambiamenti climatici collegati all'oceano e alla criosfera mettono sempre più alla prova gli sforzi degli attuali governi per implementare e attuare risposte di adattamento alla scala locale a quella globale, in alcuni casi, spingendoli fino ai loro limiti. Le popolazioni con la più alta esposizione e vulnerabilità sono spesso quelle con la minor capacità di risposta (*confidenza alta*). {1.5, 1.7, Cross-Chapter Riquadri 2–3, Capitoli 1, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4, 3.2.4, 3.4.3, 3.5.2, 3.5.3, 4.1, 4.3.3, 4.4.3, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}**

**C.1.1**  Le scale temporali degli impatti del cambiamento climatico nell'oceano e nella criosfera e le loro conseguenze sociali operano su orizzonti temporali più lunghi rispetto agli accordi di governo (ad esempio i cicli di pianificazione, i cicli decisionali pubblici e aziendali e gli strumenti finanziari). Tali differenze temporali mettono in discussione la capacità della società di prepararsi e rispondere adeguatamente ai cambiamenti a lungo termine, compresi i cambiamenti di frequenza e d'intensità per gli eventi estremi (*confidenza alta*). Gli esempi includono il cambiamento di frane e alluvioni nelle regioni di alta montagna e rischi per importanti specie ed ecosistemi nell'Artico, nonché per nazioni e isole con basse elevazioni sul livello del mare, piccole isole, altre regioni costiere e per la barriera corallina. {2.3.2, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.3, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}

**C.1.2**  Gli accordi di *governance* (ad esempio aree marine protette, piani territoriali e sistemi di gestione delle risorse idriche) sono, in molti contesti, troppo frammentati attraverso i confini e i settori amministrativi per fornire risposte integrate ai rischi crescenti e in cascata, dovuti ai cambiamenti climatici nell'oceano e/o nella criosfera (*confidenza alta*). La capacità dei sistemi di *governance* nelle regioni polari e oceaniche di rispondere agli impatti dei cambiamenti climatici si è recentemente rafforzata, ma questo sviluppo non è sufficientemente rapido o solido per affrontare adeguatamente la scala dei crescenti rischi previsti (*confidenza alta*). In alta montagna, regioni costiere e piccole isole, ci sono anche difficoltà nel coordinare le risposte di adattamento climatico, a causa delle molte interazioni dei fattori di rischio climatici e non climatici (come inaccessibilità, tendenze demografiche e insediative o subsidenza del suolo causate da attività locali) su scale, settori e domini delle politiche (*confidenza alta*). {2.3.1, 3.5.3, 4.4.3, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, Riquadro 5.6, 6.9, Cross-Chapter Riquadro 3 nel Capitolo 1}

**C.1.3**  Esistono numerosi ostacoli e limiti identificati per l'adattamento ai cambiamenti climatici negli ecosistemi (*confidenza alta*). Le limitazioni includono lo spazio richiesto dagli ecosistemi, i fattori non climatici e gli impatti umani che devono essere affrontati come parte della risposta di adattamento, la riduzione della capacità adattiva degli ecosistemi a causa dei cambiamenti climatici e i tassi di recupero degli ecosistemi più lenti rispetto alla ricorrenza di impatti climatici, disponibilità di tecnologia, conoscenza e sostegno finanziario e accordi governativi esistenti (*confidenza media*). {3.5.4, 5.5.2}

**C.1.4**  Esistono ostacoli finanziari, tecnologici, istituzionali (e di altro tipo) all'attuazione di risposte agli impatti negativi, attuali e previsti, relativi a cambiamenti climatici su oceani e criosfera, che impediscono la costruzione della resilienza e le misure di riduzione dei rischi (*confidenza alta*). Se questi ostacoli riducano l'efficacia di adattamento o corrispondano a limiti di adattamento dipende dalle circostanze del contesto specifico, dalla velocità e dalla scala dei cambiamenti climatici e dall'abilità delle società di evolvere la loro capacità di adattamento in efficaci misure di adattamento. La capacità di adattamento continua a differire tra e nelle comunità e società (*confidenza alta*). Le popolazioni con la maggiore esposizione e vulnerabilità ai pericoli attuali e futuri derivanti dai cambiamenti nell'oceano e nella criosfera sono spesso quelle con la più bassa capacità di adattamento, in particolare nelle isole a bassa quota e sulle coste, nelle regioni artiche e montane con difficoltà di sviluppo (*confidenza alta*).

{2.3.1, 2.3.2, 2.3.7, Box 2.4, 3.5.2, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, 6.9, Cross-Chapter Riquadri 2 e 3 nel Capitolo 1, Cross-Chapter Riquadro 9}

## Rafforzamento delle opzioni di risposta

**C.2 I servizi e le opzioni di ampia portata forniti da ecosistemi relativi a oceano e criosfera possono essere supportati da una gestione preventiva dell'utilizzo di fonti rinnovabili, basata sulla protezione, il recupero degli ecosistemi e dalla riduzione dell'inquinamento e di altri fattori di stress (*confidenza alta*). La gestione integrata dell'acqua (*confidenza media*) e le strategie di adattamento basate sugli ecosistemi (*confidenza alta*) abbassano i rischi climatici localmente e forniscono molti benefici alla società. Tuttavia, esistono vincoli ecologici, finanziari, istituzionali e governativi per queste misure (*confidenza alta*), e in molti contesti l'adattamento basato sugli ecosistemi sarà efficace solamente sotto i più bassi livelli di riscaldamento (*confidenza alta*). {2.3.1, 2.3.3, 3.2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.2, 5.2.2, 5.4.2, 5.5.1, 5.5.2, Figura SPM.5}**

**C.2.1**  Le reti di aree protette aiutano a mantenere i servizi ecosistemici, compresi l'assorbimento e lo stoccaggio di carbonio, e consentono nuove opzioni di adattamento basate sugli ecosistemi, facilitando i movimenti altitudinali e verso i poli, di specie, popolazioni ed ecosistemi, che si verificano in risposta al riscaldamento e all'innalzamento del livello del mare (*confidenza media*). Le barriere geografiche, la degradazione degli ecosistemi, la frammentazione degli habitat e gli ostacoli alla cooperazione regionale limitano il potenziale di queste reti di favorire futuri spostamenti delle specie in regioni marine, montane, polari (*confidenza alta*). {2.3.3, 3.2.3, 3.3.2, 3.5.4, 5.5.2, Riquadro 3.4}

**C.2.2**  Il ripristino degli habitat terrestri e marini, e gli strumenti di gestione degli ecosistemi, come la ricollocazione assistita delle specie e la coltivazione dei coralli, possono essere efficaci a livello locale nel rafforzare l'adattamento basato sugli ecosistemi (*confidenza alta*). Simili interventi sono più efficaci quando sono supportati dalla comunità, basati sulla scienza e al contempo quando utilizzano la conoscenza locale e Indigena, quando hanno supporto a lungo termine, che include la riduzione o la rimozione di fattori di stress non climatici, e sotto i più bassi livelli di riscaldamento (*confidenza alta*). Per esempio, il ripristino della barriera corallina potrebbe essere inefficace se il riscaldamento globale eccede 1,5 °C, perché i coralli sono già esposti ad alto rischio (*confidenza molto alta*) ai livelli attuali di riscaldamento. {2.3.3, 4.4.2, 5.3.7, 5.5.1, 5.5.2, Box 5.5, Figura SPM.3}

**C.2.3**  Il rafforzamento di approcci cautelativi, come il ripopolamento ittico delle aree di pesca sovra sfruttate o esaurite, l'uso di strategie di gestione di quelle rimanenti, riduce su di esse gli effetti negativi del cambiamento climatico (*confidenza media*). Una gestione delle aree di pesca che valuta ed aggiorna regolarmente nel tempo le misure adottate, in riferimento ai cambiamenti futuri dell'ecosistema, riduce i rischi associati ad esse (*confidenza media*), ma ha una limitata capacità di affrontare il cambiamento dell'ecosistema. {3.2.4, 3.5.2, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, Figura SPM.5}

**C.2.4**  Il recupero degli ecosistemi vegetali costieri, esempio mangrovie, paludi e distese di alghe (il "carbonio blu" costiero), potrebbe condurre ad una mitigazione del cambiamento climatico attraverso l'incremento della cattura di carbonio pari allo 0,5% delle emissioni globali annue (*confidenza media*). Incrementando la protezione e la gestione dei suddetti ecosistemi, si riduce inoltre il carbonio emesso. Prese nell'insieme, queste azioni hanno molteplici effetti, come ad esempio la protezione dalle tempeste, l'aumento della qualità dell'acqua, e danno benefici alle aree di pesca e biodiversità (*confidenza alta*). Migliorando inoltre la quantificazione del carbonio stoccato e i flussi di gas serra emessi dagli ecosistemi costieri, si ridurranno le incertezze sulle misure, verifiche e i rapporti (*confidenza alta*). {Riquadro 4.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, Annesso I: Glossario}

C.2.5  L'energia rinnovabile di origine oceanica, che comprende l'estrazione di energia da turbine eoliche offshore, maree, onde, gradiente termico, salino e il biocombustibile di origine algale, può mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Ci si aspetta che l'aumento emergente di fonti energetiche alternative possa creare nuove opportunità economiche per il settore dell'energia rinnovabile oceanica (*confidenza alta*), anche se gli effetti del cambiamento climatico possono influire negativamente sul potenziale (*confidenza bassa*). {5.4.2, 5.5.1, Figura 5.23}

C.2.6  Gli approcci di gestione integrata dell'acqua attraverso diverse scale possono essere efficaci nell'affrontare gli impatti e sfruttare le opportunità dei cambiamenti della criosfera nelle aree di alta montagna. Questi approcci inoltre supportano una gestione della risorsa idrica attraverso lo sviluppo, l'ottimizzazione degli stoccaggi e rilasci di acqua multi uso dalle riserve (*confidenza media*), prendendo in considerazione potenziali impatti negativi sugli ecosistemi e sulle comunità. La diversificazione delle attività turistiche durante tutto l'anno sostiene l'adattamento nelle economie di alta montagna (*confidenza media*). {2.3.1, 2.3.5}

**C.3 Le comunità costiere affrontano scelte impegnative nell'elaborare risposte integrate e specifiche al contesto all'innalzamento del livello del mare che bilancino i costi, benefici e compromessi delle opzioni disponibili per combattere l'aumento del livello marino e che possano essere adattate nel tempo (*confidenza alta*). Tutte le tipologie di opzioni che includono la protezione, le abitazioni, l'adattamento basato sugli ecosistemi, l'avanzamento e il ritiro della costa, dove possibile, possono giocare un ruolo importante nelle scelte integrate (*confidenza alta*). {4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 6.9.1, Cross-Chapter Riquadro 9; Figura SPM.5}**

C.3.1.  Più si innalza il livello del mare, più è impegnativa la protezione delle coste, principalmente a causa di ostacoli economici, finanziari e sociali, piuttosto che a causa di limiti tecnici (*confidenza alta*). Nei prossimi decenni, ridurre i fattori locali di esposizione e vulnerabilità come l'urbanizzazione costiera e la subsidenza indotta dalle attività antropiche costituisce un'efficace risposta (*confidenza alta*). Dove lo spazio è limitato e il valore del patrimonio a rischio è elevato (ad esempio nelle città), le barriere fisiche (ad esempio argini) possono essere una risposta economicamente vantaggiosa per il ventunesimo secolo, tenendo in considerazione la particolarità del contesto (*confidenza alta*), ma le aree con risorse limitate potrebbero non essere in grado di affrontare tali investimenti. Dove lo spazio è disponibile, gli adattamenti basati sugli ecosistemi esistenti potranno ridurre il rischio relativo alle coste e comporteranno molteplici ulteriori benefici come lo stoccaggio di carbonio, il miglioramento della qualità delle acque, la conservazione della biodiversità e costituiranno un supporto di sostentamento. {4.3.2, 4.4.2, Box 4.1, Cross-Chapter Riquadro 9, Figure SPM.5}

C.3.2  Alcune misure di adeguamento costiero, come sistemi di allarme rapido ed edifici a prova di inondazione, sono spesso sia economici che efficienti rispetto l'attuale livello del mare (*confidenza alta*). In base alle proiezioni dell'innalzamento del livello marino e agli aumentati pericoli relativi alle coste alcuni di questi accorgimenti diventano meno efficaci se non integrati con altri provvedimenti (*confidenza alta*). Tutte le opzioni inclusa la protezione, la sistemazione, l'adattamento basato sugli ecosistemi, l'avanzamento delle coste e la dislocazione programmata, se sono disponibili località alternative, possono giocare un ruolo importante in tali risposte integrate (*confidenza alta*). Laddove la comunità interessata è di piccole dimensioni, o in conseguenza di una calamità, ridurre il rischio attraverso la dislocazione programmata è da tenere in considerazione se sono disponibili località alternative sicure. Tale dislocazione pianificata può essere socialmente, culturalmente, finanziariamente e politicamente problematica (*confidenza molto alta*). {4.4.2, Box 4.1, Cross-Chapter Riquadro 9, SPM B3}

C.3.3  Le risposte all'innalzamento del livello del mare e l'abbattimento dei rischi a esso collegati comportano per la società grandi sfide a livello di governance, derivanti dall'incertezza sull'entità e il tasso di innalzamento del livello del mare, difficili compromessi fra obiettivi sociali (ad esempio sicurezza, conservazione, sviluppo economico, equità intra ed intergenerazionale), risorse limitate e interessi e principi contrastanti tra le

(c) Risposte agli aumenti medi ed estremi del livello del mare

La tabella illustre le risposte e le loro caratteristiche. Non è esaustiva. Se una risposta è applicabile dipende dalla geografia e dal contesto

Livelli di confidenza (determinati per l'efficacia): ●●●● = Molto alto ●●● = Alto ●● = Medio ● = Basso

Risposte	Potenziale efficacia in termini di riduzione dei rischi dell'innalzamento del livello del mare (limiti tecnico/biofisici)	Vantaggi (oltre la riduzione dei rischi)	Co-benefici	Effetti indesiderati	Efficienza economica	Sfide di governance	
<b>Protezione rigide</b>	Fino a molti metri di innalzamento del livello del mare (4.4.2.2.4) ●●●	Livelli prevedibili di sicurezza (4.4.2.2.4)	Dighe multifunzionali, ad esempio per attività ricreative o altri tipi di utilizzo del suolo (4.4.2.2.5)	Distruzione di habitat a causa della riduzione costiera, inondazioni e erosioni delle rive, chiusura totale, conseguenze disastrose in caso di fallimento dell'opera di difesa (4.3.2.4, 4.4.2.2.5)	Alta, se il valore dei beni sotto protezione è alto, come riscontrato in molte aree costiere urbane o con alta densità di popolazione (4.4.2.2.7)	Spesso insostenibile nelle aree più povere. Conflitti tra obiettivi (ad esempio conservazione, sicurezza e turismo), conflitti riguardo la distribuzione delle risorse pubbliche, mancanza di finanziamenti. (4.3.3.2, 4.4.2.2.6)	
<b>Protezione basata sui sedimenti</b>	Efficace, ma dipende dalla disponibilità di sedimenti (4.4.2.2.4) ●●●	Alta flessibilità (4.4.2.2.4)	Preservazione delle spiagge per scopi ricreativi o turismo. (4.4.2.2.5)	Distruzione degli habitat dove sono recuperati i sedimenti (4.4.2.2.5)	Alta se le i guadagni derivanti dal turismo sono alti (4.4.2.2.7)	Conflitti riguardanti la distribuzione delle risorse pubbliche (4.4.2.2.6)	
<b>Adattamento basato sull'ecosistema</b>	<b>Conservazione dei coralli</b>	Opportunità di coinvolgimento della comunità (4.4.2.3.1).	Miglioramenti degli habitat, biodiversità, cattura del carbonio, guadagni dal turismo, aumento produttività della pesca, miglioramento qualità dell'acqua. Fornitura di cibo, medicina, combustibile, legno e benefici culturali. (4.4.2.3.5)	L'efficacia a lungo termine dipende dal riscaldamento dell'oceano, dall'acidificazione e dagli scenari di emissione (4.3.3.5.2, 4.4.2.3.2)	Evidenza limitata del rapporto costi-benefici. Dipende dalla densità di popolazione e dalla disponibilità di terreno (4.4.2.3.7)	I permessi per l'implementazione sono difficili da ottenere. Mancanza di fondi. Mancanza di rafforzamento di politiche di conservazione. Opzioni di adattamenti basati sull'ecosistema destituite a causa di interessi economici a breve termine e disponibilità del terreno. (4.4.2.3.6)	
	<b>Ripristino dei coralli</b>						
	<b>Conservazione delle zone umide</b> (paludi, mangrovie)						
	<b>Ripristino delle zone umide</b> (paludi, mangrovie)						
<b>Avanzamento della costa</b>	Fino a molti metri di innalzamento del livello del mare (4.4.2.2.4) ●●●	Livelli di sicurezza prevedibili (4.4.2.2.4)	Genera terreni e ricavi da vendite di terreni che possono essere utilizzati per finanziare le misure di adattamento. (4.4.2.4.5)	Salinizzazione delle acque sotterranee, aumento dell'erosione, perdita di ecosistemi e habitat costieri. (4.4.2.4.5)	Molto alta se i prezzi dei terreni sono alti, come in molti ambienti costieri urbani. (4.4.2.4.7)	Spesso insostenibile per le aree più povere. Conflitti sociali per l'accesso e la distribuzione delle nuove terre. (4.4.2.4.6)	
<b>Alloggi costieri</b> (edifici a prova di allagamento, sistemi di pronto allarme per alluvioni, etc.)	Molto efficace per bassi livelli di innalzamento (4.4.2.5.4) ●●●	Tecnologia matura; depositi di sedimenti durante le alluvioni possono innalzare ulteriormente il livello. (4.4.2.5.5)	Mantiene la connessione dei paesaggi. (4.4.2.5.5)	Non previene alluvioni/impatti. (4.4.2.5.5)	Molto alta per i sistemi di allarme e per le misure a scala di edificio (4.4.2.5.7)	I sistemi di pronto allarme richiedono efficaci accordi istituzionali. (4.4.2.6.6)	
<b>Ritiro</b>	<b>Rilocalizzazione programmata</b>	Efficace se disponibili località sicure alternative. (4.4.2.6.4) ●●●	I rischi dell'innalzamento possono essere eliminati all'origine. (4.4.2.6.4)	Accesso a servizi migliori (salute, educazione, alloggi), opportunità di lavoro e crescita economica. (4.4.2.6.5)	Perdita di coesione sociale, identità culturale e benessere. Peggioramento dei servizi (salute, educazione, alloggi), e di opportunità di lavoro e di crescita economica. (4.4.2.6.5)	Evidenza limitata. (4.4.2.6.7)	Conciliare gli interessi divergenti derivanti dal trasferimento di persone dal luogo di origine al luogo di destinazione. (4.4.2.6.6)
	<b>Rilocalizzazione forzata</b>	Affronta solo il rischio immediato nel luogo di origine	Non applicabile	Non applicabile	Spazia dalla perdita della vita alla perdita di mezzi di sussistenza e sovranità. (4.4.2.6.5)	Non applicabile	Solleva complesse questioni umanitarie sulla sussistenza, i diritti umani e l'equità. (4.4.2.6.6)

(d) Scegliere e abilitare le risposte all'innalzamento del livello del mare



Figura SPM.5 | c, d

diverse parti interessate (*confidenza alta*). Queste sfide possono essere facilitate utilizzando combinazioni adeguate a livello locale di analisi decisionale, pianificazione dell'uso del suolo, partecipazione pubblica, sistemi di conoscenza vari e approcci alla risoluzione dei conflitti adeguati nel tempo al variare delle circostanze (*confidenza alta*). {Cross-Chapter Riquadro 5 in Capitolo 1, 4.4.3, 4.4.4, 6.9}

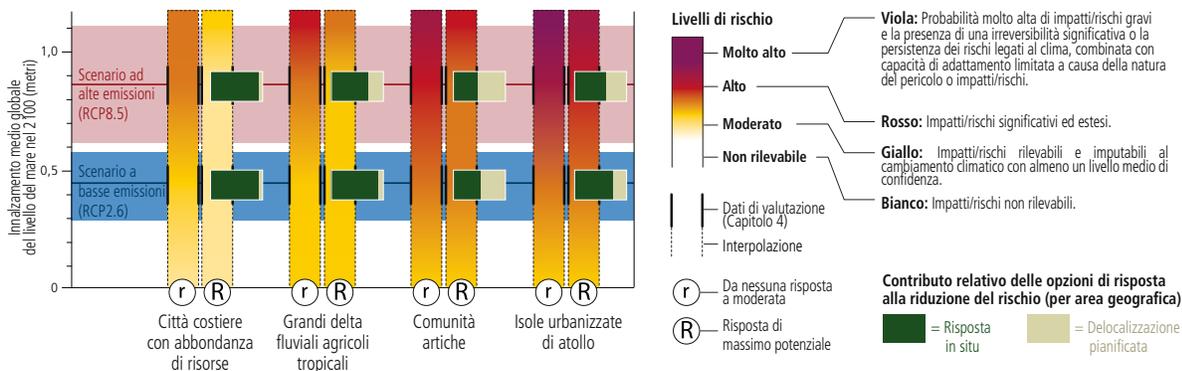
C.3.4  Nonostante l'elevata incertezza riguardo l'entità ed il tasso di innalzamento del livello del mare oltre il 2050, si stanno già prendendo molte decisioni riguardanti le coste con orizzonti temporali che vanno da decenni a oltre un secolo (ad esempio le grandi infrastrutture, i lavori per la protezione delle coste, la pianificazione delle città) che possono essere migliorate tenendo in considerazione il relativo innalzamento del livello del mare, favorendo risposte flessibili (cioè quelle che possono essere adattate nel tempo) supportate dal monitoraggio dei sistemi di allarme rapido, da una periodica rivalutazione delle decisioni (cioè processo decisionale adattivo) e l'utilizzo di approcci decisionali rigorosi, del giudizio di esperti, di elaborazione di ipotesi e sistemi multidisciplinari (*confidenza alta*). L'intervallo di valori dell'innalzamento del livello del mare che deve essere considerato per pianificare e implementare gli interventi sulle coste dipende dalla tolleranza al rischio delle parti interessate. *Stakeholder* con più elevata tolleranza al rischio (ad esempio quelli che pianificano investimenti che possono essere molto facilmente adattati a condizioni impreviste) spesso preferiscono basarsi sull'intervallo di proiezioni più *probabili*, mentre gli *stakeholder* con una scarsa tolleranza al rischio (ad esempio quelli che optano per grandi infrastrutture) considerano anche i livelli medi del mare locali e globali oltre l'estremo superiore dell'intervallo di valori più *probabili* (globalmente 1,1 m nello scenario RCP8.5 entro il 2100) o desunti da metodi caratterizzati da bassa confidenza, come ad esempio il parere degli esperti. {1.8.1, 1.9.2, 4.2.3, 4.4.4, Figure 4.2, Cross-Chapter Riquadro 5 in Capitolo 1, Figure SPM.5, SPM B3}

### Rischio dell'innalzamento del livello del mare e risposte

Il termine risposta qui è utilizzato al posto di adattamento perché alcune risposte, come il ritiro, possono o meno essere considerate adattamento.

#### (a) Rischio nel 2100 sotto diversi scenari di innalzamento del livello del mare e di risposta

Rischio per geografie illustrative in base alle variazioni medie del livello del mare (*confidenza media*)

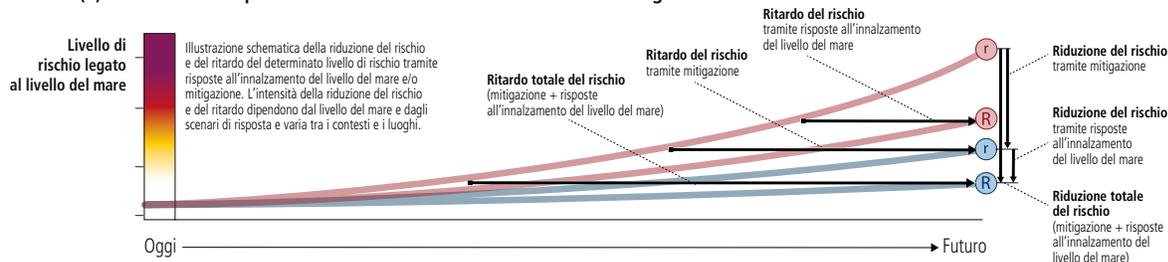


In questa valutazione, il termine risposta si riferisce a risposte in situ riguardo all'innalzamento del livello del mare (difese costiere fortemente ingegnerizzate, recupero di ecosistemi degradati, contenimento della subsidenza) e una delocalizzazione pianificata. Una delocalizzazione pianificata in questa valutazione si riferisce ad un allontanamento gestito in modo proattivo o reinsediamento e un ricollocamento solo a scala locale e compatibile con il contesto (per esempio, nelle isole urbanizzate di atollo: all'interno dell'isola stessa, in un'isola attigua oppure in un'isola costruita artificialmente). Spostamenti forzati e migrazioni internazionali non sono state considerate in questa valutazione.

Le aree geografiche rappresentative sono basate su un limitato numero di casi di studio adeguatamente analizzati dalla letteratura peer to peer. La realizzazione del rischio dipenderà dagli specifici contesti.

Scenari di innalzamento del livello del mare: RCP4.5 e RCP6.0 non sono considerati in questa valutazione del rischio perché la letteratura alla base di questa valutazione è disponibile solo per RCP2.6 e RCP8.5.

#### (b) Benefici delle risposte all'innalzamento del livello del mare e mitigazione



**Figura SPM.5** | Rischi e risposte legati all'aumento del livello del mare. Il termine risposta viene usato qui invece di adattamento poiché alcune risposte, come il ritiro, possono o meno essere considerate adattamento. **(a)** mostra il rischio combinato di inondazione delle coste, erosione e salinizzazione per le aree geografiche valutate nel 2100, a causa del cambiamento dei valori medi ed estremi del livello del mare in RCP2.6 e RCP8.5 e nei due scenari di risposta. I rischi nell'ambito degli RCP 4.5 e 6.0 non sono stati valutati a causa della mancanza di letteratura per le aree geografiche valutate. La valutazione non tiene conto delle variazioni dei livelli estremi del mare oltre a quelle indotte direttamente dall'innalzamento medio del livello del mare; i livelli di rischio potrebbero aumentare se si prendessero in considerazione altre variazioni dei livelli estremi (ad es. dovute a variazioni dell'intensità dei cicloni). Il pannello a) considera uno scenario socioeconomico con densità abitativa costiera relativamente stabile nel corso del secolo [SM4.3.2]. I rischi per le aree geografiche considerate sono stati valutati sulla base dei cambiamenti relativi del livello del mare previsti per una serie di esempi specifici: New York, Shanghai e Rotterdam per le città costiere ricche di risorse, le quali coprono una vasta gamma di esperienze di risposta; South Tarawa, Fongafale e Male' per isole urbanizzate di atollo; Mekong e Gange-Brahmaputra-Meghna per i grandi delta tropicali e agricoli; e Bykovskiy, Shishmaref, Kivalina, Tuktoyaktuk e Shingle Point per le comunità artiche situate in regioni lontane dalla rapida regolazione isostatica glaciale [4.2, 4.3.4, SM4.2]. La valutazione distingue due scenari di risposta contrastanti. "Risposta assente o moderata" descrive gli sforzi odierni (ossia nessuna ulteriore azione significativa o nuovi tipi di azioni). La "massima risposta potenziale" rappresenta una combinazione di risposte attuate nel loro massimo valore e quindi sforzi aggiuntivi significativi rispetto ad oggi, assumendo barriere finanziarie, sociali e politiche minime. La valutazione è stata condotta per ogni scenario di aumento e risposta del livello del mare, come indicato dal diagramma in figura; i livelli di rischio intermedi sono interpolati [4.3.3]. I criteri della valutazione includono esposizione e vulnerabilità (densità delle risorse, livello di degradazione degli ecosistemi tampone terrestri e marini), pericoli costieri (inondazioni, erosione del litorale, salinizzazione), risposte in situ (difese costiere fortemente ingegnerizzate, ripristino degli ecosistemi o creazione di nuove aree tampone naturali e gestione dei cedimenti) e la ricollocazione pianificata. La ricollocazione pianificata si riferisce al ritiro controllato o al reinsediamento come descritto nel Capitolo 4; ovvero misure proattive e su scala locale per ridurre il rischio, trasferendo persone, beni e infrastrutture. Lo spostamento forzato non è considerato in questa valutazione. Il pannello **(a)** evidenzia inoltre i contributi alla riduzione totale del rischio conseguenti alle risposte in situ ed alla ricollocazione pianificata. Il pannello **(b)** illustra schematicamente la riduzione del rischio (frecche verticali) e il ritardo del rischio (frecche orizzontali) attraverso la mitigazione e/o le risposte all'innalzamento del livello del mare. Il pannello **(c)** sintetizza e valuta le risposte all'innalzamento del livello del mare in termini di efficacia, costi, vantaggi, svantaggi, efficienza economica e sfide connesse alla governance [4.4.2]. Il pannello **(d)** presenta le fasi generiche di un approccio decisionale adattativo, così come le condizioni abilitanti fondamentali per le risposte all'innalzamento del livello del mare [4.4.4; 4.4.5]

## Condizioni abilitanti

**C.4 Il consentire la resilienza climatica e lo sviluppo sostenibile dipende in modo critico da pressanti ed ambiziose riduzioni delle emissioni associate ad azioni di adattamento coordinate sempre più ambiziose (confidenza molto alta). Fattori chiave per l'implementazione di risposte efficaci ai cambiamenti climatici correlati nell'oceano e nella criosfera includono l'intensificarsi della cooperazione e del coordinamento fra le autorità di governo a diverse scale spaziali e orizzonti di pianificazione. L'educazione e l'alfabetizzazione circa gli argomenti sul clima, il monitoraggio e le previsioni, l'uso di tutte le risorse di conoscenza disponibili, lo scambio di dati, l'informazione, la conoscenza, la finanza, l'interessarsi all'equità e alla fragilità sociale, e il supporto istituzionale sono anche fondamentali. Tali investimenti permettono di migliorare la formazione, l'apprendimento sociale, e la partecipazione in specifici contesti di adattamento, così come la negoziazione di compromessi e il conseguimento di ulteriori benefici nel ridurre rischi a breve termine e assicurando lo sviluppo della resilienza e sostenibilità a lungo termine (confidenza alta). Questo rapporto riflette la letteratura scientifica per gli oceani e la criosfera per bassi livelli di riscaldamento globale (1,5°C), come ben discusso nei precedenti report dell'IPCC e di IPBES. {1.1, 1.5, 1.8.3, 2.3.1, 2.3.2, 2.4, Figure 2.7, 2.5, 3.5.2, 3.5.4, 4.4, 5.2.2, Riquadro 5.3, 5.4.2, 5.5.2, 6.4.3, 6.5.3, 6.8, 6.9, Cross-Chapter Riquadro 9, Figura SPM.5}**

**C.4.1**  Alla luce dei cambiamenti osservati e proiettati negli oceani e nella criosfera, molte nazioni affronteranno sfide per adattarsi, anche con mitigazioni molto ambiziose (*confidenza molto alta*). In uno scenario ad alte emissioni, molte comunità economicamente dipendenti dagli oceani e dalla criosfera sono proiettate affrontare i limiti di adattamento (ad esempio, biofisici, geografici, finanziari, tecnici, sociali, politici ed istituzionali) nella seconda metà del 21° secolo. Una traiettoria indirizzata verso basse emissioni, per confronto, limita i rischi dai cambiamenti nell'oceano e nella criosfera in questo secolo e oltre e permette risposte più efficaci (*confidenza alta*), determinando anche ulteriori benefici. Un cambiamento economico profondo e di trasformazione istituzionale potrà rendere possibile Percorsi di Sviluppo Climaticamente Resilienti nel contesto degli oceani e della criosfera (*confidenza alta*). {1.1, 1.4-1.7, Cross-Chapter Riquadro 1-3 Capitolo 1, 2.3.1, 2.4, Riquadro 3.2, Figura 3.4, Cross-Chapter Riquadro 7 in Capitolo 3, 3.4.3, 4.2.2, 4.2.3, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.6, 5.4.2, 5.5.3, 6.9.2, Cross-Chapter Riquadro 9, Figura SPM.5}

- C.4.2  Intensificando la cooperazione e il coordinamento fra le autorità di governo a diverse scale, giurisdizioni, settori, competenze politiche e orizzonti di pianificazione si rendono possibili risposte efficaci ai cambiamenti negli oceani, nella criosfera e all'innalzamento del livello del mare (*confidenza alta*). Una cooperazione a livello regionale, includendo trattati e convenzioni, può supportare un'azione di adattamento; tuttavia, l'entità alla quale la risposta agli impatti e alle crescenti perdite derivanti dai cambiamenti avvenuti negli oceani e nella criosfera è resa possibile attraverso un quadro di politiche regionale, risulta attualmente limitata (*confidenza alta*). Disposizioni istituzionali che portano alla formazione di legami forti a diversi livelli con le comunità locali ed Indigene comportano vantaggi per l'adattamento (*confidenza alta*). Il coordinamento e la complementarità fra le politiche nazionali e sovra regionali possono supportare gli sforzi per reindirizzare il rischio associato alla sicurezza e alla gestione delle risorse, come per l'acqua e le industrie ittiche (*confidenza media*). {2.3.1, 2.3.2, Riquadro 2.4, 2.5, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabella 4.9, 5.5.2, 6.9.2}
- C.4.3  L'esperienza fino ad oggi – per esempio, in risposta all'innalzamento del livello del mare, ai rischi correlati all'acqua in alcune montagne ad alta quota, e il rischio di cambiamento climatico nell'Artico – inoltre mostra l'influenza abilitante di assumere una prospettiva a lungo termine quando si prendono decisioni a breve termine, esplicitamente tenendo in conto le incertezze del rischio nel contesto specifico oltre il 2050 (*confidenza alta*), e le capacità di costruire la governance per affrontare rischi complessi (*confidenza media*) {2.3.1, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabella 4.9, 5.5.2, 6.9, Figura SPM.5}
- C.4.4  Investimenti nell'educazione e nella costruzione di competenze a vari livelli e scale facilitano l'apprendimento sociale e la possibilità, sul lungo periodo, di risposte specifiche al contesto allo scopo di ridurre i rischi e aumentare la resilienza (*confidenza alta*). Attività specifiche includono l'utilizzo di sistemi di conoscenze multiple e informazioni climatiche a livello regionale nei processi decisionali, e il coinvolgimento di comunità locali, popolazioni Indigene, e portatori d'interesse rilevanti in accordi di governance adattiva e in un quadro di pianificazione (*confidenza media*). La promozione dell'alfabetizzazione climatica e l'attingere ai sistemi d'informazione locali, Indigeni e scientifici garantiscono consapevolezza, comprensione pubblica e apprendimento sociale riguardo gli specifici rischi locali e le potenziali risposte (*confidenza alta*). Investimenti di questo genere possono sviluppare, e in molti casi trasformare istituzioni esistenti e garantire processi di governance informati, interattivi e flessibili (*confidenza alta*). {1.8.3, 2.3.2, Figura 2.7, Riquadro 2.4, 2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabella 4.9, 5.5.2, 6.9}
- C.4.5  Il monitoraggio specifico al contesto e la previsione dei cambiamenti negli oceani e nella criosfera, informano il piano e l'implementazione dell'adattamento e facilitano decisioni robuste sui conflitti tra vantaggi a breve e lungo termine (*confidenza media*). Il monitoraggio continuativo a lungo termine, la condivisione di dati, informazioni e conoscenze, previsioni specifiche migliori per i diversi contesti, che includono sistemi di allarme rapido per prevedere eventi più estremi di El Niño/La Niña, cicloni tropicali e ondate di calore marine, aiutano nella gestione degli impatti negativi dovuti ai cambiamenti negli oceani come la perdita di pescato, e di impatti negativi su salute umana, sicurezza del cibo, agricoltura, barriere coralline, acquacoltura, incendi, turismo, conservazione, siccità e alluvioni (*confidenza alta*). {2.4, 2.5, 3.5.2, 4.4.4, 5.5.2, 6.3.1, 6.3.3, 6.4.3, 6.5.3, 6.9}
- C.4.6  La prioritizzazione delle misure per affrontare la vulnerabilità sociale e l'equità sottintende sforzi per promuovere una resilienza giusta ed equa e uno sviluppo sostenibile (*confidenza alta*), e può essere aiutata creando regole comunitarie sicure per una significativa partecipazione pubblica, discussione e risoluzione dei conflitti (*confidenza media*). {Riquadro 2.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabella 4.9, Figura SPM.5}
- C.4.7  Questa valutazione degli oceani e della criosfera in un clima in cambiamento rivela i benefici di una mitigazione ambiziosa e di un adattamento efficace per uno sviluppo sostenibile e, viceversa, il costante aumento dei costi e dei rischi di azioni ritardate. Il potenziale di tracciare Percorsi di Sviluppo Climaticamente Resilienti varia sia nell'ambito dello stesso oceano che tra oceani diversi, l'alta montagna e le regioni polari terrestri. La realizzazione di questo potenziale dipende da un cambiamento trasformativo. Questo evidenzia l'urgenza di una azione prioritaria, ambiziosa, coordinata e duratura (*confidenza molto alta*). {1.1, 1.8, Cross-Chapter Riquadro 1, 2.3, 2.4, 3.5, 4.2.1, 4.2.2, 4.3.4, 4.4, Tabella 4.9, 5.5, 6.9, Cross-Chapter Riquadro 9, Figura SPM.5}