ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

CLIMATE CHANGE 2013

The Physical Science Basis

Sintesi per i Decisori Politici

WG I

CONTRIBUTO DEL GRUPPO DI LAVORO I
AL QUINTO RAPPORTO DI VALUTAZIONE
DELL'INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

WMO UNEP

As UN body the IPCC publishes reports only in the 6 UN official languages. This translation of the Summary for Policymakers of IPCC Report "Climate Change 2013 - The Physical Science Basis" is therefore not an official translation by the IPCC. It has been provided by the Italian Focal Point hosted by the Euro-Mediterranean center on Climate Change (CMCC) in the aim of reflecting in the most accurate way the language used in the IPCC original text (available here: www.ipcc.ch)

L'IPCC è un organismo che fa parte delle Nazioni Unite e, in quanto tale, pubblica i propri documenti esclusivamente nelle 6 lingue ufficiali dell'ONU. Pertanto, la presente traduzione della Sintesi per Decisori Politici (SPM - Summary for Policy Makers) del Rapporto IPCC "Climate Change 2013 - The Physical Science Basis" non può essere considerata una traduzione ufficiale redatta dall'IPCC. Questo documento in lingua italiana è stato realizzato e diffuso ad opera del CMCC - Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici che ospita il Focal Point IPCC per l'Italia, con l'obiettivo specifico di riportare in lingua italiana e nella maniera più accurata possibile, il linguaggio e la terminologia utilizzata nel testo originale dell'IPCC (disponibile sul sito: www.ipcc.ch)

Climate Change 2013
The Physical Science Basis

Contributo del Gruppo di Lavoro I al Quinto Rapporto di Valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change

Sintesi per i Decisori Politici

Testo redatto da

Thomas F. Stocker
Working Group I Co-Chair
University of Bern

Dahe Qin
Working Group I Co-Chair
China Meteorological Administration

Gian-Kasper Plattner
Director of Science

Melinda M.B. Tignor
Director of Operations

Simon K. Allen
Senior Science Officer

Judith Boschung
Administrative Assistant

Alexander Nauels
Science Assistant

Yu Xia
Science Officer

Vincent Bex
IT Officer

Pauline M. Midgley
Head

Working Group I Technical Support Unit

Foto di copertina: il ghiacciaio Folgefonna (Sørfjorden, Norvegia, 60°03’ N - 6°20’ E) © Yann Arthus-Bertrand / Altitude.

Stampato nell'ottobre 2013 dall'IPCC, Svizzera. Le copie elettroniche di questa Sintesi per i Decisori Politici sono disponibili sul sito dell'IPCC www.ipcc.ch e sul sito IPCC WGI AR5 www.climatechange2013.org.

© 2013 Intergovernmental Panel on Climate Change

Traduzione italiana di L. Caciagli (CMCC - Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici)

Sintesi per i Decisori Politici

SPM

Sintesi per i Decisori Politici

Autori dei testi:
Lisa V. Alexander (Australia), Simon K. Allen (Switzerland/New Zealand), Nathaniel L. Bindoff (Australia), François-Marie Bréon (France), John A. Church (Australia), Ulrich Cubasch (Germany), Seita Emori (Japan), Piers Forster (UK), Pierre Friedlingstein (UK/Belgium), Nathan Gillett (Canada), Jonathan M. Gregory (UK), Dennis L. Hartmann (USA), Eystein Jansen (Norway), Ben Kirtman (USA), Reto Knutti (Switzerland), Krishna Kumar Kanikicharla (India), Peter Lemke (Germany), Jochem Marotzke (Germany), Valérie Masson-Delmotte (France), Gerald A. Meehl (USA), Igor I. Mokhov (Russian Federation), Shilong Piao (China), Gian-Kasper Plattner (Switzerland), Qin Dahe (China), Venkatachalam Ramaswamy (USA), David Randall (USA), Monika Rhein (Germany), Maisa Rojas (Chile), Christopher Sabine (USA), Drew Shindell (USA), Thomas F. Stocker (Switzerland), Lynne D. Talley (USA), David G. Vaughan (UK), Shang-Ping Xie (USA)

Autori che hanno contribuito alla stesura del documento:
Myles R. Allen (UK), Olivier Boucher (France), Don Chambers (USA), Jens Hesselbjerg Christensen (Denmark), Philippe Ciais (France), Peter U. Clark (USA), Matthew Collins (UK), Josefino C. Comiso (USA), Viviane Vasconcellos de Menezes (Australia/Brazil), Richard A. Feely (USA), Thierry Fichefet (Belgium), Arlene M. Fiore (USA), Gregory Flato (Canada), Jan Fuglestvedt (Norway), Gabriele Hegerl (UK/Germany), Paul J. Hezel (Belgium/USA), Gregory C. Johnson (USA), Georg Kaser (Austria/Italy), Vladimir Kattsov (Russian Federation), John Kennedy (UK), Albert M. G. Klein Tank (Netherlands), Corinne Le Quéré (UK), Gunnar Myhre (Norway), Timothy Osborn (UK), Antony J. Payne (UK), Judith Perlwitz (USA), Scott Power (Australia), Michael Prather (USA), Stephen R. Rintoul (Australia), Joeri Rogelj (Switzerland/Belgium), Matilde Rusticucci (Argentina), Michael Schulz (Germany), Jan Sedláček (Switzerland), Peter A. Stott (UK), Rowan Sutton (UK), Peter W. Thorne (USA/Norway/UK), Donald Wuebbles (USA)

Citare la presente Sintesi per i Decisori Politici come:
IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

A. Introduzione

Il contributo del Gruppo di Lavoro I al Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5) prende in considerazione le nuove evidenze dei cambiamenti climatici sulla base di numerose analisi scientifiche indipendenti, dalle osservazioni del sistema climatico, agli archivi paleoclimatici, agli studi teorici sui processi climatici, alle simulazioni mediante modelli climatici. Si basa sul contributo del Gruppo di Lavoro I al Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR4), e include le successive nuove scoperte della ricerca.
Come parte integrante del quinto ciclo di valutazione, il Rapporto Speciale dell'IPCC sulla gestione dei rischi legati agli eventi estremi per migliorare l'adattamento ai cambiamenti climatici (SREX - Special Report on Managing the Risks of Extreme Events to Advance Climate Change Adaptation) rappresenta una base importante d'informazioni sulle variazioni del clima e sugli eventi climatici estremi.

Questa Sintesi per i Decisori Politici (Summary for Policymakers - SPM) segue la struttura del rapporto del Gruppo di Lavoro I. La trattazione è supportata da una serie di conclusioni generali in evidenza che, considerate nel loro complesso, forniscono un riassunto sintetico. Le sezioni principali sono introdotte da un breve paragrafo in corsivo che delinea la base metodologica della valutazione.

Il grado di certezza dei risultati principali di questa valutazione si basa sulle valutazioni scientifiche generali di un team di autori e viene espresso come un livello qualitativo di confidenza (da *molto basso* a *molto alto*) e, quando possibile, in termini probabilistici, con una probabilità di tipo quantitativo (da *eccezionalmente improbabile* a *virtualmente certo*). La confidenza sulla validità di un risultato si basa su tipo, quantità, qualità, e coerenza delle prove (per esempio, dati, comprensione meccanicistica, teoria, modelli numerici, giudizio di esperti), e sul grado di accordo[1]. Le stime probabilistiche delle misure quantitative dell'incertezza di un risultato si basano sull'analisi statistica delle osservazioni o sui risultati dei modelli, o su entrambi, e sul giudizio degli esperti[2].
Dove appropriato, i risultati sono stati inoltre presentati come dichiarazioni di fatto, senza utilizzare gli indicatori di incertezza. (Vedi Capitolo 1 e Box TS.1 per maggiori dettagli sul linguaggio specifico che l'IPCC utilizza per comunicare l'incertezza).

Le basi per paragrafi importanti e sostanziali di questa Sintesi per i Decisori Politici possono essere ritrovate nelle sezioni dei capitoli del rapporto sottostante e nel Riassunto Tecnico. I relativi riferimenti sono indicati tra parentesi graffe.

B. I cambiamenti osservati nel sistema climatico

Le osservazioni del sistema climatico si basano sulle misurazioni dirette e sul telerilevamento da satelliti e altre piattaforme. Le osservazioni su scala globale di temperatura e di altre variabili sono iniziate dalla metà del XIX secolo, con set di osservazioni disponibili più completi ed esaustivi per il periodo che va dal 1950 in poi. Le ricostruzioni paleoclimatiche permettono di ricostruire dati climatici fino a centinaia di milioni di anni fa. Presi nel loro complesso, questi dati forniscono una panoramica completa ed esauriente della variabilità e dei cambiamenti a lungo termine in atmosfera, oceano, criosfera e superficie terrestre.

Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile e, a partire dagli anni '50, molti dei cambiamenti osservati sono senza precedenti su scale temporali che variano da decenni a millenni. L'atmosfera e gli oceani si sono riscaldati, le quantità di neve e ghiaccio si sono ridotte, il livello del mare si è alzato, e le concentrazioni di gas serra sono aumentate (vedi Figure SPM.1, SPM. 2, SPM.3 e SPM.4). {2.2, 2.4, 3.2, 3.7, 4.2–4.7, 5.2, 5.3, 5.5–5.6, 6.2, 13.2}

---

[1] In questa Sintesi per i Decisori Politici, i seguenti termini riassuntivi sono utilizzati per descrivere le prove disponibili: limitate, medie, robuste; e per il grado di accordo: basso, medio, elevato. Il livello di confidenza è espresso utilizzando 5 elementi qualificatori: molto basso, basso, medio, alto, molto alto, con i caratteri in corsivo, per esempio *confidenza media*. Per una data dichiarazione di prove e di accordo, possono essere assegnati diversi livelli di confidenza, anche se livelli crescenti di evidenze e di accordo sono correlati con livelli crescenti di confidenza (vedi Capitolo 1 e Box TS.1 per maggiori dettagli).

[2] In questa Sintesi per i Decisori Politici, i seguenti termini sono stati usati per indicare la probabilità stimata di un esito o di un risultato (virtualmente certo, probabilità al 99-100%, molto probabile 90-100%, probabile 66-100%, tanto probabile quanto no 33-66%, improbabile 0-33%, molto improbabile 0-10%, eccezionalmente improbabile 0-1%. Ulteriori termini (estremamente probabile: 95-100%, più probabile che no >50-100% ed estremamente improbabile 0-5%) possono essere utilizzati se necessario. La probabilità stimata è espressa in corsivo, per esempio, *molto probabile* (vedi Capitolo 1 e Box TS.1 per maggiori dettagli).

B.1 Atmosfera

La temperatura atmosferica superficiale mostra che ciascuno degli ultimi tre decenni sulla superficie della Terra è stato in sequenza più caldo di qualsiasi decennio precedente dal 1850 (vedi Figura SPM.1). Nell'emisfero settentrionale, il periodo 1983-2012 è stato *probabilmente* il trentennio più caldo degli ultimi 1400 anni (*confidenza media*). {2.4, 5.3}

- I dati combinati della temperatura superficiale media globale di terra e oceano, calcolati con un trend lineare, mostrano un riscaldamento pari a 0.85 [0.65-1.06] °C[3], nel periodo 1880-2012, per il quale esistono numerosi set di dati prodotti in modo indipendente. L'incremento totale considerando la media del periodo 1850-1900 e quella del periodo 2003-2012 è 0.78 [0.72-0.85] °C, sulla base del singolo set di dati più lungo disponibile[4]. (vedi Figura SPM.1) {2.4}
- Per il periodo più lungo in cui il calcolo delle tendenze a livello regionale è sufficientemente completo (dal 1901 al 2012), quasi tutto il globo ha subito un riscaldamento superficiale. (vedi Figura SPM.1) {2.4}
- Oltre al robusto riscaldamento multi-decennale, la temperatura superficiale media a livello globale mostra significative variabilità decennali e interannuali (vedi Figura SPM.1). Per effetto della variabilità naturale, le tendenze basate su record a breve termine sono molto sensibili alle date di inizio e di fine e in generale non riflettono le tendenze climatiche a lungo termine. Per fare un esempio, il tasso di riscaldamento degli ultimi 15 anni (1998-2012; 0.05 [da -0.05 a +0.15] °C per decennio), che inizia con uno degli eventi El Niño più forti degli ultimi anni, è inferiore al tasso calcolato a partire dal 1951 (1951-2012; 0.12 [0.08-0.14] °C per decennio)[5]. {2.4}
- Per alcune regioni, le ricostruzioni della temperatura superficiale su scala continentale mostrano, con *confidenza alta*, periodi multi-decennali nel corso dell'Anomalia Climatica Medievale (950 - 1250) caldi quanto il tardo XX secolo. Questi periodi caldi a livello regionale non si sono verificati coerentemente in tutte le regioni come è accaduto invece per il riscaldamento del tardo XX secolo (*confidenza alta*). {5.5}
- È *virtualmente certo* che a livello globale la troposfera si sia riscaldata dalla metà del XX secolo. Osservazioni più complete consentono una maggiore confidenza nelle stime delle variazioni di temperatura della troposfera nell'emisfero settentrionale extra-tropicale rispetto ad altre zone. C'è *confidenza media* per il tasso di riscaldamento e la sua struttura verticale nella troposfera dell'emisfero settentrionale extra-tropicale, e *confidenza bassa* altrove. {2.4}
- La *confidenza* per quanto riguarda la variazione delle precipitazioni medie sulle terre emerse a livello globale dal 1901, è *bassa* prima del 1951, *media* dopo. Facendo la media per le aree terrestri alle medie latitudini dell'emisfero settentrionale, le precipitazioni sono aumentate dal 1901 (*confidenza media* prima e *confidenza alta* dopo il 1951). Per aree ad altre latitudini, i trend medi a lungo termine, positivi o negativi, hanno *confidenza bassa* (vedi Figura SPM.2). {TS TFE.1, Figura 2; 2.5}
- A partire dal 1950 circa, sono stati osservati cambiamenti per molti eventi meteorologici e climatici estremi (vedi Tabella SPM.1 per i dettagli). È *molto probabile* che a livello globale il numero di giorni e notti freddi sia diminuito, mentre quello di giorni e notti caldi sia aumentato[6]. È *probabile* che la frequenza delle ondate di calore sia aumentata in vaste aree dell'Europa, Asia e Australia. È *probabile* che siano più numerose le terre emerse in cui il numero di eventi di intensa precipitazione è aumentato di quelle in cui è diminuito. La frequenza o l'intensità degli eventi di forte precipitazione è *probabilmente* aumentato in Nord America e in Europa. In altri continenti, la *confidenza* per le variazioni degli eventi di forte precipitazione è al massimo *media*. {2.6}

---

[3] Salvo diversa indicazione, nel contributo del WGI ad AR5 l'incertezza è quantificata utilizzando intervalli d'incertezza del 90%. Per un intervallo d'incertezza del 90%, riportato fra parentesi quadre, ci si aspetta di avere una probabilità del 90% di includere il valore stimato. Gli intervalli di incertezza non sono necessariamente simmetrici rispetto alla corrispondente migliore stima calcolata. La stima migliore per un dato valore è fornita laddove disponibile.

[4] Entrambi i metodi illustrati in questo punto dell'elenco sono stati usati anche in AR4. Il primo metodo calcola la differenza utilizzando il miglior andamento lineare di tutti i punti tra il 1880 e il 2012. Il secondo calcola la differenza tra le medie dei due periodi, 1850-1900 e 2003-2012. Pertanto, i valori che ne derivano e i loro intervalli di incertezza al 90% non sono direttamente confrontabili. {2.4}

[5] I trend per periodi di 15 anni a partire dal 1995, 1996 e 1997 sono rispettivamente 0,13 [0,02-0,24], 0,14 [0,03-0,24], 0.07 [da -0.02 a 0.18] °C per decennio.

[6] Consulta il Glossario per la definizione di questi termini: giorni freddi/notti fredde, giorni caldi/notti calde, ondate di calore.

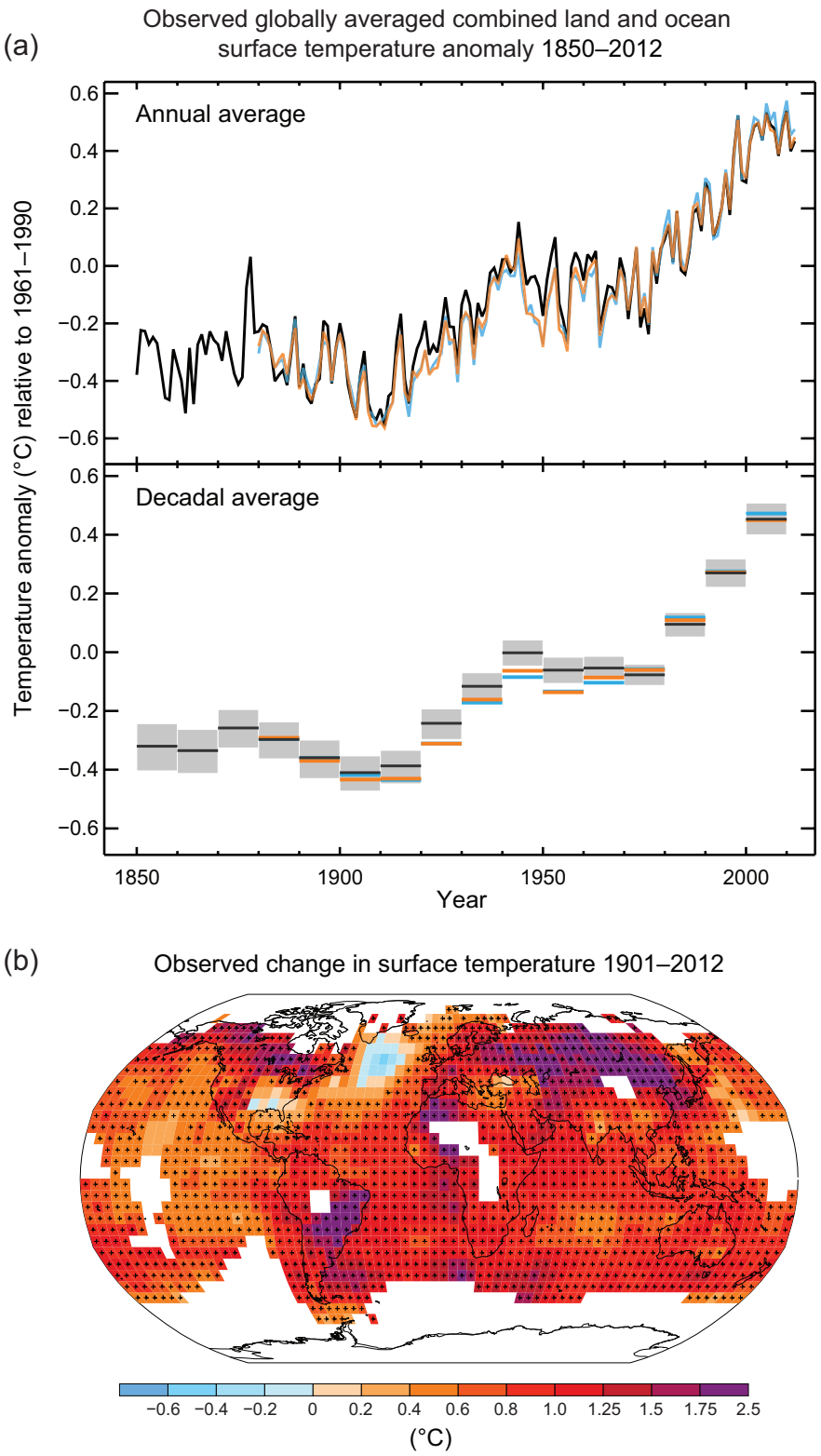

Figura SPM.1 | (a) Media combinata delle anomalie di temperatura superficiale di terra e oceano osservate a livello globale, dal 1850 al 2012, ricavate da tre set di dati. Quadro superiore: valori medi annuali. Quadro inferiore: valori medi decennali, comprendenti la stima dell'incertezza per un set di dati (in nero). Le anomalie si riferiscono alla media del periodo 1961-1990. (b) Mappa delle variazioni della temperatura superficiale osservate dal 1901 e il 2012, ricavate dai trend di temperatura determinati dalla regressione lineare di un set di dati (linea arancione del quadro a). I trend sono stati calcolati dove i dati disponibili permettono di fare una stima robusta (vale a dire, solo per le celle della griglia con più del 70% di record completi e con una disponibilità di dati maggiore del 20% nel primo e del 10% nell'ultima parte del periodo di misura). Le altre celle sono bianche. Le celle dove il trend è significativo al 10% sono indicate da un segno +. Per un elenco dei set di dati e ulteriori dettagli tecnici, vedi i Materiali Supplementari del Riassunto Tecnico. {Figure 2.19-2.21; Figura TS.2}

Tabella SPM.1 | Eventi meteorologici e climatici estremi: valutazione su scala globale dei recenti cambiamenti osservati, del contributo antropico ai cambiamenti, e degli ulteriori cambiamenti previsti per gli inizi (2016-2035) e la fine (2081-2100) del XXI secolo. Il grassetto indica dove AR5 (nero) fornisce una valutazione su scala globale riveduta* rispetto a SREX (blu) o ad AR4 (rosso). Le proiezioni per gli inizi del XXI secolo non erano state fornite nei precedenti rapporti di valutazione. Le proiezioni contenute in AR5 sono relative al periodo di riferimento 1986-2005, e si avvalgono dei nuovi scenari RCP - Representative Concentration Pathway (vedi il Box SPM.1) se non diversamente specificato. Consulta il Glossario per le definizioni di eventi meteorologici e climatici estremi.

Fenomeno e tendenza	Valutazione che i cambiamenti si siano verificati (dal 1950 se non diversamente specificato)	Valutazione del contributo umano ai cambiamenti osservati	Probabilità di ulteriori cambiamenti	
			Inizio XXI secolo	Fine XXI secolo
Giorni e notti più caldi e/o meno freddi sulla maggior parte delle aree terrestri	*Molto probabile* {2.6} *Molto probabile* *Molto probabile*	***Molto probabile*** {10.6} *Probabile* *Probabile*	*Probabile* {11.3}	*Virtualmente certo* {12.4} *Virtualmente certo* *Virtualmente certo*
Giorni e notti più caldi e/o caldi più frequentemente sulla maggior parte delle aree terrestri	*Molto probabile* {2.6} *Molto probabile* *Molto probabile*	***Molto probabile*** {10.6} *Probabile* *Probabile* (solo notti)	*Probabile* {11.3}	*Virtualmente certo* {12.4} *Virtualmente certo* *Virtualmente certo*
Periodi caldi/Ondate di calore. Aumento della frequenza e/o della durata sulla maggior parte delle aree terrestri	***Confidenza media*** su scala globale *Probabile* in gran parte di Europa, Asia e Australia {2.6} *Confidenza media* in molte (ma non in tutte le) regioni *Probabile*	***Probabile***[a] {10.6} Non accertato formalmente *Più probabile che no*	Non accertato formalmente[b] {11.3}	*Molto probabile* {12.4} *Molto probabile* *Molto probabile*
Eventi di forte precipitazione. Aumento di frequenza, intensità, e/o quantità di forti precipitazioni	*Probabile* più aree terrestri con incrementi che con decrementi[c] {2.6} Probabile più aree terrestri con incrementi che con decrementi Probabile sulla maggior parte delle aree terrestri	***Confidenza media*** {7.6, 10.6} *Confidenza media* *Più probabile che no*	*Probabile* su molte aree terrestri {11.3}	***Molto probabile*** sulla maggior parte delle masse terrestri alle medie latitudini e sulle regioni umide tropicali {12.4} Probabile su molte aree Molto probabile sulla maggior parte delle aree terrestri
Aumento d'intensità e/o durata dei periodi di siccità	***Confidenza bassa*** su scala mondiale *Probabili* cambiamenti in alcune regioni[d] {2.6} *Confidenza media* in alcune regioni *Probabile* in molte regioni, dal 1970[e]	***Confidenza bassa*** {10.6} *Confidenza media*[f] *Più probabile che no*	*Confidenza bassa*[g] {11.3}	***Probabile*** (*confidenza media*) su scala regionale e globale[h] {12.4} *Confidenza media* in alcune regioni *Probabile*[e]
Aumento dell'attività dei cicloni tropicali	***Confidenza bassa*** su cambiamenti a lungo termine (centennali) {2.6} *Virtualmente certo* in Nord Atlantico dal 1970 *Confidenza bassa* *Probabile* in alcune regioni, dal 1970	***Confidenza bassa***[i] {10.6} *Confidenza media* *Più probabile che no*	*Confidenza bassa* {11.3}	***Più probabile che no*** nel Pacifico Nord occidentale e in Nord Atlantico[j] {14.6} *Più probabile che no* in alcuni bacini *Probabile*
Aumento dell'incidenza e/o grandezza del livello massimo del mare	*Probabile* (dal 1970) {3.7} *Probabile* (fine XX secolo) *Probabile*	***Probabile***[k] {3.7} *Probabile*[k] *Più probabile che no*[k]	*Probabile*[l] {13.7}	***Molto probabile***[l] {13.7} *Molto probabile*[m] *Probabile*

* Il confronto diretto dei risultati dei diversi rapporti di valutazione è difficile. Per alcune variabili climatiche sono stati valutati aspetti diversi e le linee guida riviste sulle incertezze sono state utilizzate per i rapporti SREX e AR5. La disponibilità di nuove informazioni, la migliore comprensione scientifica, l'analisi continua dei dati e dei modelli e le specifiche differenze nelle metodologie impiegate negli studi di valutazione: tutto contribuisce ai risultati riveduti e corretti della presente valutazione.

Note:

[a] L'attribuzione si basa sui casi studio disponibili. È *probabile* che l'influenza umana abbia più che raddoppiato la probabilità del verificarsi di alcune delle ondate di calore osservate in certe località.
[b] I modelli indicano aumenti a breve termine della durata, dell'intensità, e dell'estensione spaziale delle ondate di calore e dei periodi caldi.
[c] Nella maggior parte dei continenti, il livello di confidenza dei trend non è superiore al medio, eccetto che per Nord America ed Europa, dove è probabile si siano registrati degli aumenti della frequenza o dell'intensità di forti precipitazioni, con qualche fluttuazione stagionale e/o regionale. È *molto probabile* che ci siano stati aumenti nella zona centrale del Nord America.
[d] È *probabile* che siano aumentate la frequenza e l'intensità degli episodi di siccità nell'area del Mediterraneo e in Africa occidentale, mentre è *probabile* che siano diminuiti nella zona centrale del Nord America e in Australia nord-occidentale.
[e] Il rapporto AR4 contiene una valutazione delle aree colpite da siccità.
[f] Il rapporto speciale SREX stima con un grado di *confidenza media* che l'influenza antropica abbia contribuito ad alcuni cambiamenti nei pattern di siccità osservati nella seconda metà del XX secolo, in base agli impatti ad essa attribuiti su precipitazioni e variazioni delle temperature. SREX ha stimato con *confidenza bassa* l'attribuzione di cambiamenti degli eventi di siccità a livello di singole regioni.
[g] È *bassa la confidenza* per le variazioni previste per l'umidità del suolo.
[h] Sulla base dello scenario RCP8.5, le diminuzioni previste su scala globale e regionale dell'umidità del suolo, e l'aumento della siccità in agricoltura, sono *probabili* (*confidenza media*), nelle regioni attualmente aride, entro la fine di questo secolo. L'essiccazione e la perdita i umidità del suolo nel Mediterraneo, nel sud-ovest degli Stati Uniti e nelle regioni dell'Africa meridionale è in accordo con i cambiamenti previsti nella circolazione di Hadley e con l'aumento delle temperature superficiali, così che vi è un'*alta confidenza* per un *probabile* inaridimento dei suoli in queste regioni entro la fine di questo secolo, sulla base dello scenario RCP8.5.
[i] C'è confidenza media che una riduzione del forzante degli aerosol nel Nord Atlantico abbia contribuito almeno in parte all'aumento osservato nell'attività dei cicloni tropicali in questa regione, a partire dagli Anni Settanta.
[j] Sulla base del giudizio degli esperti e sulla valutazione delle proiezioni che utilizzano uno scenario SRES A1B (o simili).
[k] L'attribuzione si basa sulla stretta relazione tra cambiamenti estremi e medi osservati nei livelli del mare.
[l] C'è *confidenza alta* che questo aumento dei valori massimi del livello del mare sarà essenzialmente il risultato di un aumento del livello medio del mare. C'è *confidenza bassa* per le proiezioni regionali per quanto riguarda tempestosità e ondate di tempeste associate.
[m] SREX stima che sia molto probabile che l'innalzamento medio del mare contribuirà ai futuri trend di aumento dei livelli estremi di acque alte costiere.

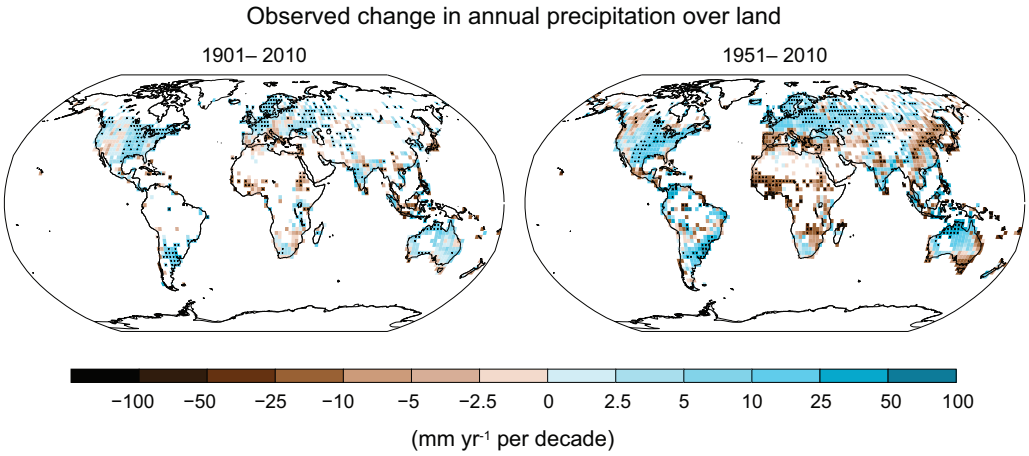

Figura SPM.2 | Mappe delle variazioni nelle precipitazioni osservate dal 1901 al 2010 e dal 1951 al 2010 (tendenze di aumento annuali calcolate con gli stessi criteri di Figura SPM.1), ottenute da un solo set di dati. Per ulteriori dettagli tecnici, vedi i Materiali Supplementari del Riassunto Tecnico.

B.2 Oceani

Il riscaldamento degli oceani domina l'aumento di energia immagazzinata nel sistema climatico, ed è responsabile di più del 90% dell'energia accumulata tra il 1971 e il 2010 (*confidenza alta*). È *virtualmente certo* che l'oceano superficiale (0-700 m) si sia riscaldato tra il 1971 e il 2010 (vedi Figura SPM.3), ed è *probabile* che si sia riscaldato tra il 1870 e il 1971. {3.2, Box 3.1}

- Su scala globale, il riscaldamento degli oceani è maggiore vicino alla superficie, e i 75 m superiori si sono riscaldati di 0.11 [0.09-0.13] °C per decennio nel periodo 1971-2010. A partire da AR4, gli errori strumentali nei record delle temperature dell'oceano superficiale sono stati identificati e ridotti, rafforzando la confidenza nella valutazione del cambiamento.{3.2}
- Dal 1957 al 2009 è *probabile* che l'oceano si sia riscaldato tra i 700 e i 2000 metri. Per il periodo che va dal 1992 al 2005 sono disponibili sufficienti osservazioni per una valutazione globale del cambiamento di temperatura al di sotto dei 2000 m. È *probabile* che in questo periodo non ci siano stati trend significativi per le temperature osservate tra i 2000 e i 3000 m. È *probabile* che in questo periodo l'oceano si sia riscaldato a partire dai 3000 m fino ad arrivare al fondo marino, con il maggior riscaldamento osservato nell'Oceano Meridionale o Antartico. {3.2}
- Più del 60% dell'incremento netto di energia del sistema climatico si è accumulato nell'oceano superficiale (0-700 m) nel corso del periodo di 40 anni, relativamente ben indagato, che va dal 1971 al 2010, mentre circa il 30% è immagazzinato nell'oceano al di sotto dei 700 m. L'aumento del contenuto di calore dell'oceano superficiale durante questo periodo di tempo, stimato mediante una regressione lineare, è *probabile* che sia pari a 17 [15-19] x 10^{22} J [7] (vedi Figura SPM.3). {3.2, Box 3.1}
- È *tanto probabile quanto no* che il contenuto di calore dell'oceano fra 0 e 700 m sia aumentato più lentamente nel periodo 2003-2010 che durante il periodo 1993-2002 (vedi Figura SPM.3). L'assorbimento di calore dell'oceano tra i 700 e i 2000 m, dove la variabilità interannuale è minore, è *probabile* che sia continuato senza sosta dal 1993 al 2009. {3.2, Box 9.2}
- È *molto probabile* che a partire dagli anni '50 le regioni ad alta salinità, in cui predomina l'evaporazione, siano diventate più saline, mentre le regioni con bassi livelli di salinità, in cui predominano le precipitazioni, siano diventate più dolci. Queste tendenze regionali della salinità degli oceani forniscono la prova indiretta del fatto che i fenomeni di evaporazione e precipitazione al di sopra degli oceani sono cambiati (*confidenza media*). {2.5, 3.3, 3.5}
- Non ci sono evidenze osservative per un trend nella circolazione termoalina nell'Atlantico (AMOC - Atlantic Meridional Overturning Circulation), sulla base della raccolta decennale di dati su AMOC considerata nel suo complesso e dei record più lunghi sulle singole componenti. {3.6}

[7] Un costante apporto di calore attraverso la superficie dell'oceano al tasso di 1 W m^{-2} per anno aumenterebbe il contenuto di calore negli oceani di 1.1x10^{22} J.

B.3 Criosfera

Nel corso degli ultimi vent'anni, le calotte glaciali di Groenlandia e Antartide hanno perso la loro massa, i ghiacciai hanno continuato a ritirarsi in quasi tutto il pianeta, mentre l'estensione del ghiaccio marino artico e la copertura nevosa primaverile nell'emisfero nord hanno continuato a diminuire in estensione (*confidenza alta*) (vedi Figura SPM.3). {4.2–4.7}

- Il tasso medio di perdita di ghiaccio[8] dai ghiacciai in tutto il mondo, con l'esclusione di alcuni ghiacciai[9], delle calotte glaciali, è *molto probabile* che sia stato pari a 226 [91-361] Gt/anno nel corso del periodo 1971-2009, e *molto probabilmente* 275 [140-410] Gt/anno nel periodo 1993-2009[10]. {4.3}

- È *probabile* che il tasso medio di perdita di ghiaccio dalla calotta glaciale della Groenlandia sia considerevolmente aumentato, passando da 34 [tra -6 e 74] Gt/anno nel periodo 1992-2001, a 215 [157-274] Gt/anno nel periodo 2002-2011. {4.4}

- È *probabile* che il tasso medio di perdita di ghiaccio dalla calotta antartica sia aumentato, passando da 30 [tra -37 a 97] Gt/anno nel periodo 1992-2001, a 147 [72-221] Gt/anno nel periodo 2002-2011. Esiste *confidenza molto alta* che queste perdite siano principalmente concentrate nel settore settentrionale della Penisola Antartica e nel settore del Mare di Amundsen, in Antartide occidentale. {4.4}

- L'estensione annuale media del ghiaccio marino artico è diminuita nel periodo 1979-2012 a un tasso che è stato *molto probabilmente* del 3,5-4,1% per decennio (pari all'intervallo compreso tra 0,45 e 0,51 milioni di km^2 per decade), e *molto probabilmente* del 9,4-13,6% per decennio (intervallo tra 0,73 e 1,07 milioni di Km^2 per decennio) per il minimo del ghiaccio marino estivo (ghiaccio marino perenne). La riduzione media per decennio dell'estensione del ghiaccio marino artico è stata più rapida in estate (*confidenza alta*); l'estensione spaziale è diminuita in tutte le stagioni, e in ogni decennio successivo dal 1979 (*confidenza alta*) (vedi Figura SPM.3). Dalle ricostruzioni c'è *confidenza media* che negli ultimi trent'anni il ritirarsi del ghiaccio marino artico in estate sia stato senza precedenti e che le temperature superficiali marine siano state anormalmente alte almeno rispetto agli ultimi 1450 anni. {4.2, 5.5}

- È *molto probabile* che l'estensione media annuale del ghiaccio marino antartico sia aumentata a un tasso compreso tra 1,2% e 1,8% per decennio (tra 0,13 e 0,20 milioni di km^2 per decennio) nel periodo 1979-2012. C'è *confidenza alta* che esistano forti differenze regionali per questo tasso annuale, con un'estensione in crescita per alcune regioni, in diminuzione per altre. {4.2}

- C'è *confidenza molto alta* che l'estensione della copertura nevosa nell'emisfero settentrionale sia diminuita a partire dalla metà del XX secolo (vedi Figura SPM.3). L'estensione della copertura nevosa nell'emisfero settentrionale è diminuita di 1,6 [0,8-2,4]% per decennio nei mesi di marzo e aprile, e di 11,7 [8,8-14,6]% per decennio nel mese di giugno, nel periodo 1967-2012. In questo periodo, l'estensione della copertura nevosa nell'emisfero settentrionale non ha evidenziato un incremento statisticamente significativo in nessun mese. {4.5}

- C'è *confidenza alta* che le temperature del permafrost siano cresciute in molte regioni fin dai primi anni '80. Il riscaldamento osservato è stato fino a 3°C in alcune zone dell'Alaska settentrionale (primi anni '80 - metà degli anni 2000) e fino a 2°C in alcune zone della Russia europea settentrionale (1971-2010). In quest'ultima regione, è stata osservata una considerevole riduzione dello spessore e dell'estensione areale del permafrost nel periodo 1975-2005 (*confidenza media*). {4.7}

- Linee multiple di evidenza sono a favore di un riscaldamento assai considerevole dell'Artico dalla metà del XX secolo. {Box 5.1, 10.3}

---

[8] Tutti i riferimenti a "perdita di ghiaccio" o "perdita di massa" si riferiscono alla perdita netta di ghiaccio, cioè all'accumulo meno lo scioglimento e la formazione di iceberg.

[9] Per ragioni metodologiche, questa valutazione della perdita di ghiaccio dalle calotte glaciali in Antartide e Groenlandia comprende i cambiamenti nei ghiacciai alla periferia. Questi ghiacciai periferici sono perciò esclusi dai valori indicati per i ghiacciai.

[10] Una perdita di ghiaccio di 100 Gt/anno è equivalente a circa 0,28 mm/anno di innalzamento medio globale del livello del mare.

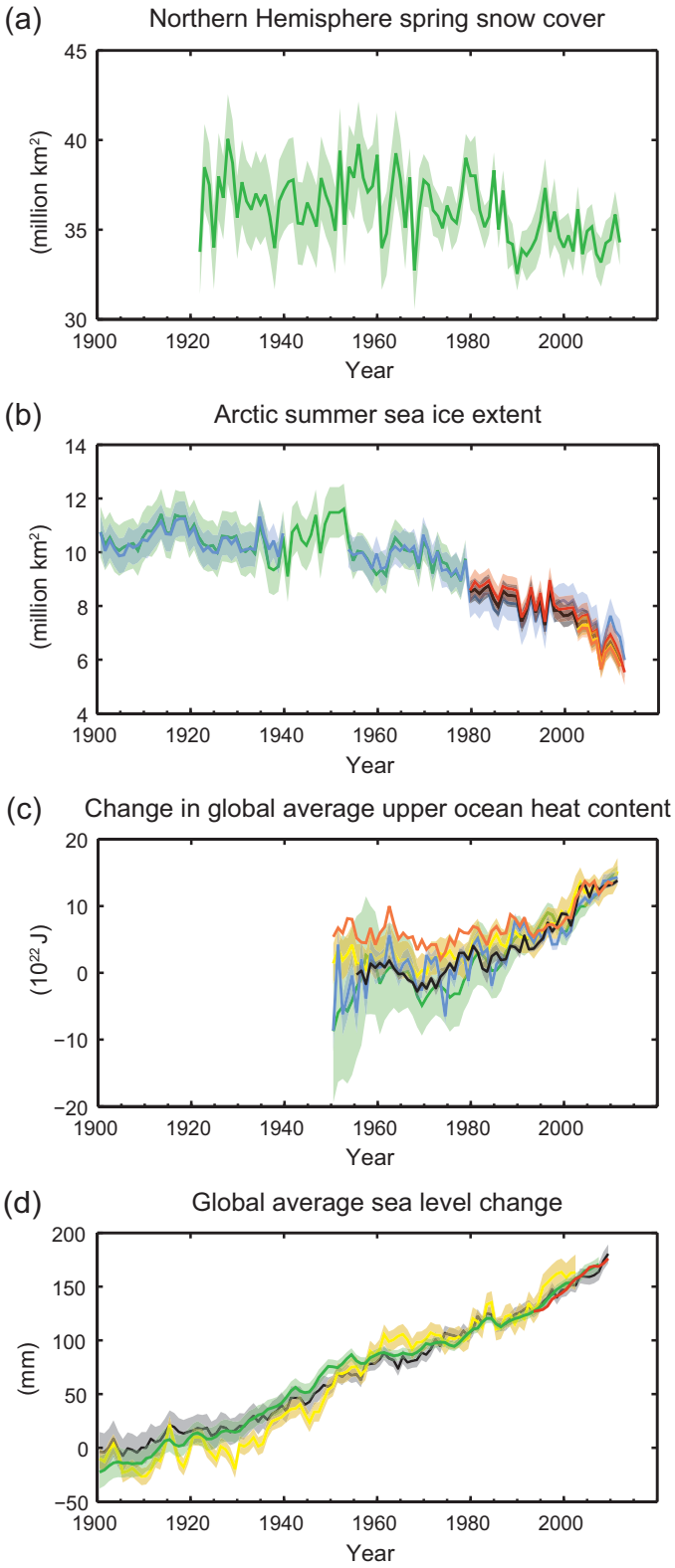

Figura SPM.3 | Indicatori multipli osservati di un cambiamento climatico globale: (a) estensione della copertura nevosa media nell'emisfero settentrionale, nei mesi di marzo e aprile (primavera); (b) estensione media del ghiaccio marino nell'Artico, nei mesi di luglio, agosto e settembre (estate); (c) cambiamento del contenuto medio globale di calore nell'oceano superficiale (0-700 m) allineato al 2006-2010, e relativo alla media di tutti i set di dati per il 1970; (d) livello globale medio del mare relativo alla media 1900-1905 della più lunga serie di dati, e con tutti i set di dati allineati per avere lo stesso valore nel 1993, il primo anno in cui sono stati disponibili dati altimetrici da satellite. Tutte le serie temporali (le linee colorate indicanti i diversi set di dati) mostrano valori annuali e, dove stimate, le incertezze sono indicate con ombreggiature colorate. Consulta i Materiali Supplementari del Riassunto Tecnico per un elenco dei set di dati. {Figure 3.2, 3.13, 4.19, e 4.3; FAQ 2.1, Figura 2; Figura TS.1}

B.4 Livello del mare

Il tasso di innalzamento del livello del mare dalla metà del XIX secolo è stato più grande del tasso medio dei 2000 anni precedenti (*confidenza alta*). Nel periodo 1901-2010, il livello globale medio del mare è cresciuto di 0,19 [0,17-0,21] m (vedi Figura SPM.3). {3.7, 5.6, 13.2}

- I dati *proxy* e strumentali del livello del mare indicano una transizione fra la fine del XIX secolo e gli inizi del XX secolo da tassi medi di innalzamento relativamente bassi durante i due millenni precedenti, a tassi più alti di innalzamento (*confidenza alta*). È *probabile* che il tasso di innalzamento del livello globale medio del mare sia continuato ad aumentare dai primi anni del XX secolo. {3.7, 5.6, 13.2}

- È *molto probabile* che il tasso medio di innalzamento del livello globale medio del mare sia stato di 1,7 [1,5-1,9] mm/anno nel periodo 1901-2010, 2,0 [1,7-2,3] mm/anno nel periodo 1971-2010, e 3,2 [2,8-3,6] mm/anno nel periodo 1993-2010. I dati dei mareografi e i dati altimetrici da satellite sono in accordo con il tasso più elevato di quest'ultimo periodo. È *probabile* che si siano avuti dei tassi simili tra il 1920 e il 1950. {3.7}

- Dai primi anni '70, la perdita di massa dei ghiacciai e l'espansione termica degli oceani rendono conto insieme di circa il 75% di innalzamento del livello globale medio marino osservato (*confidenza alta*), coerente con la somma dei contributi osservati dell'espansione termica oceanica causata dal riscaldamento (1,1 [0,8-1,4] mm/anno), dei cambiamenti dei ghiacciai (0,76 [0,39-1,13] mm/anno), delle calotte glaciali in Groenlandia (0,33 [0,25-0,41] mm all'anno) e in Antartide (0,27 [0,16-0,38] mm/anno), e delle variazioni dei depositi di acqua nelle terre emerse (0,38 [0,26-0,49] mm/anno). La somma di questi contributi è 2,8 [2,3-3,4] mm/anno. {13.3}

- C'è *confidenza molto alta* che il massimo livello globale medio del mare durante l'ultimo periodo interglaciale (da 129.000 a 116.000 anni fa) sia stato, per diverse migliaia di anni, almeno 5 m più alto dell'attuale, e c'è *confidenza alta* che non abbia superato i 10 m rispetto all'attuale. Durante l'ultimo periodo interglaciale, la calotta glaciale della Groenlandia *molto probabilmente* ha fornito un contribuito (tra 1,4 e 4,3 m) a un più alto livello globale medio del mare, il che implica con *confidenza media* un ulteriore contributo da parte della calotta glaciale dell'Antartide. Questo cambiamento del livello del mare si è verificato nel contesto di un diverso forzante orbitale e con una temperatura superficiale alle alte latitudini, mediata su diverse migliaia di anni, almeno di 2°C più calda rispetto al presente (*confidenza alta*). {5.3, 5.6}

B.5 Ciclo del carbonio e altri cicli biogeochimici

Le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, metano, e protossido di azoto sono aumentate a livelli senza precedenti almeno rispetto agli ultimi 800.000 anni. La concentrazione di anidride carbonica è aumenta del 40% dall'età pre-industriale, in primo luogo per le emissioni legate all'uso dei combustibili fossili, e in seconda istanza per le emissioni nette legate al cambio di uso del suolo. L'oceano ha assorbito circa il 30% dell'anidride carbonica di origine antropogenica emessa, causando l'acidificazione degli oceani (vedi Figura SPM.4). {2.2, 3.8, 5.2, 6.2, 6.3}

- Le concentrazioni atmosferiche dei gas serra anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4) e protossido di azoto (N_2O), sono tutte aumentate dal 1750 per effetto delle attività umane. Nel 2011 le concentrazioni di questi gas serra erano 391 ppm[11], 1803 ppb, e 324 ppb, e superavano i livelli pre-industriali rispettivamente di circa il 40%, 150%, e 20%. {2.2, 5.2, 6.1, 6.2}

- Le concentrazioni di CO_2, CH_4, e N_2O superano adesso notevolmente le più alte concentrazioni registrate nelle carote di ghiaccio negli ultimi 800.000 anni. I tassi medi di aumento delle concentrazioni atmosferiche durante il secolo scorso sono, con *confidenza molto alta*, senza precedenti negli ultimi 22.000 anni. {5.2, 6.1, 6.2}

[11] ppm (parti per milione) o ppb (parti per miliardo, 1 miliardo = 1000 milioni) è il rapporto tra il numero di molecole di gas per il numero totale di molecole di aria secca. Per esempio, 300 ppm equivalgono a 300 molecole di un gas per un milione di molecole di aria secca.

- Le emissioni annuali di CO_2 causate dall'uso dei combustibili fossili e dalla produzione cementifera sono state di 8,3 [7,6-9,0] GtC[12]/anno mediamente nel periodo 2002-2011 (*confidenza alta*) e di 9,5 [8,7-10,3] GtC/anno nel 2011, il 54% al di sopra del livello del 1990. Le emissioni nette annuali di CO_2 dovute al cambiamento di uso del suolo di origine antropica sono state di 0,9 [0,1-1,7] GtC/anno in media nel periodo 2002-2011 (*confidenza media*). {6.3}
- Dal 1750 al 2011, le emissioni di CO_2 dovute ai combustibili fossili e alla produzione cementifera hanno rilasciato 375 [345-405] GtC nell'atmosfera, mentre deforestazione e altri cambiamenti di uso del suolo si stima che abbiano rilasciato 180 [100-260] GtC. Questo ha significato un totale di 555 [470-640] GtC di emissioni antropogeniche. {6.3}
- Di queste emissioni cumulative antropogeniche di CO_2, 240 [230-250] GtC si sono accumulate nell'atmosfera, 155 [125-185] GtC sono state assorbite dagli oceani e 160 [70-250] GtC si sono accumulate negli ecosistemi naturali terrestri (vale a dire, il residuo cumulativo del carbonio assorbito dalla terra). {Figura RT.4, 3.8, 6.3}
- L'acidificazione degli oceani è quantificata da un abbassamento del pH[13]. Il pH delle acque dell'oceano superficiale si è abbassato di 0,1 unità dall'inizio dell'età industriale (*confidenza alta*), equivalente a un aumento del 26% della concentrazione degli ioni idrogeno (vedi Figura SPM.4). {3.8, Box 3.2}

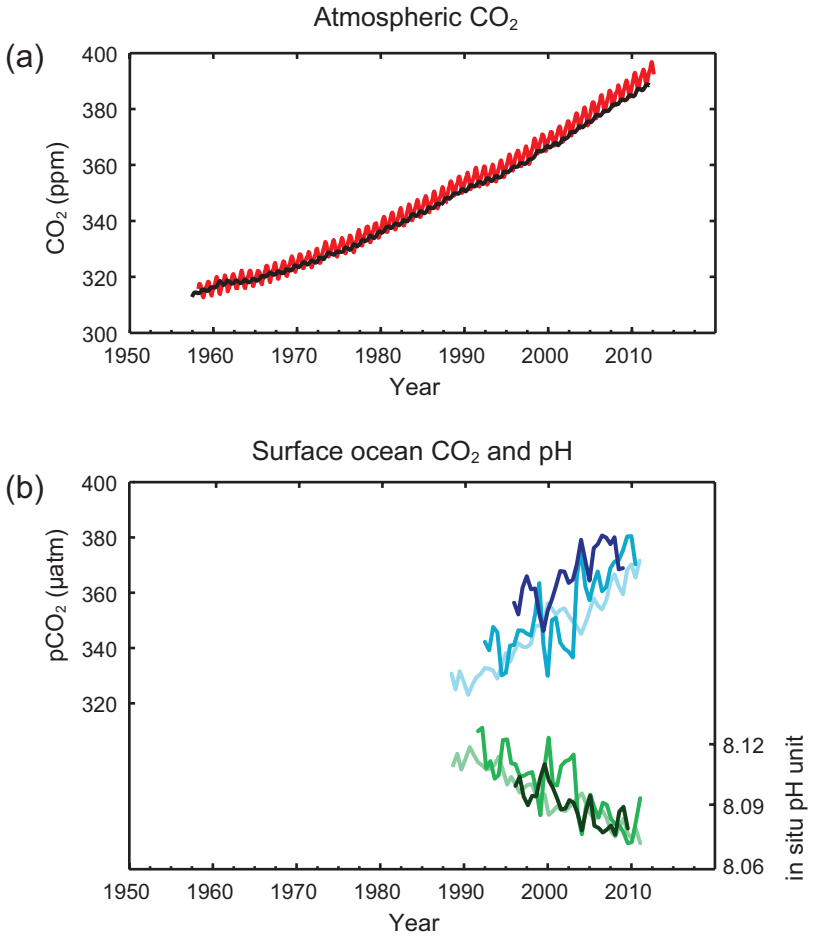

Figura SPM.4 | Indicatori multipli osservati del cambiamento del ciclo globale del carbonio: (a) concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica (CO_2) di Mauna Loa (19°32'N, 155°34'W - rosso) e del Polo Sud (89°59'S, 24°48'W - nero) dal 1958; (b) pressione parziale della CO_2 disciolta nell'oceano superficiale (curve blu) e pH in situ (curve verdi), una misura dell'acidità delle acque dell'oceano. Le misure provengono da tre stazioni nell'Atlantico (29°10'N, 15°30'W - blu scuro/verde scuro; 31°40'N, 64°10'W - blu/verde) e nel Pacifico (22°45'N, 158°00'W - blu chiaro/verde chiaro). I dettagli completi dei set di dati qui mostrati sono forniti nel sottostante rapporto e nei Materiali Supplementari del Riassunto Tecnico. {Figure 2.1 e 3.18; Figura TS.5}

[12] 1 Gigatonnellata di carbonio = 1 GtC = 10^{15} grammi di carbonio. Ciò corrisponde a 3,667 $GtCO_2$.

[13] Il pH è una misura dell'acidità che usa una scala logaritmica: una diminuzione del pH di 1 unità corrisponde a un incremento di 10 volte della concentrazione di ioni idrogeno, o acidità.

C. I *driver* del cambiamento climatico

Le sostanze e i processi naturali e antropogenici che alterano il bilancio energetico della Terra sono i driver del cambiamento climatico. Il forzante radiativo[14] (radiative forcing - RF) misura la variazione dei flussi di energia causata dai cambiamenti di questi driver nel 2011, rispetto al 1750, se non diversamente indicato. RF positivi portano a un riscaldamento della superficie terrestre, RF negativi portano invece a un suo raffreddamento. RF è stimato sulla base di osservazioni in-situ e a distanza, sulla base delle proprietà dei gas serra e degli aerosol, e sulla base di modelli numerici in grado di rappresentare i processi osservati. Alcuni dei composti emessi influenzano la concentrazione atmosferica di altre sostanze. RF può essere rapportato alle variazioni di concentrazione di ciascuna sostanza[15]. In alternativa, si può quantificare il forzante radiativo di un composto attraverso le emissioni, che forniscono un collegamento più diretto con le attività umane. Esso comprende i contributi di tutte le sostanze interessate da tale emissione. Il forzante radiativo antropogenico totale dei due approcci è identico quando si prendono in esame tutti i driver. Anche se in questa Sintesi per i Decisori Politici sono utilizzati entrambi gli approcci, maggiore enfasi è data ai forzanti radiativi basati sulle emissioni.

Il forzante radiativo totale è positivo, e ha portato a un assorbimento di energia da parte del sistema climatico. Il più grande contributo al forzante radiativo totale è dovuto a un aumento della concentrazione atmosferica di CO_2 dal 1750 (vedi Figura SPM.5). {3.2, Box 3.1, 8.3, 8.5}

- Il forzante radiativo totale antropogenico per il 2011 rispetto al 1750 è 2,29 [1,13-3,33] Wm^{-2} (vedi Figura SPM.5), ed è aumentato più rapidamente dal 1970 che nel corso dei decenni precedenti. La migliore stima del forzante radiativo totale antropogenico per il 2011 è del 43% più alta di quella riportata in AR4 per il 2005. Ciò è causato dalla combinazione della continua crescita delle concentrazioni della maggior parte dei gas serra, e dalle stime migliorate del forzante radiativo degli aerosol, indicanti un effetto netto di raffreddamento più debole (RF negativo). {8.5}

- Il forzante radiativo derivante dalle emissioni di gas serra ben miscelati (CO_2, CH_4, N_2O e alocarburi) per il 2011 rispetto al 1750 è 3,00 [2,22-3,78] Wm^{-2} (vedi Figura SPM.5). Il forzante radiativo risultante da variazioni della concentrazione di questi gas è 2,83 [2,26-3,40] Wm^{-2}. {8.5}

- Le emissioni di CO_2 da sole hanno causato un RF di 1,68 [1,33-2,03] Wm^{-2} (vedi Figura SPM.5). Includendo le emissioni di altri gas contenenti carbonio, causa a loro volta di un aumento delle concentrazioni di CO_2, il forzante radiativo della CO_2 è 1,82 [1,46-2,18] Wm^{-2}. {8.3, 8.5}

- Le emissioni di CH_4 da sole hanno causato un RF di 0,97 [0,74-1,20] Wm^{-2} (vedi Figura SPM.5). Questo valore è molto maggiore della stima basata sulla concentrazione, di 0,48 [0,38-0,58] Wm^{-2} (invariata rispetto ad AR4). Questa differenza nelle stime è causata da cambiamenti delle concentrazioni di ozono e vapor acqueo stratosferico per effetto delle emissioni di CH_4 e di altre emissioni che indirettamente influenzano il CH_4. {8.3, 8.5}

- Le emissioni degli alocarburi, responsabili della riduzione dello strato di ozono stratosferico, hanno causato un RF netto positivo di 0,18 [0,01-0,35] Wm^{-2} (vedi Figura SPM.5). Il loro forzante radiativo positivo ha maggior peso del forzante radiativo negativo derivante dall'esaurimento dell'ozono che essi stessi hanno indotto. Il forzante radiativo positivo derivante da tutti gli alocarburi è simile al valore presente in AR4, con un RF da cloro-fluoro carburi (CFC) ridotto, ma con aumenti da molti dei sostituti. {8.3, 8.5}

- Le emissioni dei gas "a vita breve" contribuiscono al forzante radiativo totale antropogenico. È *virtualmente certo* che le emissioni del monossido di carbonio (CO) abbiano determinato un forzante radiativo positivo, mentre è *probabile* che le emissioni degli ossidi di azoto (NO_x) abbiano indotto un forzante radiativo netto negativo (vedi Figura SPM.5). {8.3, 8.5}

---

[14] La forza dei *driver* è quantificata come Forzante Radiativo (*Radiative Forcing* - RF) in unità di watt per metro quadrato (Wm^{-2}) come nei precedenti rapporti di valutazione dell'IPCC. RF è una variazione del flusso di energia causato da un *driver*, ed è calcolato nella tropopausa o negli strati più alti dell'atmosfera. Nel concetto tradizionale di RF impiegato nei precedenti rapporti IPCC, tutta la superficie e le condizioni troposferiche sono mantenute fisse. In questo rapporto, nei calcoli dei forzanti radiativi da miscele di gas serra e aerosol, le variabili fisiche, fatta eccezione per oceano e ghiaccio marino, possono rispondere alle perturbazioni con aggiustamenti rapidi. Il forzante risultante è denominato nel presente rapporto Forzante Radiativo Effettivo (ERF - Effective Radiative Forcing). Questo cambiamento riflette i progressi scientifici raggiunti dai precedenti rapporti e risulta in una migliore indicazione di un'eventuale risposta della temperatura a questi *driver*. Per tutti i *driver* diversi dal mix di gas serra e dagli aerosol, gli aggiustamenti rapidi sono meno ben caratterizzati e si presume siano piccoli, per cui viene utilizzato un RF tradizionale. {8.1}

[15] Questo approccio è stato utilizzato per riportare il RF nella Sintesi per i Decisori Politici di AR4.

- Il forzante radiativo dell'effetto totale degli aerosol in atmosfera, che include anche le alterazioni delle nuvole causate dagli aerosol, è di -0,9 [da -1,9 a -0,1] Wm^{-2} (*confidenza media*), e deriva da un forzante negativo causato dalla maggior parte degli aerosol e da un contributo positivo derivante dall'assorbimento della radiazione solare da parte del *black carbon* (nerofumo). C'è *confidenza alta* che gli aerosol e le loro interazioni con le nuvole abbiano compensato una porzione sostanziale del forzante medio globale dal mix di gas serra. Essi continuano a contribuire alla maggior parte d'incertezza nella stima del forzante radiativo totale. {7.5, 8.3, 8.5}

- Il forzante dagli aerosol stratosferici dei vulcani può avere un grande impatto sul clima per alcuni anni dopo le eruzioni vulcaniche. Diverse piccole eruzioni hanno causato un forzante radiativo di -0,11 [da -0,15 a -0,08] Wm^{-2} per gli anni 2008-2011, che è approssimativamente due volte più grande di quello per gli anni 1999-2002. {8.4}

- Il forzante radiativo dovuto ai cambiamenti dell'irradianza solare è stimato di 0,05 [0,00-0,10] Wm^{-2} (vedi Figura SPM.5). Le osservazioni da satellite delle variazioni dell'irradianza solare totale dal 1978 al 2011 indicano che l'ultimo minimo solare era inferiore ai due precedenti. Questo porta a un RF di -0,04 [da -0,08 a 0,00] Wm^{-2} tra il minimo più recente del 2008 e il minimo del 1986. {8.4}

- Il forzante radiativo naturale totale dai cambiamenti dell'irradianza solare e dagli aerosol stratosferici dei vulcani ha dato solo un piccolo contributo al forzante radiativo netto nel corso del secolo scorso, eccetto che per brevi periodi dopo grandi eruzioni vulcaniche. {8.5}

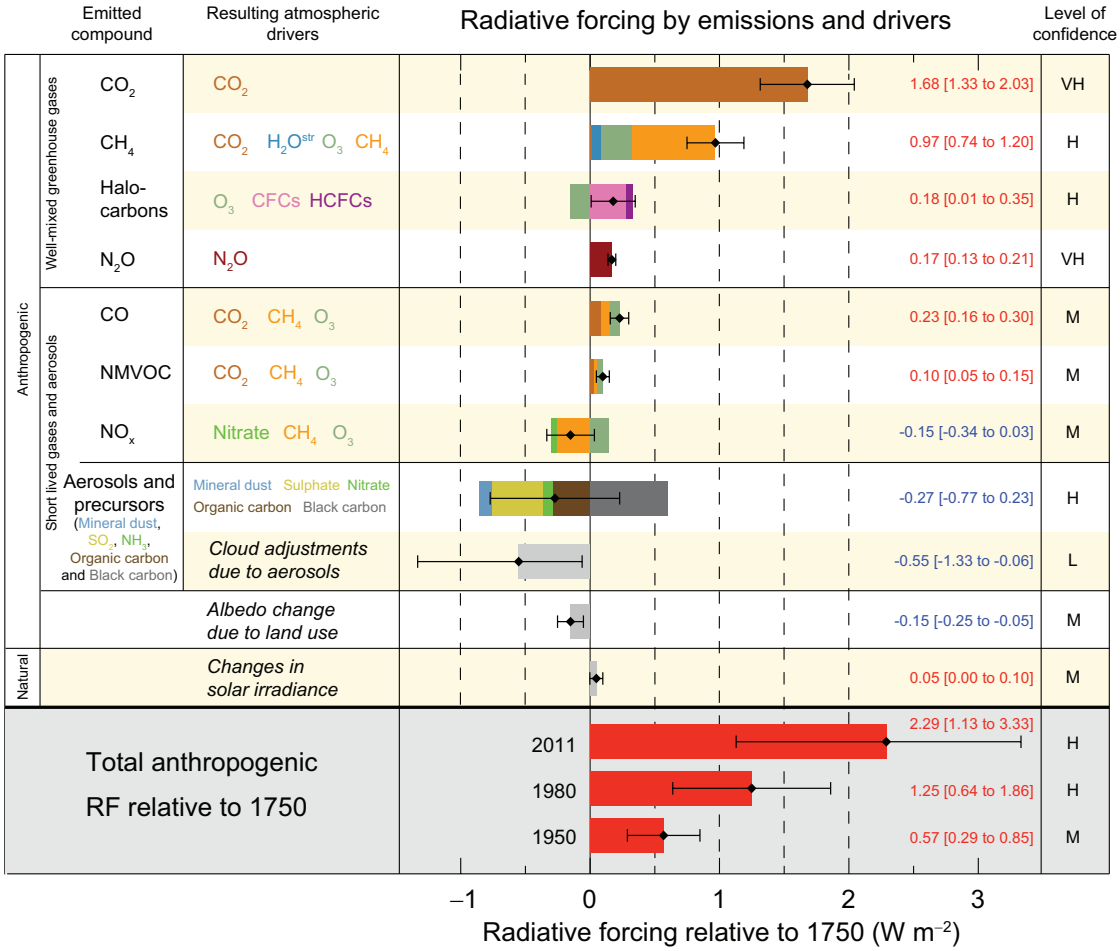

Figura SPM.5 | Stime del forzante radiativo nel 2011 rispetto al 1750 e incertezze aggregate per i principali *driver* di cambiamento climatico. I valori rappresentano il forzante radiativo medio globale (RF[14]), suddiviso sulla base dei composti emessi o dei processi che danno origine a una combinazione di *driver*. Le stime migliori del forzante radiativo netto sono mostrate come rombi neri insieme agli intervalli di incertezza corrispondenti; i valori numerici sono forniti sulla destra della figura, insieme al livello di confidenza del forzante netto (VH - *molto alto*, H - *alto*, M - *medio*, L - *basso*, VL - *molto basso*). Il forzante dell'albedo, dovuto al *black carbon* sulla neve e sul ghiaccio, è compreso nella barra degli aerosol del *black carbon*. Piccoli forzanti dovuti alle scie di condensazione (0,05 Wm^{-2}, considerando anche i cirri indotti dalle scie di condensazione), HFC, PFC e SF_6 (0,03 Wm^{-2} totali) non sono mostrati. Gli RF basati sulle concentrazioni per ciascun gas possono essere ottenuti sommando tutte le barre di uno stesso colore. Il forzante vulcanico non è incluso in quanto la sua natura episodica è difficile da confrontare con gli altri meccanismi di *forcing*. Il forzante radiativo antropogenico totale è fornito per tre diversi anni rispetto al 1750. Per ulteriori dettagli tecnici, inclusi gli intervalli di incertezza associati a singoli componenti e processi, consultare il Materiale Supplementare del Riassunto Tecnico. {8.5; Figure 8.14-8.18; Figure TS.6 e TS.7}

D. Comprensione del sistema climatico e dei suoi cambiamenti recenti

La comprensione dei recenti cambiamenti del sistema climatico derivano dalla combinazione di osservazioni, studi dei processi di feedback, e simulazioni dei modelli. La valutazione della capacità dei modelli climatici di simulare i cambiamenti recenti richiede l'analisi e la considerazione dello stato di tutte le componenti dei sistemi climatici modellati all'inizio della simulazione, e i forzanti naturali e antropogenici utilizzati per far girare i modelli. In confronto ad AR4, osservazioni più ampie e dettagliate e modelli climatici migliori consentono adesso l'attribuzione del contributo umano ai cambiamenti identificati per più componenti del sistema climatico.

L'influenza umana sul sistema climatico è chiara. Ciò è evidente dalle concentrazioni crescenti di gas serra in atmosfera, dal forzante radiativo positivo, dal riscaldamento osservato, e dalla comprensione del sistema climatico. {2-14}

D.1 Valutazione dei modelli climatici

I modelli climatici sono migliorati dai tempi di AR4. I modelli riproducono i pattern e i trend della temperatura superficiale su scala continentale nel corso di molte decadi, compresi il più rapido riscaldamento a partire dalla metà del XX secolo e il raffreddamento immediatamente successivo alle grandi eruzioni vulcaniche (*confidenza molto alta*). {9.4, 9.6, 9.8}

- Le simulazioni con modelli climatici a lungo-termine mostrano un trend della temperatura superficiale media globale nel periodo 1951-2012 che è in accordo con il trend osservato (*confidenza molto alta*). Esistono tuttavia delle differenze tra i trend delle simulazioni e quelli osservati per periodi più brevi, da 10 a 15 anni (per esempio, dal 1998 al 2012). {9.4, Box 9.2}
- La riduzione osservata nella tendenza al riscaldamento superficiale nel periodo 1998-2012 rispetto al periodo 1951-2012, è dovuta grosso modo in egual misura a una tendenza decrescente del forzante radiativo e a un contributo al raffreddamento della variabilità interna naturale, che comprende una possibile ridistribuzione del calore all'interno degli oceani (*confidenza media*). Il trend di riduzione del forzante radiativo è dovuto soprattutto alle eruzioni vulcaniche e alla tempistica della fase discendente del ciclo undecennale dell'attività solare. Tuttavia, c'è *confidenza bassa* nel quantificare il ruolo dei cambiamenti del forzante radiativo nel causare una tendenza alla riduzione del riscaldamento. C'è *confidenza media* che sia la variabilità interna naturale decennale a causare un sostanziale grado di differenza tra osservazioni e simulazioni; da queste ultime non ci si aspetta che riproducano la tempistica della variabilità interna naturale. Ci potrebbe essere anche un contributo da inadeguatezze nella valutazione del forzante e, in alcuni modelli, da una sovrastima della risposta alla crescita delle emissioni dei gas serra e ad altri forzanti antropogenici (dominati dagli effetti degli aerosol). {9.4, Box 9.2, 10.3, Box 10.2, 11.3}
- Su scala regionale, la confidenza nella capacità dei modelli di simulare la temperatura superficiale è minore di quella per le scale più grandi. Tuttavia, c'è *confidenza alta* che la simulazione della temperatura superficiale su scala regionale sia migliore di quella presentata ai tempi di AR4. {9.4, 9.6}
- C'è stato un sostanziale progresso nella valutazione degli eventi estremi e climatici rispetto ad AR4. Le tendenze medie globali delle simulazioni della frequenza di giorni e notti di caldo e freddo estremo nel corso della seconda metà del XX secolo sono generalmente in accordo con le osservazioni. {9.5}
- C'è stato un certo miglioramento nella simulazione su scala globale dei pattern di precipitazione rispetto al rapporto AR4. Invece, alle scale regionali le precipitazioni non sono simulate altrettanto bene e la loro valutazione è ostacolata da incertezze osservative. {9.4, 9.6}
- Alcuni importanti fenomeni climatici sono adesso riprodotti in modo migliore dai modelli. C'è *confidenza alta* che le statistiche dei monsoni e di El Niño-Oscillazione Meridionale (ENSO - *El Niño-Southern Oscillation*), basate su simulazioni multi-modello, siano migliorate rispetto ad AR4. {9.5}

- I modelli climatici adesso includono più processi legati a nuvole e aerosol, e alle loro interazioni, rispetto ai tempi di AR4, ma c'è sempre *confidenza bassa* nella rappresentazione e quantificazione di questi processi nei modelli. {7.3, 7.6, 9.4, 9.7}

- C'è forte evidenza che il trend di diminuzione dell'estensione del ghiaccio marino artico in estate dal 1979 sia adesso riprodotto da un maggior numero di modelli rispetto ai tempi di AR4, con circa un quarto dei modelli che mostrano un trend tanto grande, se non maggiore, del trend delle osservazioni. La maggior parte dei modelli simula una riduzione limitata per quanto riguarda l'estensione del ghiaccio marino antartico, sebbene con grandi oscillazioni tra i modelli, in contrasto con il modesto trend di crescita delle osservazioni.{9.4}

- Molti modelli riproducono i cambiamenti osservati nel contenuto di calore dell'oceano superficiale (0-700 m) per il periodo 1961-2005 (*confidenza alta*), con serie temporali medie multi-modello che ricadono entro l'intervallo delle stime basate sulle osservazioni disponibili per la maggior parte del periodo. {9.4}

- I modelli climatici che includono il ciclo del carbonio (Modelli del Sistema Terra - Earth System Models) simulano il pattern dei flussi di CO_2 tra oceano e atmosfera a livello globale, con un degassamento ai tropici e un assorbimento alle medie e alle alte latitudini. Nella maggioranza di questi modelli l'entità delle riserve di carbonio di Terra e oceano delle simulazioni, per la seconda metà del XX secolo, ricadono nell'intervallo delle stime osservative. {9.4}

D.2 Quantificazione delle risposte del sistema climatico

Gli studi basati su osservazioni e modelli sulle variazioni della temperatura, i processi di feedback climatici e le variazioni del bilancio energetico della Terra complessivamente forniscono confidenza nella grandezza del riscaldamento globale in risposta a forzanti passati e futuri.
{Box 12.2, Box 13.1}

- Il feedback netto dell'effetto combinato delle variazioni di vapor acqueo, e le differenze tra il riscaldamento atmosferico e la superficie terrestre è *estremamente probabile* che sia positivo, e che quindi amplifichi i cambiamenti del clima. Il feedback radiativo netto dovuto a tutti i diversi tipi di nuvole combinati fra loro è *probabile* che sia positivo. L'incertezza del segno e della grandezza del feedback delle nuvole è dovuto principalmente alla persistente incertezza sull'impatto del riscaldamento sulle nuvole basse. {7.2}

- La sensitività climatica (*climate sensitivity*) all'equilibrio misura la risposta del sistema climatico a un forzante radiativo costante su scale temporali di molti secoli. È definita come la variazione della temperatura superficiale media globale all'equilibrio, causata dal raddoppio della concentrazione di CO_2 in atmosfera. È *probabile* che la sensitività climatica all'equilibrio sia compresa nell'intervallo di 1,5°C - 4,5°C (*confidenza alta*), *estremamente improbabile* che sia inferiore a 1°C (*confidenza alta*), e *molto improbabile* che sia superiore ai 6°C (*confidenza media*)[16]. Il limite inferiore di temperatura dell'intervallo *probabile* stimato è pertanto minore dei 2°C di AR4, mentre il suo limite superiore resta invariato. Questa valutazione riflette una miglior comprensione, serie estese e ampliate di dati per le temperature di atmosfera e oceano, e le nuove stime del forzante radiativo. {TS TFE.6, Figura 1; Box 12.2}

- Il tasso e la grandezza del cambiamento climatico globale sono determinati dal forzante radiativo, dai feedback climatici, dallo stoccaggio e dall'accumulo di energia da parte del sistema climatico. Le stime di queste quantità per gli ultimi decenni sono in accordo con il *probabile* intervallo stimato per la sensitività climatica all'equilibrio entro il grado di incertezza valutato, e forniscono una forte evidenza per la nostra comprensione del cambiamento climatico antropogenico. {Box 12.2, Box 13.1}

- La risposta transiente del clima (TCR - Transient Climate Response) misura la risposta del sistema climatico a un aumento del forzante radiativo su scale temporali da decennali a secolari. È definita come il cambiamento della temperatura superficiale media globale nel momento in cui la concentrazione atmosferica di CO_2 risulta raddoppiata, in uno scenario di concentrazione crescente dell'1% all'anno. È *probabile* che la risposta transiente del clima sia compresa nell'intervallo 1°C - 2,5°C (*confidenza alta*) mentre è *estremamente improbabile* che superi i 3°C. {Box 12.2}

[16] Attualmente non può essere fornita nessuna stima migliore di sensitività climatica all'equilibrio a causa di una mancanza di accordo sui valori a livello delle linee di evidenza stimate e gli studi.

- Una misura correlata è la risposta transiente del clima alle emissioni cumulative di carbonio (TCRE - transient climate response to cumulative carbon emissions). Essa misura la risposta transiente del sistema climatico alle emissioni cumulative di carbonio (vedi Sezione E.8). TCRE è definita come la variazione della temperatura superficiale media globale per 1000 GtC emessi in atmosfera. È *probabile* che TCRE sia compresa nell'intervallo 0,8°C - 2,5°C per 1000 GtC e si applichi a emissioni cumulative fino a circa 2000 GtC fino al raggiungimento del picco delle temperature. (vedi Figura SPM.10). {12.5, Box 12.2}
- Diverse metriche possono essere usate per confrontare i contributi al cambiamento climatico delle emissioni delle diverse sostanze. La metrica e l'orizzonte temporale più appropriati dipenderanno da quali aspetti del cambiamento climatico saranno considerati più importanti per una particolare applicazione. Nessuna metrica presa singolarmente può confrontare con accuratezza tutte le conseguenze delle diverse emissioni, tutte presentano limitazioni e incertezze. Il potenziale di riscaldamento globale (GWP - Global Warming Potential) si basa sul forzante radiativo cumulativo su un particolare orizzonte temporale, mentre il Potenziale di Cambiamento della Temperatura Globale si basa sul cambiamento della temperatura superficiale media globale in un momento prescelto di tempo. I valori aggiornati sono forniti nel presente rapporto. {8.7}

D.3 Rilevamento e attribuzione dei cambiamenti climatici

L'influenza umana è stata rilevata nel riscaldamento dell'atmosfera e degli oceani, nelle variazioni del ciclo globale dell'acqua, nella riduzione delle coperture di neve e ghiaccio, nell'innalzamento a livello globale del livello medio del mare, e nei cambiamenti di alcuni estremi climatici (vedi Figura SPM.6 e Tabella SPM.1). L'evidenza dell'influenza umana è cresciuta da AR4. È *estremamente probabile* che l'influenza umana sia stata la causa dominante del riscaldamento osservato sin dalla metà del XX secolo.{10.3–10.6, 10.9}

- È *estremamente probabile* che più della metà dell'aumento della temperatura superficiale media globale osservato nel periodo 1951-2010 sia stato causato dall'aumento delle concentrazioni dei gas serra antropogenici, insieme ad altri forzanti di origine antropica. La miglior stima del contributo umano al riscaldamento è simile al riscaldamento osservato nel corso di questo periodo di riferimento. {10.3}
- È *probabile* che i gas serra abbiano contribuito al riscaldamento superficiale globale medio in un range di 0,5° C - 1,3°C nel periodo 1951-2010, con il contributo di altri forzanti antropogenici, compreso l'effetto di raffreddamento degli aerosol, che è *probabile* ricada nell'intervallo da -0,6°C a 0,1°C. È *probabile* che il contributo da forzanti naturali sia compreso nell'intervallo da -0,1°C a 0,1°C e che quello della variabilità interna naturale sia *probabilmente* compreso anch'esso nell'intervallo da -0,1°C a 0,1°C. Considerati nel loro complesso, questi contributi stimati sono coerenti con il riscaldamento osservato, approssimativamente tra 0,6°C e 0,7°C durante questo periodo. {10.3}
- In ogni regione continentale, eccetto l'Antartide, i forzanti antropogenici hanno apportato *probabilmente* un contributo sostanziale agli aumenti della temperatura superficiale, fin dalla metà del XX secolo. (vedi Figura SPM.6). Per l'Antartide, grandi incertezze nelle osservazioni portano a una *confidenza bassa* che i forzanti antropogenici abbiano contribuito al riscaldamento osservato, calcolato facendo la media sulle stazioni disponibili. È *probabile* che ci sia stato un contributo antropogenico al riscaldamento molto consistente dell'Artico dalla metà del XX secolo. {2.4, 10.3}
- È *molto probabile* che l'influenza antropogenica, in modo particolare i gas serra e l'esaurimento dell'ozono stratosferico, abbia portato a un rilevabile pattern osservato di riscaldamento troposferico e a un corrispondente raffreddamento nella stratosfera bassa, dal 1961. {2.4, 9.4, 10.3}
- È *molto probabile* che i forzanti antropogenici abbiano dato un contributo sostanziale all'aumento del contenuto di calore dell'oceano superficiale (0-700 m) a livello globale, osservato dagli anni '70 (vedi Figura SPM.6). Ci sono evidenze dell'influenza umana per alcuni bacini oceanici peculiari. {3.2, 10.4}
- È *probabile* che le influenze antropogeniche abbiano interessato il ciclo globale dell'acqua dal 1960. Le influenze antropogeniche hanno contribuito all'aumento osservato del contenuto di umidità atmosferica (*confidenza media*), alle variazioni su scala globale dei pattern delle precipitazioni sulla superficie terrestre (*confidenza media*), all'intensificarsi degli eventi di forte precipitazione sulle regioni terrestri, laddove i dati sono sufficienti (*confidenza media*), e ai cambiamenti della salinità dell'oceano superficiale e sub-superficiale (*molto probabile*). {2.5, 2.6, 3.3, 7.6, 10.3, 10.4}

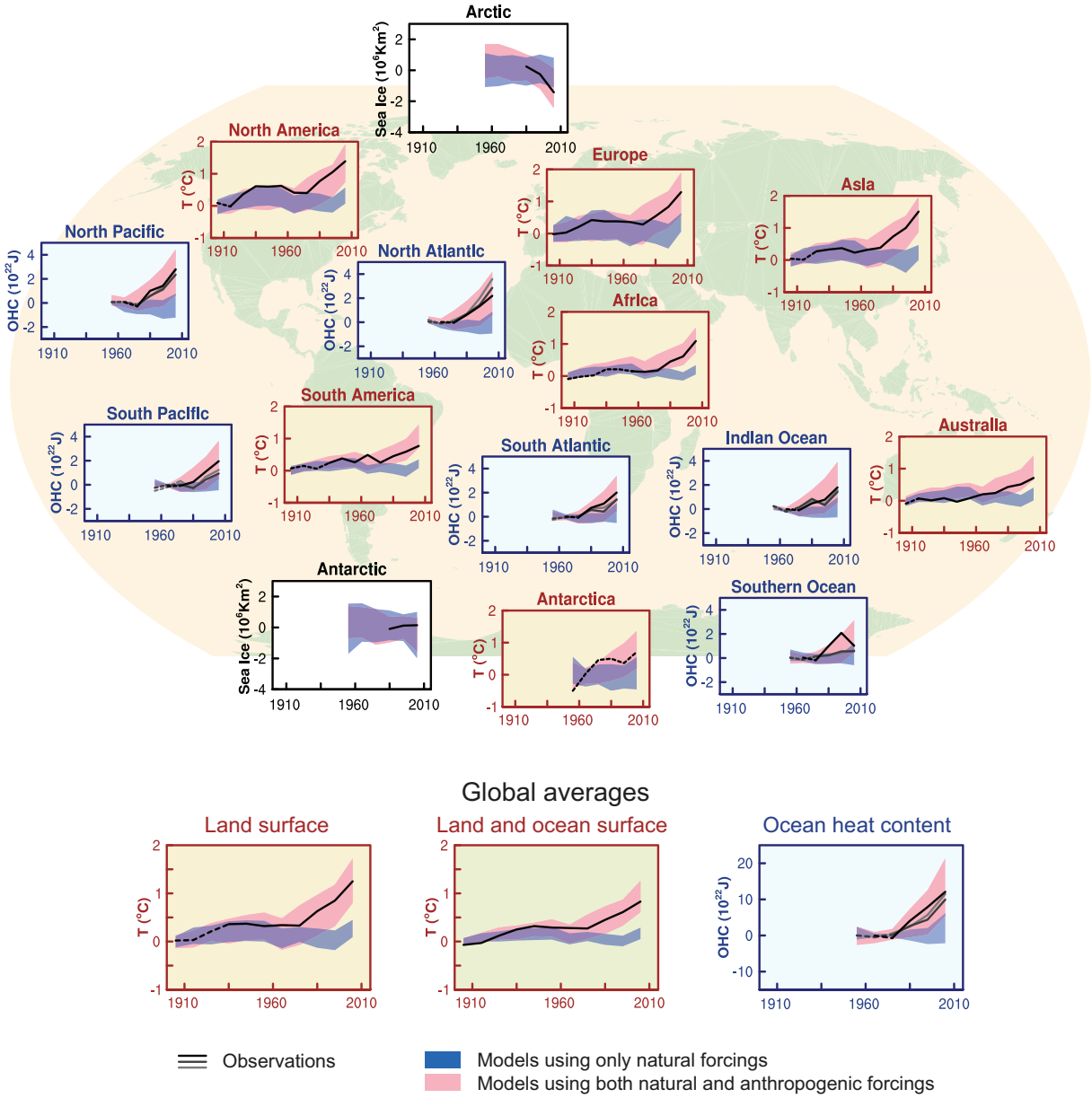

Figura SPM.6 | Confronto tra il cambiamento climatico osservato e simulato, sulla base di tre indicatori su larga scala, in atmosfera, criosfera e oceano: il cambiamento della temperatura dell'aria sulla superficie continentale terrestre (pannelli gialli), l'estensione del ghiaccio marino artico e antartico in settembre (pannelli bianchi), e il contenuto di calore dell'oceano superficiale, nei principali bacini oceanici (pannelli blu). Sono inoltre forniti i cambiamenti globali medi. Sono fornite le anomalie per le temperature superficiali relative al periodo 1880-1919, per il contenuto di calore dell'oceano nel periodo 1960-1980 e per il ghiaccio marino nel periodo 1979-1999. Tutte le serie temporali sono medie decennali, plottate al centro della decade. Per i pannelli della temperatura, le osservazioni sono linee tratteggiate se la copertura spaziale delle aree in esame è al di sotto del 50%. Per i pannelli del contenuto di calore dell'oceano e del ghiaccio marino è utilizzata la linea continua dove la copertura dei dati è buona e di qualità più alta, la linea tratteggiata dove la copertura dei dati è soltanto sufficiente e, pertanto, l'incertezza è maggiore. I risultati mostrati si riferiscono all'intervallo dei valori espressi dall'insieme dei modelli CMIP5, dove le bande ombreggiate indicano gli intervalli di confidenza dal 5% al 95%. Per ulteriori dettagli tecnici, inclusa la definizione delle varie zone, consultare il Materiale Supplementare del Riassunto Tecnico. {Figure 10.21; Figure TS.12}

- Dai tempi di SREX, c'è stato un ulteriore rafforzamento della prova dell'influenza umana sulle temperature estreme. È attualmente *molto probabile* che l'influenza umana abbia contribuito alle variazioni osservate su scala globale nella frequenza e nell'intensità delle temperature estreme giornaliere sin dalla metà del XX secolo, ed è *probabile* che l'influenza umana abbia più che raddoppiato la probabilità del verificarsi di ondate di calore in alcuni luoghi. (vedi Tabella SPM.1). {10.6}

- Le influenze antropogeniche hanno *molto probabilmente* contribuito alla perdita di ghiaccio marino artico dal 1979. C'è *confidenza bassa* nella comprensione scientifica del modesto aumento osservato dell'estensione del ghiaccio marino dell'Antartide a causa di spiegazioni scientifiche incomplete e contrastanti sulle cause del cambiamento e *confidenza bassa* per le stime della variabilità interna naturale in quella regione (vedi Figura SPM.6). {10.5}

- Le influenze antropogeniche hanno *probabilmente* contribuito al ritirarsi dei ghiacciai sin dagli anni '60 e all'aumento della perdita di massa superficiale della calotta glaciale della Groenlandia dal 1933. A causa di un basso livello di comprensione scientifica, c'è *confidenza bassa* nell'attribuire le cause della perdita di massa dalla calotta glaciale dell'Antartide osservata nel corso degli ultimi due decenni. {4.3, 10.5}

- È *probabile* che ci sia stato un contributo antropogenico nelle riduzioni osservate nella copertura nevosa primaverile nell'emisfero settentrionale dal 1970. {10.5}

- È *molto probabile* che ci sia un sostanziale contributo antropogenico nell'innalzamento medio globale del livello del mare dagli anni '70. Quest'affermazione si basa sulla *confidenza alta* dell'influenza umana su due dei maggiori fattori che concorrono all'innalzamento del livello del mare, cioè l'espansione termica e la perdita di massa dei ghiacciai. {10.4, 10.5, 13.3}

- C'è *confidenza alta* che i cambiamenti dell'irradianza solare totale non abbiano contribuito all'aumento della temperatura superficiale media globale nel periodo 1986-2008, sulla base di misurazioni dirette satellitari dell'irradianza solare totale. C'è *confidenza media* che il ciclo di 11 anni della variabilità solare influenzi le fluttuazioni climatiche decennali in alcune regioni. Nessuna robusta associazione è stata individuata tra i cambiamenti dei raggi cosmici e la nuvolosità. {7.4, 10.3, Box 10.2}

E. Il futuro cambiamento climatico globale e regionale

Le proiezioni dei cambiamenti del sistema climatico sono realizzate utilizzando una gerarchia di modelli climatici che spaziano da modelli climatici semplici, a modelli di complessità intermedia, o più alta, a Modelli del Sistema Terra. Questi modelli simulano i cambiamenti sulla base di una serie di scenari di forzanti antropogenici. Un nuovo set di scenari, i Representative Concentration Pathways (RCP), è stato utilizzato per le nuove simulazioni del modello climatico realizzate nell'ambito del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) del Programma mondiale di ricerca sul clima (World Climate Research Programme). In tutti gli scenari RCP, le concentrazioni atmosferiche di CO_2 sono più alte nel 2100 rispetto ai livelli attuali per effetto di un ulteriore aumento delle emissioni cumulative di CO_2 in atmosfera nel corso del XXI secolo (vedi Box SPM.1). Le proiezioni di questa Sintesi per i Decisori Politici riguardano la fine del XXI secolo (2081-2100) rispetto al periodo 1986-2005, se non diversamente indicato. Per inserire tali proiezioni in un contesto storico, è necessario considerare i cambiamenti osservati tra diversi periodi. Basato sul più esteso set di dati delle temperature superficiali globali disponibile, il cambiamento osservato tra la media del periodo 1850-1900 e il periodo di riferimento di AR5 è pari a 0,61 [0,55-0,67]°C. Tuttavia, il riscaldamento si è verificato oltre la media del periodo di riferimento di AR5. Pertanto non si tratta di una stima del riscaldamento storico ad oggi. (vedi Capitolo 2).

Le continue emissioni di gas serra causeranno un ulteriore riscaldamento e cambiamenti in tutte le componenti del sistema climatico. Limitare il cambiamento climatico richiederà una riduzione sostanziale e prolungata nel tempo delle emissioni di gas serra. {6, 11–14}

- Le proiezioni per i prossimi decenni mostrano pattern spaziali di cambiamento climatico simili a quelli previsti per l'ultima parte del XXI secolo, ma di ordine di grandezza minore. La variabilità interna naturale continuerà ad avere una grande influenza sul clima, in particolare nel breve termine e su scala regionale. Dalla metà del XXI secolo l'entità dei cambiamenti previsti è sostanzialmente influenzata dalla scelta dello scenario di emissione (Box SPM.1). {11.3, Box 11.1, Allegato (Annex) I}

- Il cambiamento climatico previsto sulla base degli scenari RCP è simile a quello previsto dal rapporto AR4 per schema e ordine di grandezza, tenendo conto delle differenze negli scenari usati. L'oscillazione complessiva delle proiezioni per gli scenari alti RCP è più esigua di quella degli scenari equivalenti utilizzati in AR4, perché in contrasto con gli scenari di emissione SRES impiegati in AR4, gli scenari RCP utilizzati in AR5 sono definiti come percorsi di concentrazione e pertanto le incertezze del ciclo del carbonio che influenzano le concentrazioni di CO_2 atmosferica non sono prese in considerazione nelle simulazioni forzate da concentrazioni CMIP5. Le proiezioni dell'innalzamento del livello del mare sono più ampie ed esaustive di quelle di AR4, in primo luogo grazie al miglioramento della modellistica dei contributi terra-ghiaccio. {11.3, 12.3, 12.4, 13.4, 13.5}

E.1 Atmosfera: temperatura

È *probabile* che il cambiamento della temperatura superficiale globale per la fine del XXI secolo superi il 1,5°C, rispetto al periodo 1850-1900, secondo tutti gli scenari RCP, eccetto RCP2.6. È *probabile* che superi 2°C per RCP6.0 e RCP8.5, e *tanto probabile quanto no* che superi 2°C per RCP4.5. Il riscaldamento continuerà oltre il 2100 secondo tutti gli scenari RCP, eccetto RCP2.6. Il riscaldamento continuerà a mostrare una variabilità da interannuale a decennale e non sarà uniforme a livello regionale (vedi Figure SPM.7 e SPM.8). {11.3, 12.3, 12.4, 14.8}

- La differenza in temperatura superficiale media globale per il periodo 2016-2035 rispetto al periodo 1986-2005 sarà *probabilmente* nell'intervallo da 0,3°C a 0,7°C (*confidenza media*). Questa valutazione si basa su linee multiple di evidenza e assume che non si verificheranno eruzioni vulcaniche importanti o cambiamenti secolari nell'irradianza solare totale. Per quanto riguarda la variabilità interna naturale, gli aumenti a breve termine delle temperature stagionali e annuali medie dovrebbero essere maggiori ai tropici e nelle zone sub-tropicali che alle medie latitudini (*confidenza alta*). {11.3}

- Si stima che l'aumento delle temperature superficiali medie globali per il periodo 2081-2100, rispetto al periodo 1986-2005, sia compreso *probabilmente* negli intervalli ricavati dalle simulazioni forzate da concentrazioni del modello CMIP5, vale a dire, da 0,3°C a 1,7°C (RCP2.6), da 1,1°C a 2,6°C (RCP4.5), da 1,4°C a 3,1°C (RCP6.0), da 2,6°C a 4,8°C (RCP8.5). L'Artico si riscalderà più rapidamente della media globale, e il riscaldamento medio sulla superficie terrestre sarà maggiore che sopra gli oceani (*confidenza molto alta*) (vedi Figure SPM.7 e SPM.8, e Tabella SPM.2). {12.4, 14.8}

- Per quanto riguarda la media del periodo 1850-1900, si stima che il cambiamento della temperatura superficiale globale entro la fine del XXI secolo sarà superiore a 1,5°C per RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5 (*confidenza alta*). È *probabile* che il riscaldamento superi i 2°C per RCP6.0 e RCP8.5 (*confidenza alta*), *molto probabile* che *non* superi i 2°C per RCP4.5 (*confidenza alta*), ma *improbabile* che superi i 2°C per RCP2.6 (*confidenza media*). È *improbabile* che il riscaldamento superi i 4°C per RCP2.6, RCP4.5, e RCP6.0 (*confidenza alta*), ed è *tanto probabile quanto improbabile* che superi i 4°C per RCP8.5 (*confidenza media*). {12.4}

- È *virtualmente certo* che saranno più frequenti estremi caldi di temperatura e meno frequenti estremi freddi di temperatura sulla maggior parte delle terre emerse su scale temporali giornaliere e stagionali, all'aumentare delle temperature medie globali. È *molto probabile* che le ondate di calore si verificheranno con una frequenza e una durata maggiore. Continueranno a verificarsi occasionali eventi estremi di freddo in inverno (vedi Tabella SPM.1). {12.4}

E.2 Atmosfera: ciclo dell'acqua

I cambiamenti del ciclo globale dell'acqua in risposta al riscaldamento nel corso del XXI secolo non saranno uniformi. Il contrasto e le differenze nelle precipitazioni tra le regioni umide e secche, e tra le stagioni umide e secche, aumenterà, anche se potrebbero verificarsi delle eccezioni a livello regionale (vedi Figura SPM.8). {12.4, 14.3}

- I cambiamenti stimati del ciclo dell'acqua nel corso dei prossimi decenni mostrano pattern su larga scala simili a quelli verso la fine del secolo, ma con un ordine di grandezza inferiore. I cambiamenti a breve termine e su scala regionale saranno fortemente influenzati dalla variabilità interna naturale e potrebbero essere interessati dalle emissioni di aerosol antropogeniche. {11.3}

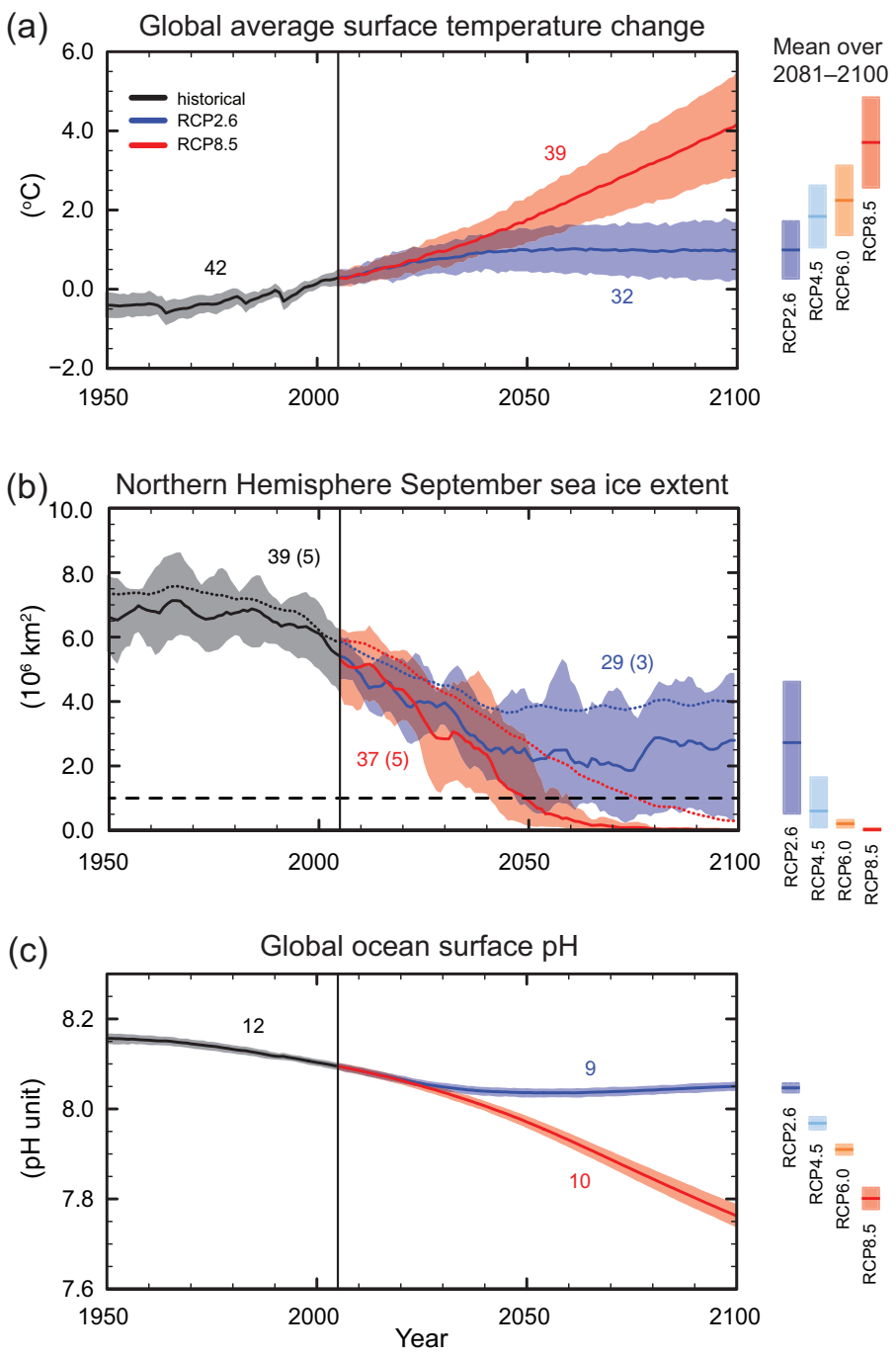

Figura SPM.7 | Serie temporali delle medie multi-modello CMIP5 per il periodo 1950-2100 simulate per (a) cambiamento della temperatura superficiale media annuale a livello globale, rispetto al periodo 1986-2005, (b) estensione del ghiaccio marino dell'emisfero settentrionale a settembre (media mobile per 5 anni), (c) pH medio globale dell'oceano superficiale. Le proiezioni delle serie temporali e una misura di incertezza (ombreggiatura) sono illustrate per gli scenari RCP2.6 (blu) e RCP8.5 (rosso). In nero (con ombreggiatura grigia) è rappresentata l'evoluzione storica modellata utilizzando le ricostruzioni storiche dei forzanti. Le medie e le incertezze medie associate, per il periodo 2081-2100, sono fornite per tutti gli scenari RCP come barre verticali colorate. Sono indicati i numeri dei modelli CMIP5 utilizzati per calcolare la media multi-modello. Per l'estensione del ghiaccio marino sono indicati (b), la media prevista e l'incertezza (intervallo minimo-massimo) del sottoinsieme di modelli che riproducono con maggior fedeltà lo stato medio climatologico e l'andamento del ghiaccio marino artico per il periodo 1979-2012 (il numero dei modelli è indicato tra parentesi). Per completezza, la media multi-modello CMIP5 è inoltre indicata con linee a puntini. La linea tratteggiata rappresenta le condizioni di quasi assenza di ghiaccio (vale a dire, quando l'estensione del ghiaccio marino è inferiore ai 10 milioni di Km^2 per almeno 5 anni consecutivi). Per ulteriori dettagli tecnici, consultare il Materiale Supplementare del Riassunto Tecnico {Figure 6.28, 12.5, e 12.28–12.31; Figure TS.15, TS.17, e TS.20}

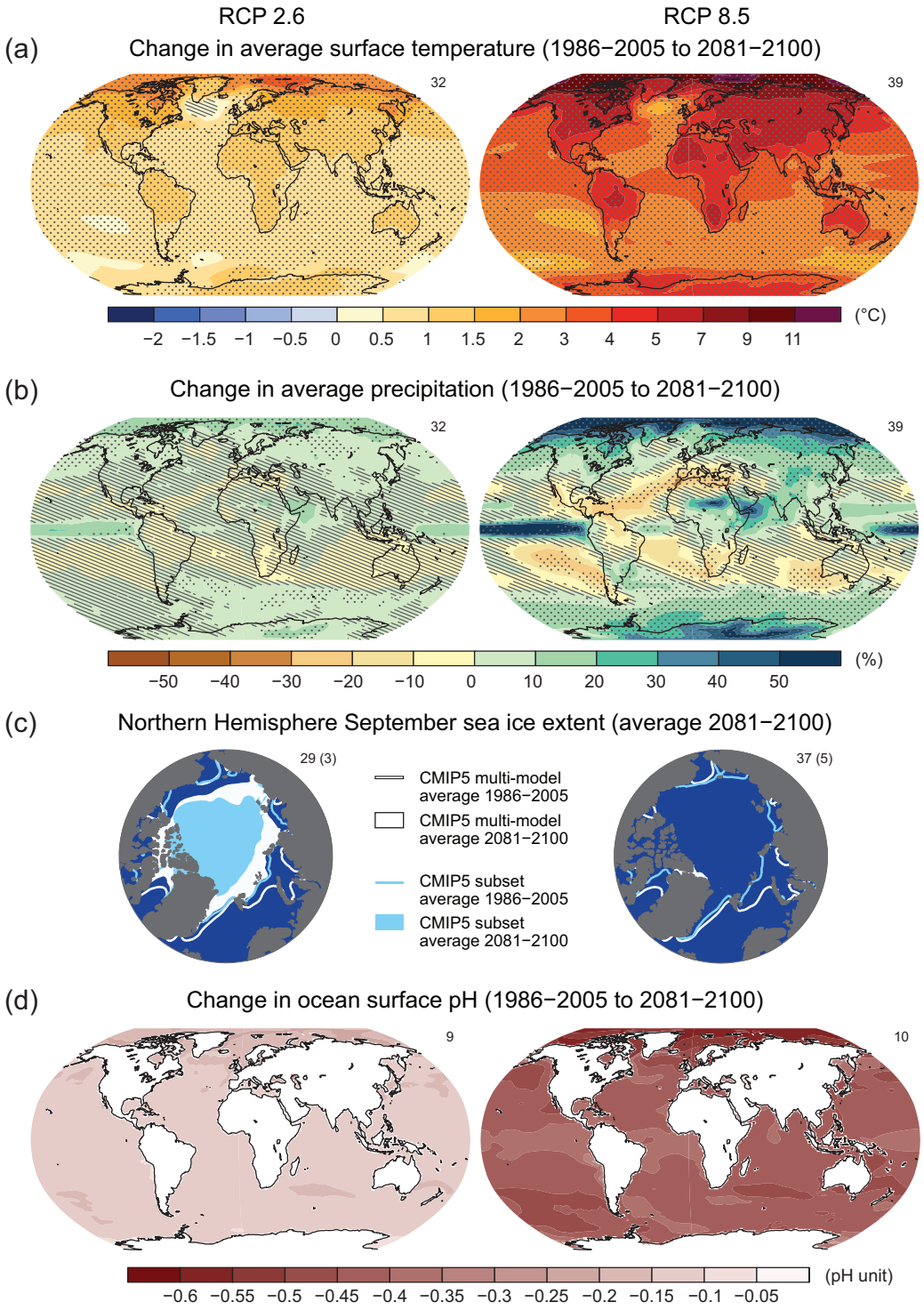

Figura SPM.8 | Mappe dei risultati delle medie multi-modello CMIP5 per gli scenari RCP2.6 e RCP8.5 per il periodo 2081 -2100 di (a) variazione della temperatura superficiale media annuale, (b) variazione media percentuale delle precipitazioni medie annuali, (c) estensione del ghiaccio marino dell'emisfero settentrionale a settembre e (d) variazioni di pH dell'oceano superficiale. Nei pannelli (a), (b) e (d) sono mostrati i cambiamenti rispetto al periodo 1986-2005. Il numero di modelli CMIP5 utilizzati per calcolare la media multi-modello è indicato nell'angolo superiore destro di ciascun pannello. Per i pannelli (a) e (b), il tratteggio indica le regioni dove la media multi-modello è piccola in confronto alla variabilità interna naturale (cioè, meno di una deviazione standard della variabilità interna naturale in una media di 20 anni). Le aree punteggiate indicano le regioni in cui la media multi-modello è grande in confronto alla variabilità interna naturale (vale a dire, maggiore di due deviazioni standard rispetto alla variabilità interna naturale in una media di 20 anni) e dove almeno il 90% dei modelli concorda sul segno del cambiamento (vedi Box 12.1). Nel pannello (c), le linee rappresentano le medie modellate per il periodo 1986-2005; le aree piene rappresentano la fine del secolo. La media multi-modello CMIP5 è data in colore bianco, la media prevista dell'estensione del ghiaccio marino per un sottoinsieme di modelli (il numero di modelli è indicato tra parentesi), che riproducono più da vicino lo stato climatologico medio e il trend per il periodo 1979-2012 dell'estensione del ghiaccio marino artico, è data di colore blu chiaro. Per ulteriori dettagli tecnici consultare il Materiale Supplementare del Riassunto Tecnico. {Figure 6.28, 12.11, 12.22 e 12.29; Figure TS.15, TS.16, TS.17 e TS.20}

- È *probabile* che le regioni alle alte latitudini e l'Oceano Pacifico equatoriale sperimenteranno un aumento delle precipitazioni medie annuali per la fine di questo secolo, secondo lo scenario RCP8.5. In molte regioni secche alle medie latitudini e dell'area sub-tropicale, le precipitazioni medie *probabilmente* diminuiranno, mentre in molte regioni umide alle medie latitudini, le precipitazioni medie *probabilmente* aumenteranno per la fine di questo secolo, secondo lo scenario RCP8.5 (vedi Figura SPM.8). {7.6, 12.4, 14.3}
- Sulla maggior parte delle aree terrestri alle medie latitudini e delle regioni umide tropicali, gli eventi estremi di precipitazione saranno *molto probabilmente* più intensi e più frequenti entro la fine di questo secolo, all'aumentare della temperatura superficiale media globale (vedi Tabella SPM.1). {7.6, 12.4}}
- A livello globale, è *probabile* che l'area interessata dal sistema dei monsoni aumenti nel corso del XXI secolo. Mentre è *probabile* che i venti monsonici si indeboliscano, le precipitazioni monsoniche *probabilmente* si intensificheranno per effetto dell'aumento dell'umidità atmosferica. È *probabile* che le date di inizio dei monsoni arrivino in anticipo o che non cambino molto. Le date di fine dei monsoni *probabilmente* posticiperanno, causando un'estensione della stagione monsonica in molte regioni. {14.2}
- C'è *confidenza alta* che El Niño-Oscillazione Meridionale (ENSO) rimanga il modo dominante di variabilità interannuale del Pacifico tropicale, con effetti a livello globale entro la fine del XXI secolo. Per un aumento della disponibilità di umidità, la variabilità su scala regionale delle precipitazioni influenzate da ENSO *probabilmente* si intensificherà. Le oscillazioni naturali dell'ampiezza e del pattern spaziale di ENSO sono grandi, pertanto la *confidenza* in qualsiasi cambiamento specifico previsto per ENSO e i fenomeni regionali a esso correlati nel XXI secolo rimane *bassa*. {5.4, 14.4}

Tabella SPM.2 | La variazione prevista della temperatura superficiale media globale dell'aria e l'innalzamento del livello medio globale del mare per la metà e la fine del XXI secolo rispetto al periodo di riferimento 1986-2005. {12.4; Tabella 12.2, Tabella 13.5}

		2046–2065		2081–2100	
	Scenario	**Media**	**Intervallo *probabile*[c]**	**Media**	**Intervallo *probabile*[c]**
Variazione della temperatura superficiale media globale (°C)[a]	RCP2.6	1.0	da 0.4 a 1.6	1.0	da 0.3 a 1.7
	RCP4.5	1.4	da 0.9 a 2.0	1.8	da 1.1 a 2.6
	RCP6.0	1.3	da 0.8 a 1.8	2.2	da 1.4 a 3.1
	RCP8.5	2.0	da 1.4 a 2.6	3.7	da 2.6 a 4.8
	Scenario	**Media**	**Intervallo *probabile*[d]**	**Media**	**Intervallo *probabile*[d]**
Innalzamento del livello medio globale del mare (m)[b]	RCP2.6	0.24	da 0.17 a 0.32	0.40	da 0.26 a 0.55
	RCP4.5	0.26	da 0.19 a 0.33	0.47	da 0.32 a 0.63
	RCP6.0	0.25	da 0.18 a 0.32	0.48	da 0.33 a 0.63
	RCP8.5	0.30	da 0.22 a 0.38	0.63	da 0.45 a 0.82

Note:

[a] Sulla base dell'insieme dei modelli CMIP5; anomalie calcolate rispetto al periodo 1986-2005. Utilizzando HadCRUT4 e la sua stima dell'incertezza (intervallo di confidenza del 5-95%), il riscaldamento osservato per il periodo di riferimento 1986-2005 è 0,61 [0,55-0,67] °C rispetto al 1850-1900, e 0,11 [0,09-0,13] °C rispetto al 1980-1999, il periodo di riferimento utilizzato per le proiezioni in AR4. Gli intervalli *probabili* non sono stati qui valutati rispetto a periodi di riferimento precedenti dal momento che non sono generalmente disponibili in letteratura i metodi per combinare le incertezze dei modelli e delle osservazioni. La somma dei cambiamenti previsti e osservati non tiene conto dei potenziali effetti di bias del modello rispetto alle osservazioni, né della variabilità interna naturale, nel corso del periodo di osservazione di riferimento. {2.4; 11.2; Tabelle 12.2 e 12.3}

[b] Sulla base dell'insieme dei modelli CMIP5; anomalie calcolate rispetto al periodo 1986-2005. Dove i risultati di CMIP5 non erano disponibili per un particolare modello e scenario AOGCM (Atmosphere-Ocean Global Circulation Model), sono stati stimati come spiegato nel Capitolo 13, Tabella 13.5. I contributi del rapido cambiamento dinamico delle calotte glaciali e dell'accumulo antropogenico di acque terrestri sono trattati come se avessero distribuzioni di probabilità uniformi, e come in gran parte indipendenti dallo scenario considerato. Questo trattamento non implica che i contributi in questione non dipendano dallo scenario seguito, ma solo che lo stato attuale delle conoscenze non permette una valutazione quantitativa di tale dipendenza. Sulla base delle attuali conoscenze, solo il collasso dei settori marini della calotta glaciale antartica potrebbe causare un innalzamento del livello medio globale del mare significativamente al di sopra dell'intervallo *probabile* nel corso del XXI secolo. C'è *confidenza media* che questo contributo aggiuntivo non debba essere superiore ad alcuni decimetri di innalzamento del livello del mare nel corso del XXI secolo.

[c] Calcolato dalle proiezioni come intervalli 5-95% del modello. Questi sono stati quindi valutati essere gli intervalli *probabili* dopo aver tenuto conto delle incertezze aggiuntive o dei diversi livelli di confidenza dei modelli. Per le proiezioni della variazione della temperatura superficiale media globale nel periodo 2046-2065 la *confidenza* è *media*, dal momento che l'importanza relativa della variabilità interna naturale, e l'incertezza del forzante dei gas non a effetto serra, e la sua risposta relativa, sono maggiori che per il periodo 2081-2100. Gli intervalli *probabili* per il periodo 2046-2065 non tengono in considerazione la possibile influenza dei fattori che portano all'intervallo a breve termine (2016-2035) stimato per la variazione della temperatura superficiale media globale, che è più basso dell'intervallo del 5-95% del modello, dal momento che l'influenza di questi fattori sulle proiezioni a lungo termine non è stata quantificata per insufficiente comprensione scientifica. {11.3}

[d] Calcolato dalle proiezioni come intervalli 5-95% del modello. Questi sono stati quindi valutati essere gli intervalli *probabili* dopo aver tenuto conto delle incertezze aggiuntive o dei diversi livelli di confidenza dei modelli. Per le proiezioni dell'innalzamento del livello medio globale del mare la *confidenza* è *media* per entrambi gli orizzonti temporali.

E.3 Atmosfera: qualità dell'aria

- Il range di proiezioni della qualità dell'aria (ozono e PM2.5[17] nell'aria in prossimità della superficie) dipende principalmente dalle emissioni (CH_4 incluso), piuttosto che da un cambiamento fisico del clima (*confidenza media*). C'è *confidenza alta* che, a livello globale, il riscaldamento riduca lo strato di ozono superficiale. Alti livelli di CH_4 (come nello scenario RCP8.5) possono compensare questa diminuzione, aumentando lo strato di ozono superficiale entro l'anno 2100 in media di circa 8 ppb (pari al 25% dei livelli attuali) rispetto a scenari con piccole variazioni di CH_4 (come per gli scenari RCP4.5 e RCP6.0) (*confidenza alta*). {11.3}

- I risultati di osservazioni e modelli indicano che, considerando tutto il resto invariato, a livello locale le temperature superficiali più alte delle regioni inquinate innescheranno meccanismi di feedback a livello regionale nella chimica e nelle emissioni locali che aumenteranno i livelli di picco di ozono e PM2.5 (*confidenza media*). Per quanto concerne il PM2.5, il cambiamento climatico potrebbe alterare le fonti di aerosol naturali in aggiunta alla loro rimozione per azione delle precipitazioni, ma nessun livello di confidenza è associato all'impatto complessivo del cambiamento climatico sulle distribuzioni di PM2.5. {11.3}

E.4 Oceani

A livello globale, l'oceano continuerà a riscaldarsi nel corso del XXI secolo. Il calore penetrerà dalla superficie fin nell'oceano profondo e influenzerà la circolazione oceanica. {11.3, 12.4}

- Il più forte riscaldamento degli oceani è previsto per l'oceano superficiale nelle regioni tropicali e sub-tropicali dell'emisfero settentrionale. A maggiore profondità il riscaldamento sarà più pronunciato nell'Oceano Meridionale o Antartico (*confidenza alta*). Entro la fine del XXI secolo, le migliori stime del riscaldamento dell'oceano nei primi 100 metri vanno da circa 0,6°C (RCP2.6) ai 2°C (RCP8.5), da circa 0,3°C (RCP2.6), fino a 0,6° C (RCP8.5) a una profondità di circa 1000 metri. {12.4, 14.3}
- È *molto probabile* che la circolazione termoalina nell'Atlantico si attenuerà nel corso del XXI secolo. Le migliori stime e intervalli[18] della sua riduzione sono 11% (da 1% a 24%) in RCP2.6, e 34% (da 12% a 54%) in RCP8.5. È *probabile* che si verifichi un qualche indebolimento di AMOC entro il 2050 circa, ma ci potrebbero essere alcuni decenni in cui AMOC potrebbe aumentare per effetto della grande variabilità interna naturale. {11.3, 12.4}
- Sulla base degli scenari considerati, è *molto improbabile* che nel XXI secolo AMOC vada incontro a una transizione improvvisa e repentina, o perfino a un collasso. C'è *confidenza bassa* nel valutare l'evoluzione di AMOC oltre il XXI secolo, a causa del numero limitato di analisi e dei risultati incerti. Tuttavia, un collasso dopo il XXI secolo, per effetto di un riscaldamento intenso e prolungato, non può essere escluso. {12.5}

E.5 Criosfera

È *molto probabile* che la copertura di ghiaccio marino artico continui a ridursi e ad assottigliarsi, e che la copertura nevosa in primavera dell'emisfero settentrionale diminuisca nel corso del XXI secolo, all'aumentare della temperatura superficiale media globale. Il volume globale dei ghiacciai diminuirà ulteriormente. {12.4, 13.4}

- Sulla base di medie multi-modello, si prevedono durante tutto l'anno riduzioni dell'estensione del ghiaccio marino artico entro la fine del XXI secolo. Queste riduzioni variano dal 43% dello scenario RCP2.6, al 94% dello scenario RCP8.5, nel mese di settembre, e dall'8% di RCP2.6 al 34% di RCP8.5 a febbraio (*confidenza media*) (vedi Figure SPM.7 e SPM.8). {12.4}

[17] PM2.5 si riferisce al particolato con un diametro inferiore ai 2,5 micrometri, una misura della concentrazione atmosferica di aerosol.

[18] Gli intervalli in questo paragrafo indicano le oscillazioni di un modello CMIP5.

- Sulla base della valutazione di un sottoinsieme di modelli che riproducono con maggiore fedeltà lo stato climatologico medio e l'andamento dell'estensione del ghiaccio marino artico per il periodo 1979-2012, è *probabile* che per RCP8.5 il Mar Glaciale Artico nel mese di settembre arrivi a essere quasi libero dai ghiacci[19] prima della metà del secolo (*confidenza media*) (vedi figure SPM.7 e SPM.8). La proiezione di quando l'Artico potrebbe diventare quasi libero dai ghiacci nel mese di settembre nel XXI secolo non può essere fatta con sicurezza per gli altri scenari {11.3, 12.4, 12.5}

- In Antartide, una diminuzione dell'estensione e del volume del ghiaccio marino è prevista con *confidenza bassa* per la fine del XXI secolo, all'aumentare della temperatura superficiale media globale. {12.4}

- Si prevede che entro la fine del XXI secolo, il volume globale dei ghiacciai, con l'esclusione dei ghiacciai alla periferia dell'Antartide, diminuisca dal 15% al 55% per RCP2.6, e dal 35% all'85% per RCP8.5 (*confidenza media*). {13.4, 13.5}

- Si prevede che la copertura nevosa primaverile dell'emisfero settentrionale diminuisca del 7% per RCP2.6 e del 25% per RCP8.5, entro la fine del XXI secolo, secondo la media dei modelli (*confidenza media*). {12.4}

- È *virtualmente certo* che l'estensione del permafrost prossimo alla superficie alle alte latitudini settentrionali si ridurrà all'aumentare della temperatura superficiale media globale. Entro la fine del XXI secolo, è previsto che l'area di permafrost prossima alla superficie (3,5 m superiori) si riduca di una percentuale tra il 37% (RCP2.6) e l'81% (RCP8.5), secondo la media dei modelli (*confidenza media*). {12.4}

E.6 Livello del mare

Il livello medio globale del mare continuerà ad aumentare nel corso del XXI secolo (vedi Figura SPM.9). In tutti gli scenari RCP, il tasso di innalzamento del livello del mare *molto probabilmente* supererà quello osservato nel periodo 1971-2010 per effetto dell'aumento del riscaldamento degli oceani e dell'incremento della perdita di massa dai ghiacciai e dalle calotte glaciali. {13.3–13.5}

- La confidenza nelle proiezioni del livello medio globale del mare è aumentata da AR4 a causa di una miglior comprensione fisica delle componenti del livello del mare, di una maggior consistenza tra i modelli process-based e le osservazioni, e dell'inclusione dei cambiamenti dinamici delle calotte glaciali. {13.3-13.5}

- L'innalzamento del livello medio globale del mare per il periodo 2081-2100 rispetto al periodo 1986-2005 sarà *probabilmente* compreso negli intervalli tra 0,26 e 0,55 m per RCP2.6, tra 0,32 e 0,63 m per RCP4.5, tra 0,33 e 0,63 m per RCP6.0, e tra 0,45 e 0,82 m per RCP8.5 (*confidenza media*). Per lo scenario RCP8.5, l'innalzamento entro l'anno 2100 è di 0,52-0,98 m, con un tasso durante il periodo 2081-2100 tra gli 8 e i 16 mm/anno (*confidenza media*). Questi intervalli sono ricavati dalle proiezioni climatiche CMIP5 in combinazione con i modelli di processo e una valutazione della letteratura scientifica sui contributi dei ghiacciai e delle calotte glaciali. (vedi Figura SPM.9, Tabella SPM.2). {13.5}

- Nelle proiezioni RCP, l'espansione termica rende conto dal 30% al 55% dell'innalzamento medio globale del livello del mare del XXI secolo; i ghiacciai contribuiscono invece dal15% al 35%. L'aumento dello scioglimento superficiale della calotta glaciale in Groenlandia supererà l'aumento delle precipitazioni nevose, apportando un contributo positivo al futuro livello del mare, da cambiamenti del bilancio della massa superficiale (*confidenza alta*). Mentre lo scioglimento superficiale rimarrà esiguo, si prevede un aumento delle precipitazioni nevose sulla calotta glaciale dell'Antartide (*confidenza media*), che avrà come conseguenza un contributo negativo al futuro livello del mare, da cambiamenti del bilancio della massa superficiale. Le variazioni degli efflussi da entrambe le calotte glaciali *probabilmente* apporteranno un contributo nell'intervallo di 0,03-0,20 m entro il periodo 2081-2100 (*confidenza media*). {13.3-13.5}

- Sulla base delle conoscenze attuali, solo il collasso dei settori marini della calotta glaciale dell'Antartide, se innescato, potrebbe causare un innalzamento del livello medio globale del mare considerevolmente al di sopra dell'intervallo *probabile* nel corso del XXI secolo. Tuttavia, c'è *confidenza media* che questo contributo aggiuntivo non sia superiore ad alcuni decimetri di innalzamento del livello del mare nel corso del XXI secolo. {13.4, 13.5}

---

[19] Le condizioni del mar Glaciale Artico sono riportate come "quasi libere dai ghiacci" quando l'estensione del ghiaccio marino è meno di 10^6 Km^2 per almeno cinque anni consecutivi.

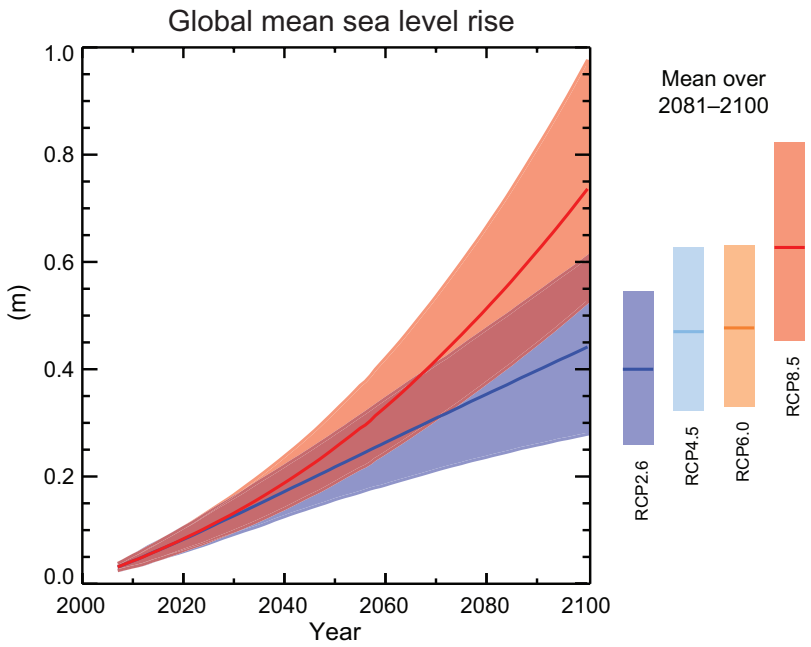

Figura SPM.9 | Proiezioni dell'innalzamento del livello medio globale del mare nel corso del XXI secolo rispetto al periodo 1986-2005 dalla combinazione dell'insieme dei modelli CMIP5 con i modelli di processo, per gli scenari RCP2.6 e RCP8.5. L'intervallo *probabile* stimato è indicato con una banda ombreggiata. Gli intervalli *probabili* valutati per la media del periodo 2081-2100 per tutti gli scenari RCP sono rappresentati da barre verticali colorate, con il corrispondente valore mediano raffigurato da una linea orizzontale. Per ulteriori dettagli tecnici vedi il Materiale Supplementare del Riassunto Tecnico {Tabella 13.5, Figure 13.10 e 13.11; Figure TS.21 e TS.22}

- Sono state esaminate le basi per le proiezioni più alte di innalzamento del livello medio globale del mare nel XXI secolo, e si è arrivati alla conclusione che al momento non ci sono evidenze sufficienti per valutare la probabilità di livelli specifici al di sopra del range *probabile* stimato. Molte proiezioni con modelli semi-empirici dell'innalzamento del livello medio globale del mare sono più alte delle proiezioni con modelli di processo (fino a circa due volte più grandi), ma non c'è consenso all'interno della comunità scientifica sulla loro affidabilità, pertanto c'è *confidenza bassa* nelle loro proiezioni. {13.5}

- L'innalzamento del livello del mare non sarà uniforme. Entro la fine del XXI secolo, è *molto probabile* che il livello del mare aumenti in più di circa il 95% della superficie dell'oceano. Si prevede che circa il 70% delle coste in tutto il mondo sperimenteranno una variazione del livello del mare compresa entro il 20% della variazione del livello medio globale marino. {13.1, 13.6}

E.7 Ciclo del carbonio e altri cicli biogeochimici

Il cambiamento climatico influenzerà i processi del ciclo del carbonio esacerbando in un certo senso l'aumento di CO_2 in atmosfera (*confidenza alta*). L'ulteriore assorbimento di carbonio da parte dell'oceano aumenterà l'acidificazione degli oceani. {6.4}

- L'assorbimento dell'oceano di CO_2 antropogenica continuerà in tutti e quattro gli scenari RCP fino al 2100, con assorbimenti più elevati per scenari di concentrazione più alti (*confidenza molto alta*). La futura evoluzione dell'assorbimento del carbonio da parte del suolo è meno certa. La maggioranza dei modelli prevede un continuo assorbimento di carbonio da parte delle terre emerse in tutti gli scenari RCP, ma alcuni modelli simulano una perdita di carbonio del suolo per l'effetto combinato di cambiamento climatico e cambiamento d'uso del suolo. {6.4}
- Sulla base dei Modelli del Sistema Terra, c'è *confidenza alta* che il feedback tra il clima e il ciclo del carbonio sia positivo nel XXI secolo; vale a dire, che il cambiamento climatico compenserà almeno in parte gli aumenti dell'assorbimento di carbonio da parte di terra e oceano causato dall'aumento di CO_2 atmosferica. Come conseguenza, la maggior parte della CO_2 antropogenica emessa rimarrà in atmosfera. Un feedback positivo tra il clima e il ciclo del carbonio su scale temporali di secoli a millenni è supportato dalle osservazioni paleoclimatiche e dalla modellistica. {6.2, 6.4}

Tabella SPM.3 | Emissioni cumulative di CO_2 per il periodo 2012-2100 compatibili con le concentrazioni atmosferiche degli scenari RCP simulate dai Modelli del Sistema Terra CMIP5. {6.4, Tabella 6.12, Figura TS.19}

Scenario	Emissioni cumulative di CO_2 dal 2012 al 2100[a]			
	GtC		$GtCO_2$	
	Media	Intervallo	Media	Intervallo
RCP2.6	270	da 140 a 410	990	da 510 a 1505
RCP4.5	780	da 595 a 1005	2860	da 2180 a 3690
RCP6.0	1060	da 840 a 1250	3885	da 3080 a 4585
RCP8.5	1685	da 1415 a 1910	6180	da 5185 a 7005

Note:
[a] 1 Gigatonnellata di carbonio = 1 GtC = 10^{15} grammi di carbonio. Ciò corrisponde a 3,667 $GtCO_2$.

- I Modelli del Sistema Terra prevedono un aumento a livello globale dell'acidificazione degli oceani, per tutti gli scenari RCP. L'abbassamento corrispondente del pH dell'oceano superficiale entro la fine del XXI secolo è compresa nell'intervallo[18] di 0,06-0,07 unità di pH per RCP2.6, 0,14-0,15 per RCP4.5, 0,20-0,21 per RCP6.0, e 0,30-0,32 per RCP8.5 (vedi Figure SPM.7 e SPM.8). {6.4}

- Le emissioni[20] cumulative di CO_2 per il periodo 2012-2100 compatibili con le concentrazioni atmosferiche di CO_2 degli scenari RCP, ricavate da 15 Modelli del Sistema Terra, oscillano[18] da 140 a 410 GtC per RCP2.6, da 595 a 1005 GtC per RCP4.5, da 840 a 1250 GtC per RCP6.0, e da 1415 a 1910 GtC per RCP8.5 (vedi Tabella SPM.3). {6.4}

- Entro il 2050, le emissioni annuali di CO_2 derivate dai Modelli del Sistema Terra seguendo lo scenario RCP2.6 appaiono minori delle emissioni del 1990 (del 14% fino al 96%). Entro la fine del XXI secolo, circa la metà dei modelli prevede emissioni leggermente sopra lo zero, mentre l'altra metà suggerisce una rimozione netta della CO_2 dall'atmosfera. {6.4, Figura TS.19}

- Si stima che nel corso del XXI secolo il rilascio di CO_2 o di CH_4 in atmosfera, dai depositi di carbonio del permafrost che si va scongelando, sia nell'intervallo di 50-250 GtC per RCP8.5 (*confidenza bassa*). {6.4}

E.8 Stabilizzazione del clima, impegni per il cambiamento climatico e irreversibilità

Le emissioni cumulative di CO_2 determinano principalmente il riscaldamento superficiale medio globale per la fine del XXI secolo e oltre (vedi Figura SPM.10). La maggior parte degli aspetti del cambiamento climatico perdureranno per parecchi secoli anche se le emissioni di CO_2 saranno fermate. Questo comporta un sostanziale impegno multisecolare per il cambiamento climatico, causato dalle emissioni di CO_2 passate, presenti e future. {12.5}

- Le emissioni cumulative totali di CO_2 e la risposta della temperatura superficiale media globale sono approssimativamente correlate in maniera lineare (vedi Figura SPM.10). Ciascun livello di riscaldamento indicato è associato con un intervallo di emissioni cumulative di CO_2 [21] e pertanto, per esempio, emissioni più alte nelle prime decadi implicano emissioni più basse in seguito. {12.5}
- Limitare il riscaldamento causato dalle sole emissioni antropogeniche di CO_2 a meno di 2°C rispetto al periodo 1861-1880[22] con probabilità > del 33%, > del 50%, e > del 66%, richiederà che le emissioni cumulative di CO_2 da tutte le fonti antropogeniche siano mantenute rispettivamente tra 0 e circa 1570 GtC (5760 $GtCO_2$), tra 0 e circa 1210 GtC (4440 $GtCO_2$), tra 0 e circa 1000 GtC (3670 $GtCO_2$), a partire da quel periodo[23]. Gli importi più alti si riducono rispettivamente a circa 900 GtC (3300 $GtCO_2$), 820 GtC (3010 $GtCO_2$), e 790 GtC (2900 $GtCO_2$), quando sono presi in considerazione forzanti non-CO_2), come nello scenario RCP2.6. Un quantitativo pari a 515 [445-585] GtC (1890 [1630-2150] $GtCO_2$) è già stato emesso entro il 2011. {12.5}

[20] Da combustibili fossili, cemento, industria, e dal settore dei rifiuti.

[21] La quantificazione di questo intervallo di emissioni di CO_2 richiede di prendere in considerazione i *driver* diversi dalla CO_2.

[22] Il primo periodo di 20 anni disponibile dai modelli.

[23] Sulla base della valutazione della risposta transiente del clima alle emissioni cumulative di carbonio (TCRE - transient climate response to cumulative carbon emissions, vedi la Sezione D.2).

- Un target di riscaldamento più basso, o una più alta probabilità di rimanere al di sotto di uno specifico target di riscaldamento, richiederà un accumulo di emissioni di CO_2 inferiore. La messa in conto ai fini degli effetti del riscaldamento degli aumenti dei gas serra non-CO_2, della riduzione degli aerosol, o del rilascio di gas serra dal permafrost, abbasserà le emissioni cumulative di CO_2 per uno specifico target di riscaldamento (vedi Figura SPM.10). {12.5}
- Un'ampia frazione del cambiamento climatico antropogenico dovuto alle emissioni di CO_2 è irreversibile su scale temporali da plurisecolari a millenarie, eccetto che nel caso di una grande rimozione netta di CO_2 dall'atmosfera per un periodo prolungato di tempo. Le temperature superficiali rimarranno pressoché costanti a livelli elevati per molti secoli dopo una completa cessazione delle emissioni nette antropogeniche di CO_2. A causa delle lunghe scale temporali per il trasferimento di calore dall'oceano superficiale a quello profondo, il riscaldamento degli oceani continuerà per centinaia di anni. A seconda dello scenario, dal 15% al 40% circa di CO_2 emessa rimarrà in atmosfera per più di 1000 anni. {Box 6.1, 12.4, 12.5}
- È *virtualmente certo* che l'innalzamento del livello medio globale del mare continuerà oltre il 2100, con un innalzamento del livello del mare dovuto all'espansione termica che continuerà per molti secoli. I pochi risultati dei modelli disponibili che si spingono oltre il 2100 indicano un innalzamento del livello medio globale del mare al di sopra del livello pre-industriale entro il 2300, inferiore a 1 m per un forzante radiativo corrispondente a concentrazioni di CO_2 che raggiungono un picco per poi riabbassarsi e mantenersi al di sotto dei 500 ppm, come nello scenario RCP2.6. Per un forzante radiativo corrispondente a una concentrazione di CO_2 al di sopra dei 700 ppm, ma al di sotto dei 1500 ppm, come nello scenario RCP8.5, l'innalzamento previsto va da 1 m a più di 3 m (*confidenza media*). {13.5}

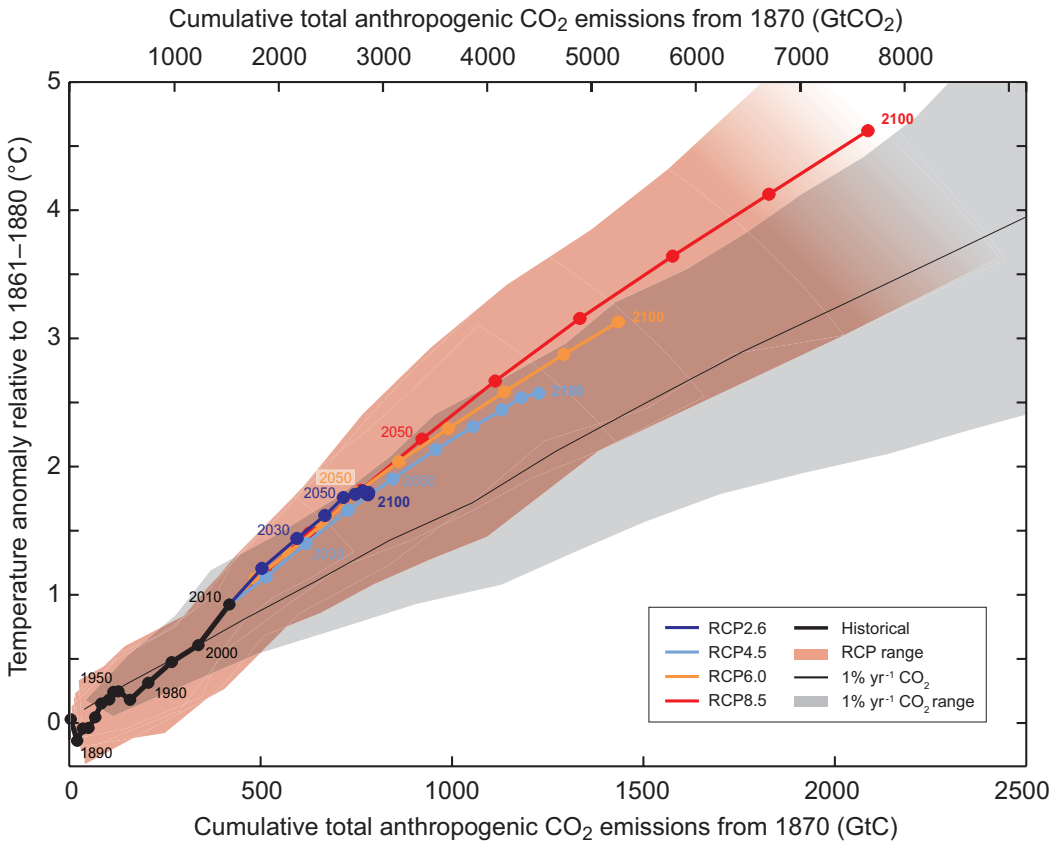

Figura SPM.10 | Aumento della temperatura superficiale media globale in funzione delle emissioni globali totali di CO_2 cumulative, fornite da varie linee di evidenza. I risultati multi-modello provenienti da una gerarchia di modelli del ciclo clima-carbonio, per ciascuno degli scenari RCP fino al 2100, sono mostrati con linee colorate e medie decadali (punti). Alcune medie decadali sono state etichettate e indicate per chiarezza (per esempio, il 2050, che indica il decennio 2040-2049). I risultati dei modelli oltre il periodo storico (1860-2010) sono indicati in nero. Il pennacchio colorato illustra la dispersione multi-modello per i quattro scenari RCP e si attenua al diminuire del numero di modelli disponibili nello scenario RCP8.5. La media e l'intervallo multi-modello simulati dai modelli CMIP5, forzate da un aumento di CO_2 dell'1% all'anno (simulazioni all'1% yr^{-1} di CO_2) sono rappresentate dalla linea nera sottile e dall'area grigia. Per uno specifico quantitativo di emissioni cumulative di CO_2, le simulazioni all'1% annuo di CO_2 mostrano un riscaldamento più basso di quello descritto dagli scenari RCP, che includono forzanti aggiuntivi non-CO_2. I valori delle temperature sono forniti rispetto al periodo di riferimento 1861-1880, i valori delle emissioni rispetto all'anno 1870. Le medie decadali sono collegate da linee rette. Per ulteriori dettagli tecnici, consultare il Materiale Supplementare del Riassunto Tecnico. {Figura 12.45; TS TFE.8, Figura 1}

- La perdita consistente di massa dalle calotte glaciali potrebbe causare un più esteso innalzamento del livello del mare, e parte di questa perdita di massa potrebbe essere irreversibile. C'è *confidenza alta* che un riscaldamento sostenuto, al di là di una certa soglia, porterebbe alla perdita quasi totale della calotta glaciale della Groenlandia, nel corso di un millennio o più, causando un innalzamento del livello medio globale del mare fino a 7 m. Le stime attuali indicano che la soglia di riscaldamento medio globale rispetto all'età pre-industriale è maggiore di circa 1°C (*confidenza bassa*), ma inferiore ai 4°C circa (*confidenza media*). Un'improvvisa e irreversibile perdita di ghiaccio causata da una potenziale instabilità dei settori marini della calotta glaciale antartica in risposta al forzante climatico è possibile, ma le evidenze e le conoscenze attuali non sono sufficienti per realizzare una valutazione quantitativa. {5.8, 13.4, 13.5}
- Sono stati proposti dei metodi, denominati di geoingegneria, che mirano ad alterare deliberatamente il sistema climatico per contrastare e rispondere al cambiamento climatico. Evidenze limitate impediscono una valutazione quantitativa completa ed esaustiva sia della tecnica di *Solar Radiation Management* (*SRM*), o gestione della radiazione solare, che di quella di *Carbon Dioxide Removal* (*CDR*), ovvero di rimozione dell'anidride carbonica, e del loro impatto sul sistema climatico. I metodi di CDR presentano limitazioni biogeochimiche e tecnologiche per una loro potenziale applicazione su scala globale. Le conoscenze sono insufficienti per quantificare quante emissioni di CO_2 potrebbero essere in parte compensate dai metodi CDR, su scala temporale secolare. La modellistica indica che i metodi di SRM, se realizzabili, avrebbero le potenzialità per compensare in maniera sostanziale un aumento della temperatura globale, ma modificherebbero anche il ciclo globale dell'acqua, e non ridurrebbero l'acidificazione degli oceani. Se per una qualsiasi ragione i metodi SRM non venissero ultimati, esiste *confidenza alta* che le temperature superficiali globali salirebbero molto rapidamente verso valori coerenti con il forzante dei gas serra. I metodi di CDR e SRM presentano effetti collaterali e conseguenze a lungo termine su scala globale. {6.5, 7.7}

Box SPM.1: i Representative Concentration Pathways (RCP)

Le proiezioni dei cambiamenti climatici del Gruppo di Lavoro I dell'IPCC richiedono informazioni sulle future emissioni o sulle concentrazioni di gas serra, aerosol e altri *driver* climatici. Queste informazioni sono spesso espresse come scenari di attività umane, che non sono oggetto di valutazione del presente rapporto. Gli scenari utilizzati dal Gruppo di Lavoro I si sono focalizzati sulle emissioni antropogeniche e non comprendono i cambiamenti dei *driver* naturali, come il forzante solare o vulcanico, o le emissioni naturali, per esempio di CH_4 e N_2O.

Per il Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC, la comunità scientifica ha definito un set di 4 nuovi scenari, denominati Representative Concentration Pathways (RCP, vedi il Glossario). Tali scenari sono identificati dal loro forzante radiativo totale approssimato nel 2100, rispetto al 1750: 2,6 Wm^{-2} per RCP2.6, 4,5 Wm^{-2} per RCP4.5, 6,0 Wm^{-2} per RCP6.0, e 8,5 Wm^{-2} per RCP8.5. Per i risultati nell'ambito del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), questi valori dovrebbero essere intesi solo come indicativi, dal momento che il forzante climatico risultante da tutti i *driver* varia per i diversi modelli a causa delle loro caratteristiche specifiche e del trattamento dei forzanti climatici di breve durata. Questi quattro scenari RCP comprendono uno scenario di mitigazione che porta a un livello molto basso del forzante (RCP2.6), due scenari di stabilizzazione (RCP4.5 e RCP6.0), e uno scenario con emissioni di gas serra molto alte (RCP8.5). In confronto all'assenza di politiche climatiche del Rapporto Speciale sugli Scenari di Emissione (SRES), utilizzato nel Terzo e nel Quarto Rapporto di Valutazione, gli scenari RCP possono pertanto rappresentare un ventaglio di politiche climatiche per il XXI secolo. Il forzante radiativo non raggiunge il suo apice entro l'anno 2100 per gli scenari RCP6.0 e RCP8.5; per lo scenario RCP2.6 raggiunge il suo picco per poi riabbassarsi; per lo scenario RCP4.5 si stabilizza entro il 2100. Ciascuno degli scenari RCP fornisce set di dati spazialmente definiti per i cambiamenti di uso del suolo e le emissioni settoriali degli inquinanti dell'aria, specificando le concentrazioni annuali di gas serra e le emissioni antropogeniche fino al 2100. Gli scenari RCP si basano sulla combinazione di modelli di valutazione integrata, modelli climatici semplici, modelli di chimica dell'atmosfera e del ciclo globale del carbonio. Mentre gli scenari RCP abbracciano un ampio spettro di valori del forzante totale, non coprono la gamma completa di emissioni della letteratura scientifica, in particolare per quanto riguarda gli aerosol.

La maggior parte delle simulazioni di CMIP5 e del Modello del Sistema Terra sono state realizzate con concentrazioni prestabilite di CO_2, pari a 421 ppm (RCP2.6), 538 ppm (RCP4.5), 670 ppm (RCP6.0) e 936 ppm (RCP8.5) entro il 2100. Includendo anche le concentrazioni definite di CH_4 e N_2O, le concentrazioni combinate di anidride carbonica equivalente (CO_2-eq) sono pari a 475 ppm (RCP2.6), 630 ppm (RCP4.5), 800 ppm (RCP6.0), e 1313 ppm (RCP8.5). Per lo scenario RCP8.5, sono state eseguite simulazioni supplementari con il Modello del Sistema Terra di CMIP5, con emissioni di CO_2 predefinite, conformemente ai modelli di valutazione integrata. Per tutti gli scenari RCP, sono stati fatti calcoli aggiuntivi con dati di chimica atmosferica e modelli (inclusa la chimica dell'atmosfera e la componente climatica di CMIP5) aggiornati, utilizzando le emissioni assegnate RCP dei gas chimicamente reattivi (CH_4, N_2O, HFC, NO_x, CO, NMVOC). Queste simulazioni consentono un'analisi delle incertezze legate ai meccanismi di feedback del ciclo del carbonio e alla chimica dell'atmosfera.