

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

CLIMATE CHANGE 2013

The Physical Science Basis

WG I

SOMMARIO PER I DECISORI POLITICI

WORKING GROUP I CONTRIBUTION TO THE
FIFTH ASSESSMENT REPORT OF THE
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE



Traduzione Italiana di T. Federico e F. Li Chiavi
per il Comitato Scientifico della Fondazione per lo sviluppo sostenibile

Autori dei testi: Lisa Alexander (Australia), Simon Allen (Switzerland/New Zealand), Nathaniel L. Bindoff (Australia), François-Marie Bréon (France), John Church (Australia), Ulrich Cubasch (Germany), Seita Emori (Japan), Piers Forster (UK), Pierre Friedlingstein (UK/Belgium), Nathan Gillett (Canada), Jonathan Gregory (UK), Dennis 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 Meehl (USA), Igor Mokhov (Russia), 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 Talley (USA), David Vaughan (UK), Shang-Ping Xie (USA)

Contributori: Myles Allen (UK), Olivier Boucher (France), Don Chambers (USA), Jens Hesselbjerg Christensen (Denmark), Philippe Ciais (France), Peter Clark (USA), Matthew Collins (UK), Josefino Comiso (USA), Viviane Vasconcellos de Menezes (Australia/Brazil), Richard Feely (USA), Thierry Fichefet (Belgium), Arlene Fiore (USA), Gregory Flato (Canada), Jan Fuglestad (Norway), Gabriele Hegerl (UK/Germany), Paul Hezel (Belgium/USA), Gregory Johnson (USA), Georg Kaser (Austria/Italy), Vladimir Kattsov (Russia), John Kennedy (UK), Albert Klein Tank (Netherlands), Corinne Le Quéré (UK/France), , Gunnar Myhre (Norway), Tim Osborn (UK), Antony Payne (UK), Judith Perlwitz (USA/Germany), Scott Power (Australia), Michael Prather (USA), Stephen Rintoul (Australia), Joeri Rogelj (Switzerland), Matilde Rusticucci (Argentina), Michael Schulz (Germany), Jan Sedláček (Switzerland), Peter Stott (UK), Rowan Sutton (UK), Peter Thorne (USA/Norway/UK), Donald Wuebbles (USA)

IPCC: Quinto Assessment Report

Contributo del Working Group I al volume *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* Sommaro per i Policymaker

A. Introduzione

Il contributo del Gruppo di Lavoro I al Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5) considera nuove evidenze dei cambiamenti climatici sulla base di molte analisi scientifiche indipendenti derivate dalle osservazioni del sistema climatico, dagli archivi paleoclimatici, da studi teorici sui processi climatici e da simulazioni mediante modelli climatici. Si basa sul contributo del Gruppo di Lavoro al Quarto Rapporto di valutazione dell'IPCC (AR4), ed include le successive nuove scoperte della ricerca. Come componente del quinto ciclo di valutazione, la relazione speciale dell'IPCC sulla gestione dei rischi degli eventi estremi per migliorare l'adattamento ai cambiamenti climatici (SREX) è una base importante per le informazioni sulle modifiche del clima e sugli eventi climatici estremi.

Questa Sintesi per i Decisori Politici (SPM) segue la struttura del Rapporto del Gruppo di lavoro I. Il testo è supportato da una serie di conclusioni generali evidenziate che, prese insieme, rappresentano un sommario sintetico. Le sezioni principali sono introdotte con 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 argomentazioni degli autori dei lavori scientifici del Rapporto completo e viene espresso con un livello qualitativo di confidenza (da *molto basso a molto elevato*) e, quando possibile, quantificandone la probabilità (da *straordinariamente improbabile a praticamente certo*). La confidenza nella validità di una conclusione è basata sul tipo, quantità, qualità e coerenza della prova (ad esempio, dati, comprensione del fenomeno, teoria, modelli, giudizio di esperti) e al livello di accordo¹. Le stime probabilistiche delle misure quantitative di incertezza di una constatazione si basano sull'analisi statistica delle osservazioni o sui risultati del modello, o su entrambi, e sui giudizi degli esperti²². Dove appropriato, i risultati vengono presentati anche come affermazioni di fatto, senza utilizzare i quantificatori dell'incertezza. (Vedi il Capitolo 1 e Box TS.1 per maggiori dettagli sul linguaggio specifico utilizzato dall'IPCC per comunicare l'incertezza).

Le basi per le considerazioni di questa Sintesi per i Decisori Politici possono essere trovate nei capitoli del Rapporto generale e nel Sommario tecnico. I relativi riferimenti vengono indicati tra parentesi graffe.

¹ In questo Sommario, vengono utilizzati i seguenti termini di sintesi per descrivere il livello di evidenza disponibile: limitata, media o forte, e, per il grado di condivisione: basso, medio o alto. Un livello di confidenza è espresso utilizzando cinque qualificatori: molto basso, basso, medio, alto e molto alto, con i caratteri in corsivo, ad esempio, di *media certezza*. Per il grado di condivisione di una data prova, possono essere assegnati diversi livelli di confidenza, ma l'aumento dei livelli di evidenza e il grado di condivisione sono correlati a valori aumentati della confidenza (vedi Capitolo 1 e Box TS.1 per maggiori dettagli).

² In questo Sommario, sono stati utilizzati i seguenti termini per indicare la probabilità verificata di un'affermazione o di un risultato: praticamente certo 99-100%, molto probabile 90-100%, probabile 66-100%, incerto 33-66%, improbabile 0-33%, molto improbabile 0-10%, eccezionalmente improbabile 0-1%. Ulteriori terminologie possono essere adoperate quando necessario: estremamente probabile: 95-100%, più probabile che no > 50-100%, ed estremamente improbabile 0-5%. La probabilità verificata è presentata in corsivo, ad esempio, *molto probabilmente* (vedi capitolo 1 e Box TS.1 per maggiori dettagli).

Traduzione Italiana di T. Federico e F. Li Chiavi
per il Comitato Scientifico della Fondazione per lo sviluppo sostenibile

Autori dei testi: Lisa Alexander (Australia), Simon Allen (Switzerland/New Zealand), Nathaniel L. Bindoff (Australia), François-Marie Bréon (France), John Church (Australia), Ulrich Cubasch (Germany), Seita Emori (Japan), Piers Forster (UK), Pierre Friedlingstein (UK/Belgium), Nathan Gillett (Canada), Jonathan Gregory (UK), Dennis 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 Meehl (USA), Igor Mokhov (Russia), 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 Talley (USA), David Vaughan (UK), Shang-Ping Xie (USA)

Contributori: Myles Allen (UK), Olivier Boucher (France), Don Chambers (USA), Jens Hesselbjerg Christensen (Denmark), Philippe Ciais (France), Peter Clark (USA), Matthew Collins (UK), Josefino Comiso (USA), Viviane Vasconcellos de Menezes (Australia/Brazil), Richard Feely (USA), Thierry Fichefet (Belgium), Arlene Fiore (USA), Gregory Flato (Canada), Jan Fuglestad (Norway), Gabriele Hegerl (UK/Germany), Paul Hezel (Belgium/USA), Gregory Johnson (USA), Georg Kaser (Austria/Italy), Vladimir Kattsov (Russia), John Kennedy (UK), Albert Klein Tank (Netherlands), Corinne Le Quéré (UK/France), , Gunnar Myhre (Norway), Tim Osborn (UK), Antony Payne (UK), Judith Perlwitz (USA/Germany), Scott Power (Australia), Michael Prather (USA), Stephen Rintoul (Australia), Joeri Rogelj (Switzerland), Matilde Rusticucci (Argentina), Michael Schulz (Germany), Jan Sedláček (Switzerland), Peter Stott (UK), Rowan Sutton (UK), Peter Thorne (USA/Norway/UK), Donald Wuebbles (USA)

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 della temperatura e di altre variabili su scala globale sono iniziate a metà del 19° secolo, con serie più complete e diversificate di dati raccolti dal 1950 in poi. Le ricostruzioni paleoclimatiche estendono alcuni dati a centinaia di milioni di anni addietro. Questi dati, nel loro insieme, forniscono una visione completa della variabilità e dei cambiamenti a lungo termine nell'atmosfera, l'oceano, la criosfera e la superficie terrestre.

Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, e, dal 1950, molti dei cambiamenti osservati sono senza precedenti nei precedenti decenni e millenni. L'atmosfera e gli oceani si sono riscaldati, la massa di neve e ghiaccio è diminuita, il livello del mare è aumentato, e le concentrazioni di gas ad effetto 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}

B.1 Atmosfera

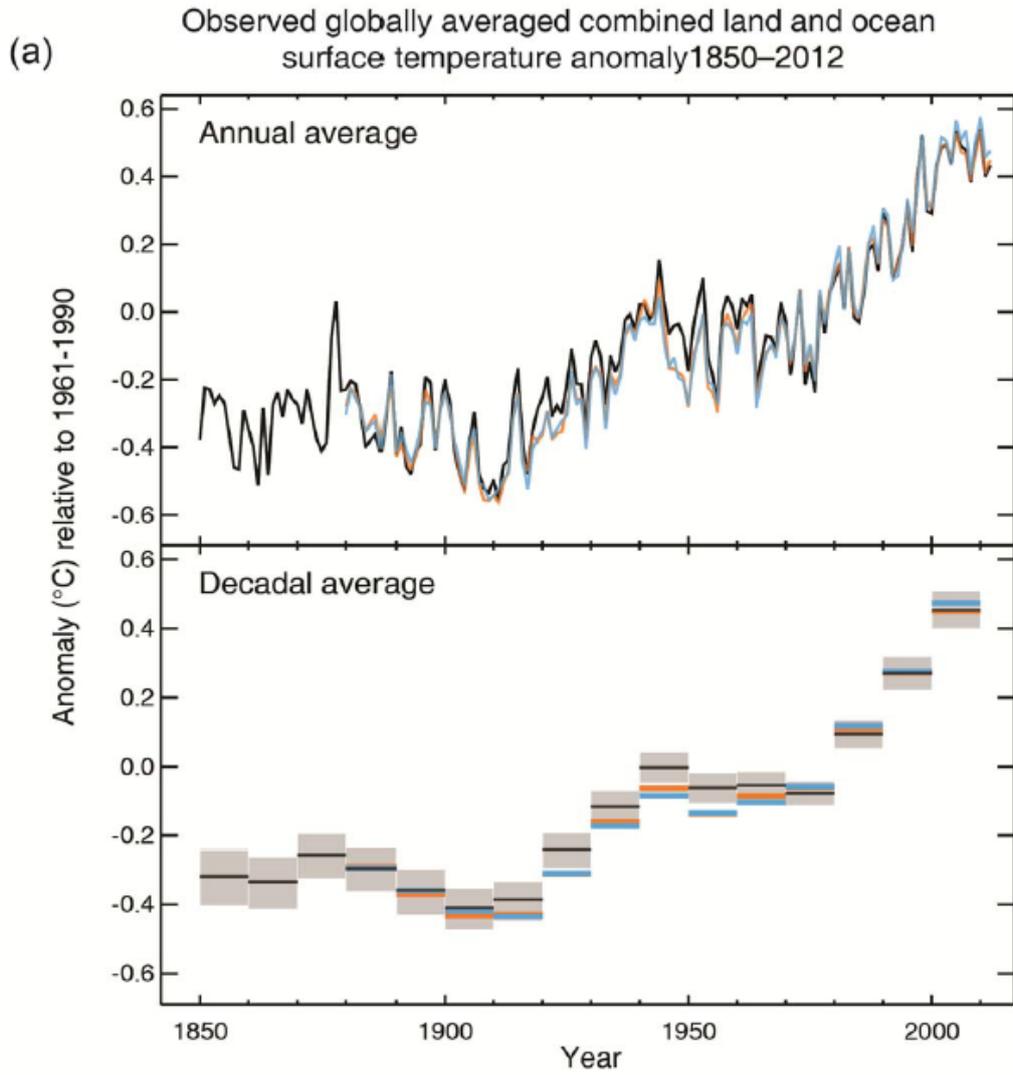
Ciascuno degli ultimi tre decenni è stato nell'ordine il più caldo sulla superficie della Terra rispetto a qualsiasi precedente decennio a partire dal 1850 (vedi Figura SPM.1). Nell'emisfero settentrionale, gli anni dal 1983 al 2012 sono stati probabilmente il trentennio più caldo degli ultimi 1400 anni (*confidenza media*). {2.4, 5.3}

- I dati combinati della temperatura media globale della superficie della terra e dell'oceano, calcolati con trend lineare, mostrano un riscaldamento di 0.85 [0.65- 1.06] °C³, nel periodo 1880-2012, nel quale sono disponibili più in serie di dati prodotti in modo indipendente. L'aumento totale tra la media del periodo 1850-1900 e quella del periodo 2003-2012 è 0.78 [0.72-0.85] °C, in base alla serie storica di dati più lunga disponibile⁴. (Figura SPM.1a) {2.4}
- Per il periodo più lungo in cui il calcolo delle tendenze a livello regionale è sufficientemente completo (1901-2012), quasi tutto il mondo ha subito un riscaldamento superficiale. (Figura SPM.1b) {2.4}
- Oltre al forte riscaldamento multi-decennale, la temperatura media globale della superficie terrestre mostra variabilità sostanziali decennali ed interannuali (vedi Figura SPM.1). A causa della variabilità naturale, le tendenze basate su osservazioni brevi sono molto sensibili alle date di inizio e di fine e non riflettono in generale le tendenze del clima a lungo termine. Un esempio: il tasso di riscaldamento negli ultimi 15 anni (1998-2012; 0.05 [-0.05 a +0.15] °C per decennio), che iniziano con un forte impatto del El Niño, è inferiore al tasso calcolato dal 1951 (1951-2012; 0.12 [0.08-.14] °C per decennio)⁵. {2.4}
- Le ricostruzioni della temperatura superficiale su scala continentale mostrano, con *elevata confidenza*, periodi pluridecennali nel periodo dell'anomalia medievale (anno 950-1250), che furono, in alcune regioni, calde come nel tardo 20° secolo. Questi periodi caldi regionali non si verificano in maniera uniforme tra le diverse regioni come sta avvenendo con il riscaldamento nel tardo 20° secolo (*elevata confidenza*). {5.5}

³ Nel contributo del WG I all'AR5, l'incertezza è quantificata utilizzando intervalli del 90%, a meno che non diversamente specificato. L'intervallo di incertezza del 90%, riportato tra parentesi quadre, significa che si dovrebbe avere un 90% probabilità di catturare il valore che viene stimato. Gli intervalli di incertezza non sono necessariamente simmetrici rispetto alla migliore stima calcolata. Una stima ottima (*best estimate*) di tale valore viene riportata laddove disponibile.

⁴ Entrambi i metodi presentati in questo punto sono stati utilizzati anche nell'AR4. Il primo 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 per i due periodi 1850-1900 e 2003-2012. Pertanto, i valori risultanti e i loro intervalli di incertezza al 90% non sono direttamente comparabili (2.4).

⁵ Le tendenze 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 [-0,02 a 0,18] °C per decennio.



(b) Observed change in average surface temperature 1901–2012

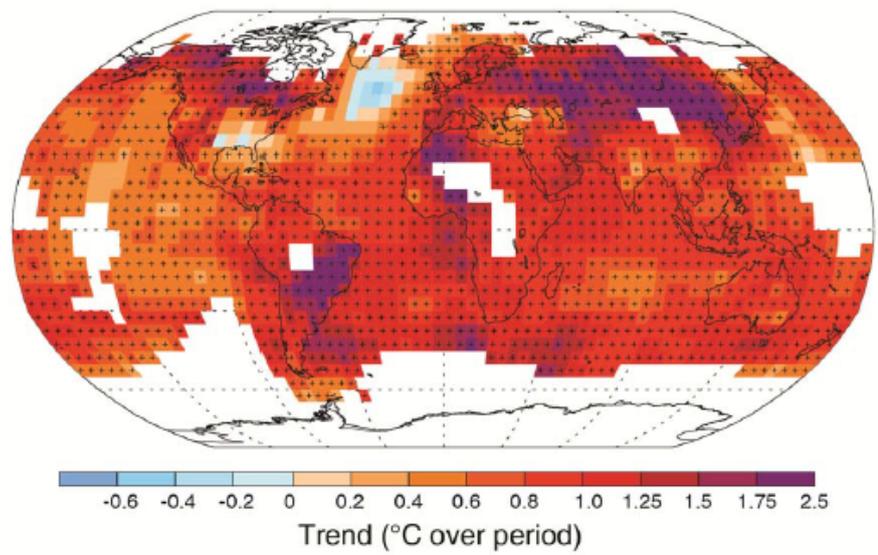


Figura SPM.1: (a) Media globale combinata osservata delle anomalie di temperatura della superficie terrestre e delle superfici oceaniche, dal 1850 al 2012, ricavate da tre serie di dati. Quadro superiore: valori medi annui; quadro di fondo: media decennale dei valori, compresa la stima dell'incertezza per una delle serie di dati (in nero). Le anomalie sono relative alla media del periodo 1961-1990. (b) La mappa dell'e

variazioni della temperatura superficiale registrate tra il 1901 e il 2012 deriva dalla regressione lineare di una delle serie di dati (linea arancione nel quadro a)). Le tendenze sono state calcolate laddove la disponibilità di dati ha permesso una stima attendibile (cioè, solo per le celle con più del 70% di dati completi e con una disponibilità dei dati di almeno il 20% nel primo e nell'ultimo 10% del periodo di misura). Le altre celle sono bianche. Le celle dove la tendenza è significativa al livello del 10% sono indicate con un segno +. Per un elenco delle serie di dati e per ulteriori dettagli tecnici si rimanda al materiale supplementare del Sommaro tecnico. {Figure 2.19-2.21; Figura TS.2}

- È *praticamente certo* che a livello globale la troposfera si è riscaldata a dalla metà del 20° secolo. Osservazioni più complete consentono una maggiore confidenza nelle stime delle variazioni di temperatura nella troposfera dell'emisfero settentrionale extratropicale rispetto ad altre zone. C'è una *confidenza media* sul tasso di riscaldamento e sulla sua struttura verticale nella troposfera extra-tropicale dell'emisfero nord e *scarsa confidenza* altrove. {2.4}
- La *confidenza* nel cambiamento delle precipitazioni medie sulla terra a livello globale dal 1901 è bassa fino al 1951 e media dopo. La media delle precipitazioni nelle aree a latitudini medie dell'emisfero nord è aumentata dal 1901 (*confidenza media* prima e *alta confidenza* dopo il 1951). Per le zone con altre latitudini i trend a lungo termine positivi o negativi hanno *scarsa confidenza*. {Figura SPM.2, Figura TS.XX, 2.5}

Cambiamenti osservati nelle precipitazioni globali

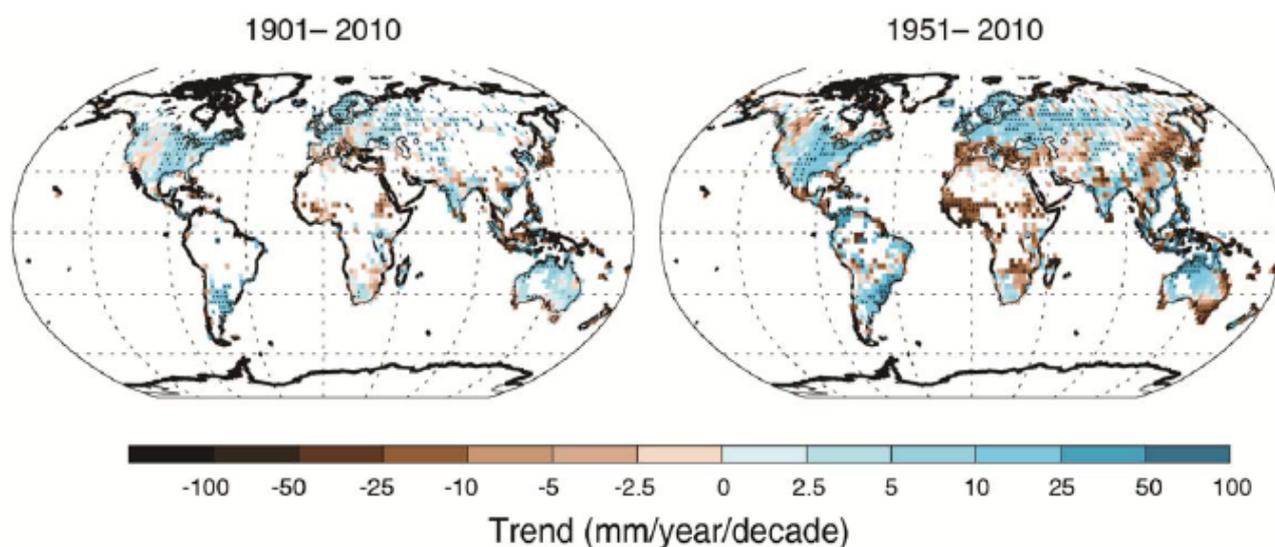


Figura SPM.2: Le mappe dei cambiamenti delle precipitazioni registrati dal 1901 al 2010 e dal 1951 al 2010 (tendenze calcolate con gli stessi criteri della Figura SPM.1b) sono ricavate da un solo insieme di dati. Per ulteriori dettagli tecnici vedi il materiale supplementare della Sintesi tecnica. {Figure TS.X; Figure 2.29}

- I cambiamenti in molti eventi meteorologici e climatici estremi sono stati osservati dal 1950 circa (vedi Tabella SPM.1 per i dettagli). È *molto probabile* che il numero di giorni e notti fredde sia diminuito e il numero di giorni e notti calde sia aumentato su scala⁶ globale. È *probabile* che la frequenza delle ondate di calore sia aumentata in gran parte d'Europa, Asia e Australia. È *probabile* che sia maggiore il numero di regioni terrestri in cui il numero di forti precipitazioni è aumentato rispetto a dove è diminuito. La frequenza o l'intensità di eventi di forti precipitazioni è *probabile* che sia aumentato in Nord America e in Europa. Negli altri continenti, la certezza di forti cambiamenti delle precipitazioni è appena *media*. {2.6}

⁶ Consulta il Glossario per la definizione di: giorni freddi/notte fredde, giorni caldi/notte calde, ondate di calore.

Phenomenon and direction of trend	Assessment that changes occurred (typically since 1950 unless otherwise indicated)	Assessment of a human contribution to observed changes	Likelihood of further changes	
			Early 21st century	Late 21st century
Warmer and/or fewer cold days and nights over most land areas	<i>Very likely</i> (2.6) <i>Very likely</i> <i>Very likely</i>	<i>Very likely</i> (10.6) <i>Likely</i> <i>Likely</i>	<i>Likely</i> (11.3) – –	<i>Virtually certain</i> (12.4) <i>Virtually certain</i> <i>Virtually certain</i>
Warmer and/or more frequent hot days and nights over most land areas	<i>Very likely</i> (2.6) <i>Very likely</i> <i>Very likely</i>	<i>Very likely</i> (10.6) <i>Likely</i> <i>Likely (nights only)</i>	<i>Likely</i> (11.3) – –	<i>Virtually certain</i> (12.4) <i>Virtually certain</i> <i>Virtually certain</i>
Warm spells/heat waves. Frequency and/or duration increases over most land areas	<i>Medium confidence</i> on a global scale <i>Likely</i> in large parts of Europe, Asia and Australia (2.6) <i>Medium confidence</i> in many (but not all) regions <i>Likely</i>	<i>Likely</i> (a) (10.6) Not formally assessed <i>More likely than not</i>	Not formally assessed (b) (11.3) – –	<i>Very likely</i> (12.4) <i>Very likely</i> <i>Very likely</i>
Heavy precipitation events. Increase in the frequency, intensity, and/or amount of heavy precipitation.	<i>Likely</i> more land areas with increases than decreases (c) (2.6) <i>Likely</i> more land areas with increases than decreases <i>Likely over most land areas</i>	<i>Medium confidence</i> (7.6, 10.6) <i>Medium confidence</i> <i>More likely than not</i>	<i>Likely</i> over many land areas (11.3) – –	<i>Very likely</i> over most of the mid-latitude land masses and over wet tropical regions (12.4) <i>Likely</i> over many areas <i>Very likely over most land areas</i>
Increases in intensity and/or duration of drought	<i>Low confidence</i> on a global scale <i>Likely</i> changes in some regions (d) (2.6) <i>Medium confidence</i> in some regions <i>Likely</i> in many regions, since 1970 (e)	<i>Low confidence</i> (10.6) <i>Medium confidence</i> (f) <i>More likely than not</i>	<i>Low confidence</i> (g) (11.3) – –	<i>Likely (medium confidence)</i> on a regional to global scale (h) (12.4) <i>Medium confidence</i> in some regions <i>Likely</i> (e)
Increases in intense tropical cyclone activity	<i>Low confidence</i> in long term (centennial) changes <i>Virtually certain</i> in North Atlantic since 1970 (2.6) <i>Low confidence</i> <i>Likely</i> (in some regions, since 1970)	<i>Low confidence</i> (i) (10.6) <i>Low confidence</i> <i>More likely than not</i>	<i>Low confidence</i> (11.3) – –	<i>More likely than not</i> in the Western North Pacific and North Atlantic (j) (14.6) <i>More likely than not</i> in some basins <i>Likely</i>
Increased incidence and/or magnitude of extreme high sea level	<i>Likely</i> (since 1970) (3.7) <i>Likely</i> (late 20th century) <i>Likely</i>	<i>Likely</i> (k) (3.7) <i>Likely</i> (k) <i>More likely than not</i> (k)	<i>Likely</i> (l) (13.7) – –	<i>Very likely</i> (l) (13.7) <i>Very likely</i> (m) <i>Likely</i>

Table SPM.1: Condizioni meteorologiche estreme ed eventi climatici: valutazione su scala globale dei recenti cambiamenti osservati, contributo umano ai cambiamenti, e ulteriori modifiche previste per la prima parte (2016-2035) e l'ultima parte (2081-2100) del 21° secolo. Il grassetto indica dove l'AR5 (nero) fornisce una valutazione su scala globale* riveduta rispetto a SREX (blu) o AR4 (rosso). Le proiezioni per il 21° secolo non sono state fornite nei precedenti rapporti di *assessment*. Le proiezioni contenute nell'AR5 sono relative al periodo di riferimento 1986-2005, e utilizzano i nuovi Scenari RCP, *Representative Concentration Pathway* (cfr. Box SPM.1) se non diversamente specificato. Vedi il glossario per le definizioni di eventi estremi meteorologici e climatici.

* Il paragone diretto dei risultati dei diversi AR è difficile. Per alcune variabili climatiche sono stati verificati aspetti diversi e le linee guida riviste sull'incertezza sono state usate per il Rapporto SREX e per l'AR5. La disponibilità di nuove informazioni, la migliorata conoscenza scientifica, la continua analisi dei dati e dei modelli, e le specifiche differenze nelle metodologie negli studi di verifica, tutto contribuisce ai nuovi risultati del Rapporto qui presentato.

Note alla Tabella SPM.1:

- (a) Attribuzione si basa sui casi di studio disponibili. È *probabile* che l'influenza umana abbia più che raddoppiato la probabilità di occorrenza di alcune onde di calore osservate in alcune località.
- (b) Le previsioni modellistiche a breve termine indicano aumenti 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* se non in Nord America e in Europa, dove ci sono stati *probabili* aumenti sia della frequenza che dell'intensità di forti precipitazioni con qualche variazione stagionale e/o regionale. È molto probabile che ci siano stati aumenti nelle regioni centrali dell'America del Nord.
- (d) La frequenza e l'intensità delle siccità è in *probabile* aumento nel Mediterraneo e in Africa occidentale e in probabile diminuzione nel Nord America centrale e del nord-ovest dell'Australia.
- (e) Il Rapporto AR4 porta una valutazione delle aree colpite dalla siccità.
- (f) SREX ha valutato con un *grado di confidenza medio* che l'influenza antropica ha contribuito ad alcuni cambiamenti nella distribuzione della siccità osservati nella seconda metà del 20° secolo, in base agli impatti ad essa attribuiti sulle precipitazioni e sui cambiamenti della temperatura. SREX ha attribuito *scarsa confidenza* nella attribuzione delle alterazioni della siccità a livello delle singole regioni.
- (g) È *scarsa la confidenza* nelle variazioni previste nell'umidità del suolo.
- (h) Le diminuzioni previste su scala globale e regionale dell'umidità del suolo e dell'aumento della siccità in agricoltura sono probabili (*media fiducia*), nelle regioni attualmente aride, entro la fine di questo secolo, secondo lo scenario RCP 8.5. L'abbassamento dell'umidità del suolo nel Mediterraneo, nel Sud-Ovest degli Stati Uniti e nelle regioni dell'Africa meridionale è coerente con i cambiamenti previsti della circolazione di Hadley e delle temperature superficiali, per cui vi è un'*elevata confidenza* nella previsione di una probabile aridificazione in queste regioni entro la fine di questo secolo, secondo lo scenario RCP8.5.
- (i) C'è una *confidenza di livello medio* nell'ipotesi che una riduzione della forzante radiativa degli aerosol nel Nord Atlantico abbia contribuito almeno in parte all'aumento osservato nell'attività dei cicloni tropicali in questa regione dopo il 1970.
- (j) Sulla base del giudizio degli esperti e sulla valutazione delle proiezioni che utilizzano lo scenario SRES A1B (o simili).
- (k) L'attribuzione si basa sulla stretta relazione tra cambiamenti estremi e medi osservati nei livelli del mare.
- (l) Con *elevata confidenza* questo aumento dei valori massimi del livello del mare è essenzialmente il risultato di un aumento del livello medio. C'è *scarsa confidenza* nelle proiezioni regionali della tempestosità e nelle relative cause.
- (m) SREX ha valutato che sia molto probabile che l'innalzamento medio del livello del mare contribuirà ai futuri *trend* al rialzo dei livelli di acqua alta sulle coste.

B.2 Oceani

Il riscaldamento dell'oceano domina l'aumento dell'energia immagazzinata nel sistema climatico, che rappresenta più del 90% dell'energia accumulata tra il 1971 e il 2010 (elevata certezza). È praticamente certo che la parte superiore dell'oceano (0-700 m) si è riscaldata tra il 1971 e il 2010 (vedi figura SPM.3), ed è probabile un riscaldamento già tra il 1870 e il 1971. {3.2, Box 3.1}.

- Su scala globale, il riscaldamento degli oceani avviene più vicino alla superficie e la parte superiore (75 m) si è riscaldata di 0.11 [0.09 - 0.13] °C per decennio, nel periodo 1971-2010. Nei dati della temperatura oceanica sotto-superficiale sono stati individuati e corretti alcuni errori strumentali nel Rapporto AR4, migliorando il livello di confidenza nella valutazione del cambiamento. {3.2}
- È *probabile* che l'oceano si sia riscaldata tra 700 e 2000 m nel periodo 1957-2009. Sono disponibili adeguate osservazioni per il periodo 1992-2005 per una valutazione globale del cambiamento della temperatura sotto i 2000 m. È *probabile* che in questo periodo non ci siano state significative variazioni nelle temperature osservate tra i 2000 e i 3000 m. È *probabile* che

l'oceano si sia riscaldato dai 3000 m al fondo in questo periodo, con il riscaldamento più intenso registrato nell'Oceano Antartico. {3.2}

- Più del 60% dell'aumento netto di energia nel sistema climatico è stato immagazzinato nella parte superiore dell'oceano (0-700 m) durante periodo di 40 anni tra il 1971 e il 2010 e circa il 30% è immagazzinato nel mare sotto i 700 m. L'aumento del contenuto di calore dell'oceano superiore durante questo periodo di tempo, stimato mediante una regressione lineare, è *probabile* che si attesti a $17 [15-19] \times 10^{22} \text{ J}^7$ (Figura SPM.3). {3.2, Box 3.1}
- È tanto *probabile quanto no* che il contenuto di calore dell'oceano tra 0 e 700 m sia aumentato più lentamente durante il periodo 2003-2010 che durante il periodo 1993-2002 (vedi Figura SPM.3). L'assorbimento di calore dell'oceano dai 700 ai 2000 m, dove la variabilità interannuale è più piccola, è probabile che sia continuato senza sosta dal 1993 al 2009. {3.2, Box 9.2}
- È *molto probabile* che le aree ad alta salinità, dove l'evaporazione è più forte, siano diventate più saline, mentre le regioni a basso grado di salinità dove predominano le precipitazioni siano diventate più dolci dal 1950. Queste tendenze regionali nella salinità degli oceani forniscono la prova indiretta che l'evaporazione e le precipitazioni sugli oceani sono cambiate (*media certezza*). {2.5, 3.3, 3.5}
- Non vi è alcuna prova strumentale di un *trend* di inversione delle correnti ascendenti nell'Atlantico Meridionale (AMOC), sulla base della raccolta decennale completa di dati dell'AMOC e delle osservazioni più lunghe sui singoli componenti AMOC. {3.6}

B.3 Criosfera

Nel corso degli ultimi due decenni, le coperture di ghiaccio della Groenlandia e dell'Antartide hanno perso massa, i ghiacciai hanno continuato a ridursi in quasi tutto il mondo e i ghiacci o marino artico e lo strato di neve durante la primavera nell'Emisfero Nord hanno continuato a diminuire in estensione (*alta certezza*) (vedi Figura SPM.3).{4.2-4.7}

- Il tasso medio di perdita di ghiaccio⁸ dei ghiacciai di tutto il mondo, ad esclusione dei ghiacciai periferici delle coperture di ghiaccio⁹, è molto probabilmente 226 [91-361] Gt/anno nel corso del periodo 1971-2009, e molto probabilmente 275 [140-410] Gt/anno nel periodo 1993-2009¹⁰ {4.3}
- Il tasso medio di perdita di ghiaccio dalla calotta glaciale della Groenlandia è molto probabile che sia sostanzialmente passato da 34 [-6 a 74] Gt/anno nel periodo 1992-2001 a 215 [157-274] Gt/anno nel periodo 2002-2011. {4.4}
- Il tasso medio di perdita di ghiaccio dalla calotta antartica è probabile che sia aumentato da 30 [-37 a 97] Gt/anno nel periodo 1992-2001 a 147 [72-221] Gt/anno nel periodo 2002-2011. Vi è una confidenza molto alta che queste perdite riguardano principalmente la penisola dell'Antartico settentrionale e il settore del Mare di Amundsen dell'Antartide occidentale. {4.4}

⁷ Un apporto costante di calore attraverso la superficie dell'oceano al ritmo di 1 W m^{-2} per 1 anno aumenterebbe il contenuto di calore nell'oceano di $1.1 \times 10^{22} \text{ J}$.

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

⁹ Per ragioni metodologiche, questa valutazione della perdita di ghiaccio dell'Antartide e delle coperture di ghiaccio della Groenlandia include i cambiamenti nei ghiacciai periferici. Questi ghiacciai periferici sono quindi esclusi dai valori indicati per i ghiacciai.

¹⁰ Una perdita di ghiaccio di 100 Gt all'anno è equivalente a circa 0,28 millimetri/anno di innalzamento medio globale del livello del mare medio globale.

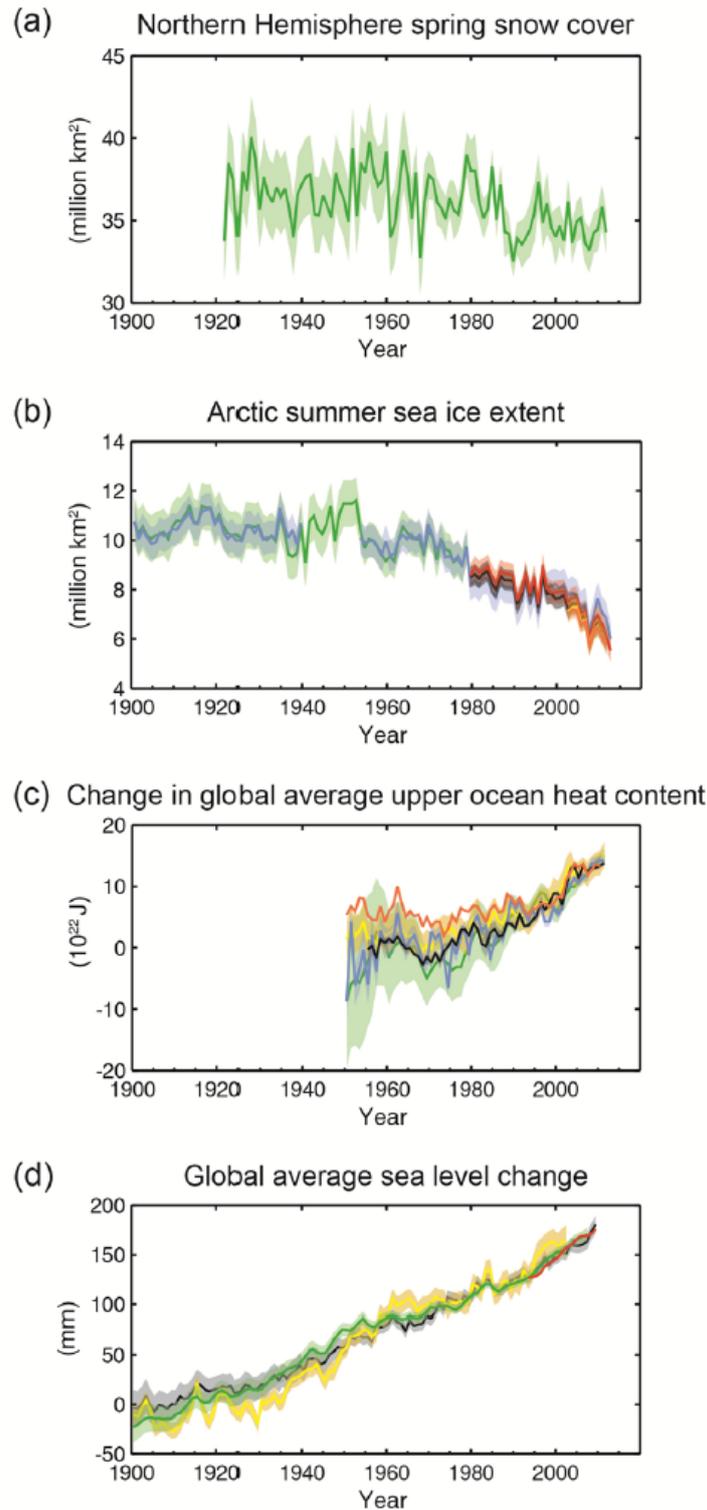


Figura SPM.3: Indicatori multipli osservati dei cambiamenti climatici globali: (a) Dimensioni della copertura media della neve nell'emisfero settentrionale tra marzo-aprile (primavera), (b) Dimensioni medie del ghiaccio artico in Luglio -Agosto-Settembre (estate), (c) variazione media globale del contenuto di calore dell'oceano superiore (0-700 m) allineato al 2006-2010, e relativa alla media di tutte le serie di dati per il 1971, (d) media globale del livello del mare rispetto alla media 1900-1905 della più lunga serie di dati, e con tutte le serie di dati allineati per avere lo stesso valore nel 1993, il primo anno di disponibilità dei dati altimetrici dal satellite. Tutte le serie temporali (le linee colorate indicano diverse serie di dati) mostrano valori annuali, e dove calcolate, le incertezze sono indicate con ombreggiatura colorata. Vedi materiale supplementare della Sintesi tecnica per un elenco delle serie di dati. {Figure 3.2, 3.13, 4.19 e 4.3; FAQ 2.1, Figura 2, Figura TS.1}

- Il valore medio annuale dell'estensione del ghiaccio artico è diminuito nel periodo 1979 - 2012, con un tasso che è stato molto probabilmente nell'intervallo 3.5-4.1 % per decennio (pari all'intervallo di 0.45-0.51 milioni di km² per decennio), e molto probabilmente nell'intervallo 9.4-13.6% per decennio (pari all'intervallo di 0.73 -1.070 milioni di km² per decennio) per il livello minimo del ghiaccio estivo (ghiaccio marino perenne). Il calo medio della estensione del ghiaccio del mare artico nel decennio è stata più rapida in estate (alta certezza); l'estensione territoriale è diminuita in ogni stagione, e in ogni decennio successivo al 1979 (alta certezza) (vedere Figura SPM.3). C'è certezza media sulle ricostruzioni, nel corso degli ultimi tre decenni, riguardo il fatto che la perdita di ghiaccio marino nell'artico durante l'estate sia stata senza precedenti e le temperature superficiali del mare siano state insolitamente alte rispetto ad almeno gli ultimi 1450 anni. {4.2, 5.5}
- È *molto probabile* che l'estensione media annuale del ghiaccio del mare artico sia aumentata ad un tasso compreso tra l'1.2 e l'1.8% per decennio (intervallo di 0.13-0.20 milioni di km² per decennio) tra il 1979 e il 2012. Vi è alta confidenza che ci siano forti differenze regionali in questo tasso annuale, con estensione crescente in alcune regioni e decrescente in altre. {4.2}
- C'è *confidenza molto alta* che l'estensione della copertura nevosa dell'emisfero settentrionale sia diminuita dalla metà del 20° secolo (vedi Figura SPM.3). L'estensione della copertura nevosa dell'emisfero settentrionale si è ridotta dell'1.6 [0.8-2.4]% per decennio tra marzo e aprile, e 11.7 [8.8-14.6]% per decennio a giugno, nel periodo 1967-2012. Durante questo periodo, l'estensione della copertura nevosa nell'Emisfero Nord non ha mostrato un aumento statisticamente significativo in nessun mese. {4.5}
- Con *alta confidenza* le temperature del *permafrost* sono aumentate nella maggior parte delle regioni nei primi anni 1980. Il riscaldamento osservato è stato fino a 3 °C in alcune zone del Nord Alaska (primi anni 1980 fino a 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 notevole riduzione di spessore ed estensione areale del permafrost nel periodo 1975-2005 (*media confidenza*). {4.7}
- Molte evidenze supportano un riscaldamento dell'artico molto consistente dalla metà del 20° secolo. {Box 5.1, 10.3}

B.4 Livello del mare

Il tasso di aumento del livello del mare a partire dalla metà del 19° secolo è stato più alto del tasso medio durante i precedenti due millenni (alta confidenza). Nel periodo 1901-2010, il livello medio globale del mare è aumentato di 0.19 [0.17-0.21] m (vedi Figura SPM.3). {3.7, 5.6, 13.2}

- È *molto probabile* che il tasso medio globale di aumento del livello del mare sia stato di 1.7 [1.5-1.9] mm/anno tra il 1901 e il 2010, 2.0 [1.7-2.3] mm/anno tra il 1971 e il 2010 e di 3.2 [2.8-3.6] mm/anno tra il 1993 e il 2010. I trasduttori di livello e i dati satellitari altimetrici sono coerenti per quanto riguarda il tasso più elevato di quest'ultimo periodo. È *probabile* che tassi altrettanto elevati si siano verificati tra il 1920 e il 1950. {3.7}
- Fin dai primi anni '70, la perdita di massa dei ghiacciai e l'espansione termica dell'oceano assieme spiegano circa il 75% dell'aumento del livello globale medio del mare osservato (*alta confidenza*). Nel corso del periodo 1993-2010, l'aumento del livello medio globale del mare è,

con *elevata confidenza*, in linea con la somma dei contributi della dilatazione termica dell'oceano osservata a causa del riscaldamento (1.1 [0.8 -1.4] mm/anno), da variazioni dei ghiacciai (0.76 [0.39-1.13] mm/anno), dello strato di ghiaccio della Groenlandia (0.33 [0.25-0.41] mm/anno), della copertura di ghiaccio dell'Antartide (0.27 [0.16-0.38] mm/anno) e per l'accumulo di acqua a terra (0.38 [0.26-0.49] mm/anno). La somma di questi contributi è 2.8 [2.3-3.4] mm/anno {13.3}

- Vi è una confidenza molto alta che il valore massimo del livello medio globale del mare durante l'ultimo periodo interglaciale (da 129.000 a 116 mila anni fa) sia stato, per diverse migliaia di anni, almeno 5 m più alto dell'attuale e alta confidenza che non abbia superato i 10 m rispetto all'attuale. Durante l'ultimo periodo interglaciale, la calotta di ghiaccio della Groenlandia molto probabilmente ha contribuito tra 1.4 e 4,3 m all'innalzamento del livello medio globale del mare, il che implica con media confidenza un contributo supplementare da parte della calotta antartica. Questo cambiamento del livello del mare è accaduto nel contesto di un diverso forcing orbitale e con temperature di superficie alle alte latitudini, come media di diverse migliaia di anni, almeno di 2 °C più calde di oggi (alta confidenza). {5.3, 5.6}

B.5 Il ciclo del Carbonio e altri cicli biogeochimici

Le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica (CO₂), metano e protossido di azoto sono aumentate a livelli senza precedenti negli almeno ultimi 800.000 anni. Le concentrazioni di CO₂ sono aumentate del 40% dal periodo pre-industriale, principalmente per le emissioni di combustibili fossili e secondariamente per effetto dei cambiamenti di uso del suolo. L'oceano ha assorbito circa il 30% delle emissioni antropogeniche di anidride carbonica, 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, l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O) sono tutte aumentate dal 1750 a causa dell'attività umana. Nel 2011 le concentrazioni di questi gas serra erano 391 ppm¹¹, 1803 ppb, 324 ppb, e hanno superato i livelli pre-industriali di circa il 40%, 150% e 20%, rispettivamente. {2.2, 5.2, 6.1,6.2}
- Le concentrazioni di CO₂, CH₄, N₂O superano di modo sostanziale le concentrazioni più alte registrate nelle carote di ghiaccio durante gli ultimi 800.000 anni. I tassi medi di incremento nelle concentrazioni atmosferiche nel corso dell'ultimo secolo sono, con *altissima confidenza*, senza precedenti negli ultimi 22 mila anni. {5.2, 6.1, 6.2}
- Le emissioni annuali di CO₂ dovute alla combustione di combustibili fossili e alla produzione di cemento erano 8.3 [7.6-9.0] GtC¹²/anno in media tra il 2002 e il 2011 (*alta confidenza*) ed erano 9.5 [8.7-10.3] GtC/anno nel 2011, il 54% al di sopra del livello del 1990. Le emissioni nette annue di CO₂ dovute al cambiamento d'uso del suolo di origine antropica erano 0.9 [0.1-1.7] GtC/anno in media nel 2002-2011 (*media confidenza*). {6.3}
- Dal 1750 al 2011, le emissioni di CO₂ prodotte dai combustibili fossili e dalla produzione di cemento hanno rilasciato 365 [335-395] GtC in atmosfera, mentre la deforestazione e il cambio di uso del suolo si stima abbiano rilasciato 180 [100-260] GtC. Ciò provoca un totale di emissioni antropogeniche di 545 [460-630] GtC. {6.3}

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 significa 300 molecole di un gas per milione di molecole di aria secca.

¹² 1 gigatonnellata di carbonio = 1 GtC = 10¹⁵ grammi di carbonio = 1 Petagrammo di carbonio = 1 PgC. Ciò corrisponde a 3,67 GtCO₂.

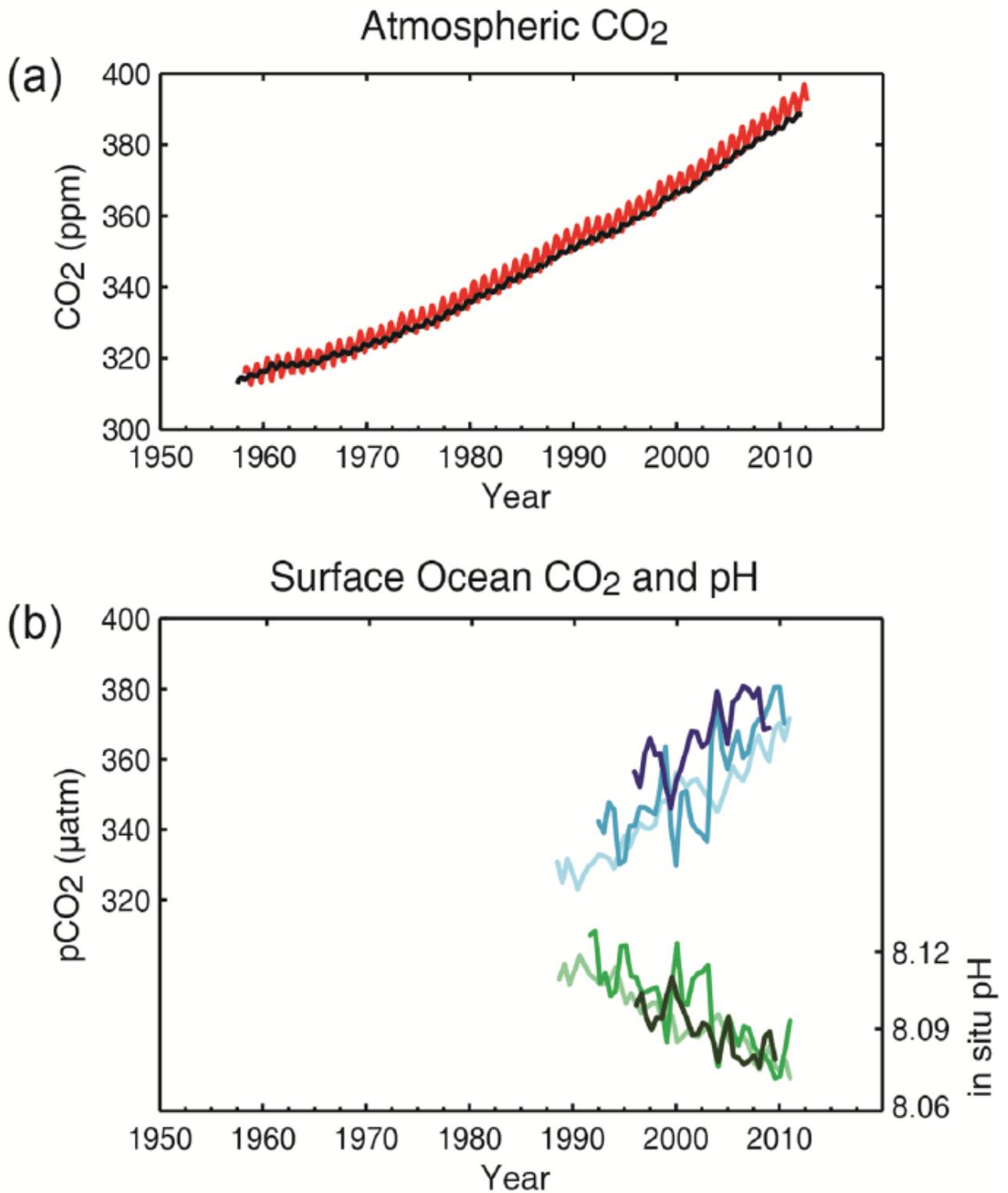


Figura SPM.4: Andamenti osservati degli indicatori del cambiamento del ciclo globale del carbonio: (a) concentrazioni di biossido di carbonio (CO₂) in atmosfera registrate a Mauna Loa (19° 32' N, 155° 34' W - rosso) e al Polo Sud (89° 59' S, 24° 48' W - nero) dal 1958; (b) la pressione parziale di CO₂ disciolta nella parte superficiale dell'oceano (curve blu) e il pH in situ (curve verdi), una misura del grado di acidità delle acque oceaniche. Le misure provengono da tre stazioni dell'Atlantico (29° 10' N, 15° 30' O - blu scuro/verde scuro; 31° 40' N, 64° 10' W - blu/verde) e del Pacifico (22° 45' N, 158° 00' O - verde chiaro/azzurro chiaro). I dettagli completi delle serie di dati qui riportati sono forniti nel rapporto e nel materiale supplementare della Sintesi tecnica. {Figure 2.1 e 3.18; Figura TS.5}

- Di queste emissioni di CO₂ di origine antropica, 240 [230-250] GtC si sono accumulate nell'atmosfera, 155 [125-185] GtC sono state assorbitate dal mare e 150 [60-240] GtC le hanno assorbite gli ecosistemi terrestri naturali (cfr. residuo cumulativo assorbito dalla terra). {Figura TS.4, 3.8, 6.3}
- L'acidificazione degli oceani è quantificata dalla diminuzione del pH¹³. Il pH delle acque di superficie dell'oceano è diminuito di 0.1 dall'inizio dell'era industriale (*alta confidenza*), corrispondente ad un aumento del 26% di concentrazione di ioni idrogeno (vedi Figura SPM.4). {3.8., Box 3.2}

C. I driver del cambiamento climatico

Le sostanze e i processi naturali e antropici che alterano il bilancio energetico della Terra sono i driver del cambiamento climatico. Il forcing radiativo¹⁴ (RF) quantifica la variazione di flussi di energia causata dai cambiamenti di questi driver per il 2011 relativo al 1750, se non diversamente indicato. Un RF positivo conduce al riscaldamento della superficie, un RF negativo porta al raffreddamento della superficie. Il RF è stimato sulla base di osservazioni in-situ e a distanza, in base alle proprietà dei gas serra e degli aerosol, e a calcoli con modelli numerici che rappresentano i processi osservati. Alcuni composti emessi influenzano la concentrazione atmosferica di altre sostanze. Il RF può essere quantificato sulla base della variazioni di concentrazione di ogni sostanza. In alternativa si può quantificare il RF di un composto attraverso le emissioni, stabilendo un collegamento più diretto alle attività umane. Esso comprende i contributi di tutte le sostanze interessate da tale emissione. Il RF antropogenico totale dei due approcci è identico quando si considerano tutti i driver. Sebbene entrambi gli approcci siano usati in questa sintesi, gli RF basati sulle emissioni sono in primo piano.

Il forcing radiativo totale è positivo e ha portato ad un assorbimento di energia da parte del sistema climatico. Il maggior contributo al forcing radiativo totale è causato dall'aumento della concentrazione di CO₂ in atmosfera a partire dal 1750 (vedi Figura SPM.5). {3.2, Box 3.1, 8.3, 8.5}

- Il RF antropogenico totale nel 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 durante i decenni precedenti. La migliore stima del FR totale antropogenico per il 2011 è del 43% superiore a quello riportato in AR4 per l'anno 2005. Ciò è causato dalla combinazione della crescita continua delle concentrazioni della maggior parte dei gas a effetto serra e dalle stime migliorate del RF degli aerosol che causano un raffreddamento netto più debole (RF negativo). {8,5}
- Il RF dalle emissioni dei gas serra ben mescolati (CO₂, CH₄, N₂O e i composti alogenati) per il 2011 rispetto al 1750 è 3.00 [2.22-3.78] Wm⁻² (vedi Figura SPM.5). Il RF da cambiamenti nelle concentrazioni di questi gas è 2,83 [2,26-3,40] Wm⁻². {8,5}

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

¹⁴ La forza dei driver è quantificata come *forcing radiativo* (RF) in unità di watt per metro quadrato (Wm⁻²) come nelle precedenti valutazioni dell'IPCC. RF è la variazione di flusso di energia causata da un driver, ed è calcolato nella tropopausa o nella parte superiore dell'atmosfera. Nel concetto tradizionale di RF impiegato nei precedenti rapporti IPCC, tutta la superficie e le condizioni troposferiche sono mantenuti fissi. Nei calcoli di RF per i gas a effetto serra ben mescolati agli aerosol, le variabili fisiche, fatta eccezione per il ghiaccio oceanico e marino, sono in grado di rispondere alle perturbazioni con aggiustamenti rapidi. Il conseguente *forcing* è chiamato *forcing radiativo efficace* (FER). Questo cambiamento riflette il progresso scientifico derivante dalle valutazioni precedenti e consente una migliore valutazione della risposta della temperatura ai questi driver. Per tutti i driver diversi dal mix di gas serra e aerosol, i rapidi adeguamenti non sono ben caratterizzati e si presume siano piccoli, e quindi viene utilizzato il RF tradizionale. {8,1}

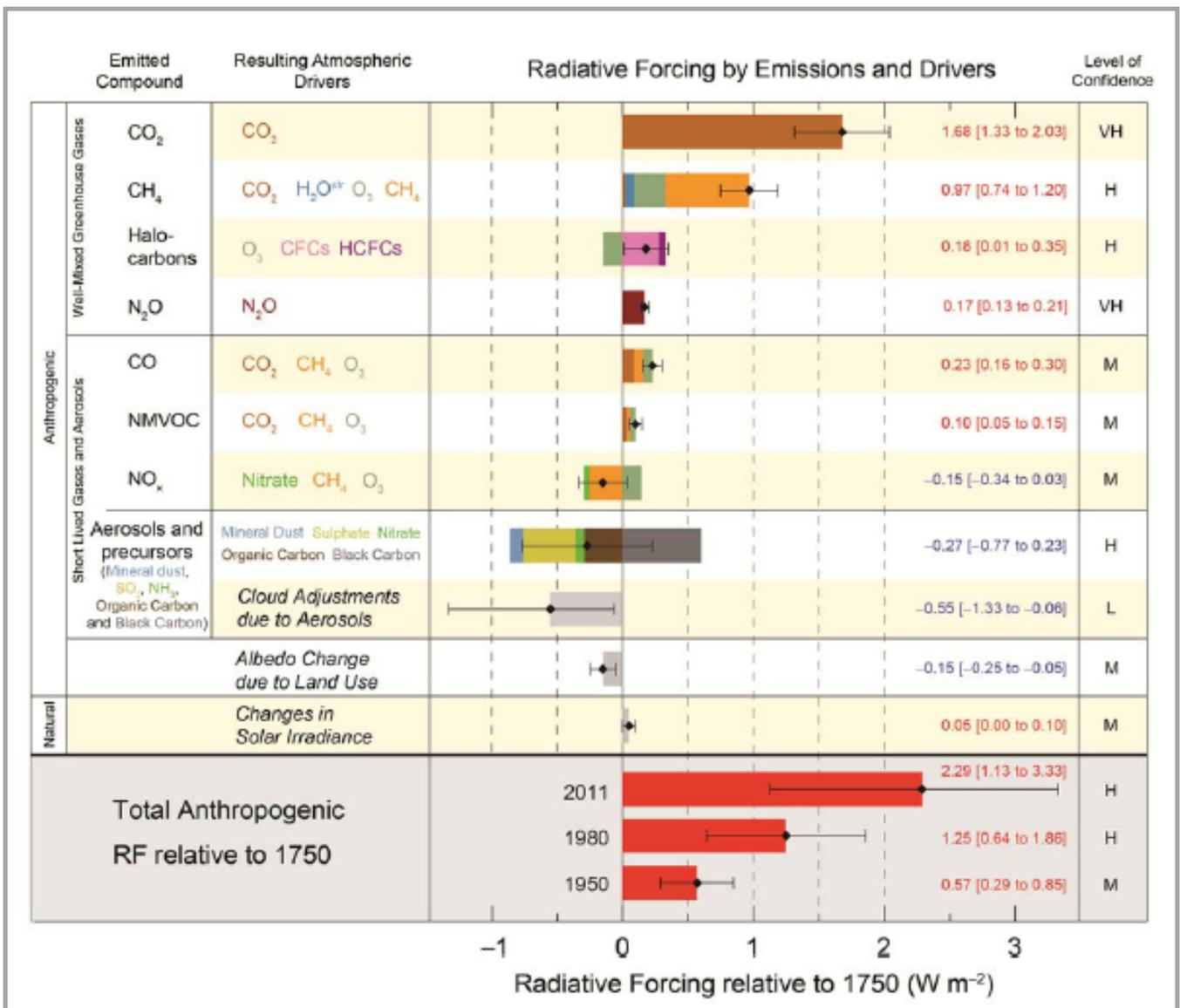


Figura SPM.5: Stime del *forcing radiativo* nel 2011 rispetto al 1750 e incertezze aggregate per i principali fattori di cambiamento climatico. I valori del *forcing radiativo* sono medie globali (RF¹⁵) ripartite secondo i composti emessi o i processi che comportano una combinazione di *driver*. Le migliori stime del *forcing radiativo* netto sono mostrate come rombi neri con gli intervalli di incertezza corrispondenti, i valori numerici sono forniti sulla destra della figura, unitamente al livello di fiducia nel forcing netto (VH - molto alto, H - Alto, M - medio, L - basso, VL - molto basso). Il *forcing* dell'*albedo*, causato del carbonio nero su neve e ghiaccio, è incluso nella barra dell'aerosol *black carbon*. Piccoli forcing causati dalle scie (0,05 Wm⁻², compresi i cirri indotti dalle scie), e HFC, PFC e SF₆ (totale 0,03 W m⁻²) non sono mostrate. L'importo di RF per ogni gas può essere ottenuta sommando le barre dello stesso colore. Il *forcing* vulcanico non è incluso perché per la sua natura episodica è difficile da confrontare con altri meccanismi di *forcing*. Il *forcing radiativo* totale antropogenico è riportato per tre diversi anni rispetto al 1750. Per ulteriori dettagli tecnici, tra cui gli intervalli di incertezza connessi con singoli componenti e processi, si rimanda al materiale supplementare della Sintesi tecnica. {8.5; figure 8,14-8,18; figure TS.6 e TS.7}

- Le sole emissioni di C O₂ hanno causato un RF di 1.68 [1.33 to 2.03] Wm⁻² (vedi Figura SPM.5). Includendo le emissioni di altri gas contenenti carbonio, ch e pure contribuiscono all'aumento della concentrazione della CO₂ è 1.82 [1.46 to 2.18] Wm⁻². {8.3, 8.5}
- Le emissioni di CH₄ da solo hanno causato un RF di 0.97 [0.74 to 1.20] Wm⁻² (vedi Figura

¹⁵ Questo approccio è stato utilizzato per calcolare RF nell'AR4 SPM.

SPM.5). Questo dato è molto maggiore della stima basata sulla concentrazione pari a 0,48 [0,38-0,58] Wm^{-2} (invariato rispetto AR4). Questa differenza nelle stime è causata da variazioni di concentrazione di ozono e di vapore acqueo stratosferico a causa di emissioni di CH_4 e di altre emissioni che indirettamente influenzano il CH_4 . {8.3, 8.5}

- Le emissioni di idrocarburi alogenati che distruggono l'ozono stratosferico hanno causato un RF positivo netto di 0,18 [0,01-0,35] Wm^{-2} (vedi Figura SPM.5). Il loro RF positivo ha superato il RF negativo della riduzione dell'ozono che hanno indotto. Il RF positivo causato da tutti gli idrocarburi alogenati è simile al valore in AR4, con un RF da CFC ridotto, ma con l'aumento di molti dei loro sostituti. {8.3, 8.5}
- Le emissioni di gas a vita breve contribuiscono al RF antropogenico totale. Le emissioni di monossido di carbonio è praticamente certo che abbiano indotto un RF positivo, mentre le emissioni di ossidi di azoto (NO_x) è probabile che abbiano indotto un RF netto negativo (see Figure SPM.5). {8.3, 8.5}
- Il RF dell'effetto totale degli aerosol nell'atmosfera, che include i cambiamenti della copertura nuvolosa causati dagli aerosol, è -0.9 [-1.9 a -0.1] Wm^{-2} (*media confidenza*), e risulta da un *forcing* negativo causato dalla maggior parte degli aerosol e da un contributo positivo per l'assorbimento delle radiazioni solari del *black carbon*. Vi è *alta confidenza* che gli aerosol e le loro interazioni con le nuvole abbiano compensato una parte consistente del *forcing* medio globale dal mix di gas serra. Essi continuano a causare la maggiore incertezza nelle stime di RF totale. {7.5, 8.3, 8.5} {7.5, 8.3, 8.5}
- Il forcing da aerosol vulcanici stratosferici può avere un grande impatto sul clima per alcuni anni dopo le eruzioni vulcaniche. Diverse piccole eruzioni hanno causato un RF di -0.11 [-0.15 a -0.08] Wm^{-2} per gli anni 2008-2011, che è circa due volte maggiore rispetto agli anni 1999-2002. {8,4}
- Il RF causato dai cambiamenti nella radiazione solare è stimato a 0,05 [0,00-0,10] Wm^{-2} . Le osservazioni dal satellite del totale delle variazioni dell'irraggiamento solare nel periodo 1978-2011 indicano che l'ultimo minimo solare era inferiore rispetto ai due precedenti. Ciò provoca un RF di -0.04 [-0.08 a 0.00] Wm^{-2} tra il più recente minimo nel 2008 e il minimo del 1986. {8,4}
- il RF naturale totale causato da variazioni di irraggiamento solare e aerosol vulcanici stratosferici ha portato solo un piccolo contributo al *forcing* radiativo netto nel secolo scorso, eccetto brevi periodi dopo grandi eruzioni vulcaniche. {8,5}

D. Comprensione del sistema climatico e delle sue recenti modifiche

La comprensione dei recenti cambiamenti del sistema climatico deriva dalla combinazione delle osservazioni, degli studi dei processi di feedback, e dai modelli di simulazione. Valutare la capacità dei modelli climatici di simulare le recenti modifiche richiede la considerazione dello stato di tutti i componenti nel modello del sistema climatico fin dall'inizio della simulazione e il forcing naturale e antropico utilizzato per far girare i modelli. Osservazioni più dettagliate ed estese nel tempo rispetto all'AR4 consentono un miglioramento dei modelli climatici e l'attribuzione del contributo umano alle variazioni riscontrate in più componenti del sistema climatico.

L'influenza umana sul sistema climatico è inequivocabile. Questa evidenza risulta dalle osservazioni delle concentrazioni crescenti di gas serra nell'atmosfera, dal forcing radiativo positivo, dal riscaldamento rilevato e dalla migliore comprensione del sistema di climatico. {2-14}

D.1 Valutazione dei modelli climatici

I modelli climatici sono migliorati dopo l'AR4. I modelli riproducono i profili e le tendenze della temperatura della superficie terrestre osservati su scala continentale nel corso di molti decenni, che evidenziano un più rapido riscaldamento o a partire dalla metà del 20° secolo e un raffreddamento subito dopo grandi eruzioni vulcaniche (*confidenza molto alta*). {9.4, 9.6, 9.8}

- Le simulazioni climatiche a lungo termine mediante modelli mostrano una tendenza della temperatura media globale della superficie terrestre tra il 1951 e il 2012 che concorda con la tendenza osservata (*confidenza molto alta*). Vi sono, tuttavia, delle differenze tra le tendenze delle simulazioni e quelle delle osservazioni su periodi più corti, da 10 a 15 anni (ad 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 press'a poco in egual misura ad una riduzione della crescita del *forcing* radiativo ed ad una tendenza al raffreddamento per effetto della variabilità interna, che comprende una possibile redistribuzione dell'energia termica fra gli oceani (*media confidenza*). Il *trend* di riduzione del *forcing* radiativo è principalmente causato dalle eruzioni vulcaniche e dalla tempistica della fase discendente del ciclo solare di 11 anni. Tuttavia, vi è *scarsa confidenza* nel quantificare il ruolo dei cambiamenti del *forcing* radiativo nella tendenza alla riduzione del riscaldamento. C'è *media confidenza* che sia la variabilità interna decennale a determinare in misura sostanziale la differenza tra i dati osservati e le simulazioni: da queste ultime non ci si aspetta che possano contemplare le periodicità della variabilità interna. Ci può essere anche una inadeguata valutazione degli effetti del *forcing* e, in alcuni modelli, una sovrastima della risposta alla crescita delle emissioni di gas a effetto serra e ad altri *forcin g antropogenici* (dominati dagli effetti degli aerosol). {9.4, Box 9.2, 10.3, Box 10.2, 11.3}
- Su scala regionale, la fiducia nella capacità dei modelli di simulare la temperatura superficiale è minore che per le scale più grandi. Tuttavia, vi è *elevata confidenza* che la simulazione della temperatura della superficie su scala regionale sia migliorata rispetto all'AR4. {9.4, 9.6}}
- Ci sono stati notevoli progressi nella valutazione delle condizioni meteorologiche e degli eventi climatici estremi dopo l'AR4. Le previsioni delle tendenze medie globali della frequenza dei giorni e delle notti estremamente calde e fredde durante la seconda metà del 20° secolo sono generalmente coerenti con le osservazioni. {9.5}
- C'è stato qualche miglioramento nella simulazione di modelli su scala continentale delle precipitazioni rispetto all'AR4. Su scala regionale, le precipitazioni non vengono simulate altrettanto precisamente e la valutazione è ostacolata dalle incertezze delle osservazioni. {9.4, 9.6}
- Alcuni importanti fenomeni climatici adesso vengono riprodotti più fedelmente dai modelli. C'è *alta confidenza* che le statistiche dei monsoni e delle oscillazioni meridionali di El Niño (ENSO) basate su simulazioni multi-modello sono migliorate dall'AR4. {9.5}
- I modelli climatici includono ora più processi relativi alle nubi e agli aerosol e alle loro interazioni, rispetto all'AR4, ma rimane *scarsa confidenza* nella rappresentazione e quantificazione di questi processi mediante i modelli. {7.3, 7.6, 9.4, 9.7}
- Ci sono forti prove della tendenza al ribasso dell'estensione del mare del ghiaccio artico in estate dal 1979, ora riprodotta da più modelli rispetto all'AR4, con circa un quarto dei modelli

che mostrano una tendenza grande quanto la tendenza nelle osservazioni, se non maggiore. La maggior parte dei modelli riportano una piccola tendenza al ribasso nell'estensione del ghiaccio del Mare Antartico, anche se la variabilità dei modelli è in contrasto con la modesta tendenza alla crescita delle osservazioni. {9.4}

- Molti modelli riproducono i cambiamenti osservati nel contenuto di calore nell'oceano superiore (0-700 m) dal 1961 al 2005 (*alta confidenza*), con una serie storica delle medie di molti modelli compresa tra le stime delle osservazioni disponibili per la maggior parte del periodo. {9.4}
- I modelli climatici che includono il ciclo del carbonio (modelli del sistema Terra) simulano i flussi di CO₂ tra l'oceano e l'atmosfera a livello mondiale, con un degassamento nei tropici e l'assorbimento a medie e alte latitudini. Nella maggior parte di questi modelli la misura delle simulazioni globali degli assorbitori di carbonio della terra e degli oceani durante l'ultima parte del 20° secolo risultano all'interno dell'intervallo delle stime effettuate sulla base delle osservazioni. {9.4}

D.2 Quantificazione delle risposte del sistema climatico

I modelli e le osservazioni del cambiamento della temperatura, i *feedback* climatici e i cambiamenti nel bilancio energetico della Terra, insieme producono confidenza nella grandezza del riscaldamento globale in risposta al *forcing* passato e futuro. {Box 12.2, Box 13.1}

- Il *feedback* netto dell'effetto combinato delle variazioni del vapore acqueo e le differenze tra il riscaldamento atmosferico e della superficie è *estremamente probabile* che sia positivo e che quindi amplifichi i cambiamenti climatici. Il *feedback* radiativo netto per effetto della combinazione di tutte le tipologie di nuvole è probabilmente positivo. L'incertezza nel segno e nella grandezza del *feedback* delle nuvole è dovuta principalmente alla continua incertezza riguardo all'impatto del riscaldamento sulle nuvole basse. {7,2}
- La *sensibilità del clima all'equilibrio* quantifica la risposta del sistema climatico ad un *forcing* radiativo costante su scale di tempo plurisecolari. È definita come la variazione della temperatura superficiale media globale all'equilibrio che è causata da un raddoppio della concentrazione di CO₂ atmosferica. La sensibilità del clima all'equilibrio è *probabilmente* compresa nell'intervallo tra 1.5 °C e 4.5 °C (*alta confidenza*), è *estremamente improbabile* che sia meno di 1 °C (*alta confidenza*), ed è *molto improbabile* che sia superiore ai 6 °C (*media confidenza*)¹⁶. Il limite inferiore di temperatura dell'intervallo *probabile* verificato della sensibilità del clima all'equilibrio è quindi valutato a meno dei 2 °C nell'AR4, ma il limite superiore è lo stesso. Questa valutazione rispecchia una migliore comprensione, una maggiore quantità di dati della temperatura in atmosfera e nell'oceano e le nuove stime del *forcing* radiativo. {TFE6.1, figura 1; Box 12.2}
- La velocità e l'entità del cambiamento climatico globale è determinata dal *forcing* radiativo, dai *feedback* climatici e dall'immagazzinamento di energia da parte del sistema climatico. Le stime di tali quantità per gli ultimi decenni, sono coerenti con il *probabile* intervallo di variabilità stimato della *sensibilità del clima all'equilibrio* entro il grado di incertezze valutato, e forniscono una forte evidenza per la nostra comprensione del cambiamento climatico antropogenico. {Box 12.2, Box 13.1}

¹⁶ Non può essere riportata nessuna stima migliore per la *sensibilità del clima all'equilibrio* a causa di una mancanza di accordo sui valori tra le linee delle evidenze verificate e gli studi

- La risposta transitoria del clima quantifica la risposta del sistema climatico ad un *forcing* radiativo crescente su una scala temporale da decennale a secolare. È definita come la variazione della temperatura media globale di superficie nel momento in cui la concentrazione atmosferica di CO₂ è raddoppiata in uno scenario di concentrazione crescente dell'1% all'anno. La risposta transitoria del clima è *probabile* che sia compresa nell'intervallo tra 1.0 °C e 2.5 °C (*alta confidenza*) ed è *estremamente improbabile* che sia maggiore di 3 °C. {Box12.2}
- Una misura correlata è la risposta transitoria del clima alle emissioni cumulative di carbonio (TCRE). Essa quantifica la risposta transitoria del sistema climatico alle emissioni di carbonio cumulative (v. sezione E.8). La TCRE è definita come la variazione della temperatura superficiale media globale per 1000 GtC e messi nell'atmosfera. La TCRE è *probabilmente* compresa nell'intervallo da 0,8 °C a 2,5 °C per 1000 GtC e vale per le emissioni cumulative fino a circa 2000 GtC fino al raggiungimento della temperatura di picco (cfr. Figura SPM.9). {12,5, Box 12.2}
- I vari parametri possono essere utilizzati per confrontare i contributi ai cambiamenti climatici delle emissioni di sostanze diverse. L'orizzonte temporale e la metrica più appropriata dipenderanno da quali aspetti del cambiamento climatico sono considerati più importanti per una particolare applicazione. Nessuna singola misura può confrontare con precisione tutte le conseguenze di emissioni diverse e tutte hanno limitazioni e incertezze. Il potenziale di riscaldamento globale (GWP) è basato sul *forcing* radiativo cumulativo su un particolare orizzonte temporale, e il potenziale cambiamento della temperatura globale è basato sulla variazione della temperatura superficiale media globale in un punto scelto nel tempo. Nella presente relazione vengono forniti i valori aggiornati. {8,7}

D.3 Rilevazione ed attribuzione dei cambiamenti climatici

L'influenza umana è stata rilevata nel riscaldamento dell'atmosfera e dell'oceano, nella variazioni del ciclo globale dell'acqua, nella riduzione delle coperture di neve e ghiaccio, nell'aumento medio globale del livello del mare, e nei cambiamenti di alcuni eventi climatici estremi (Figura SPM.6 e Tabella SPM.1). Questa evidenza dell'influenza umana è cresciuta dall'AR4. È estremamente probabile che l'influenza umana sia stata la causa dominante del riscaldamento osservato dalla metà del 20 ° secolo. {10,3-10,6, 10,9}

- È *estremamente probabile* che più della metà della crescita osservata nella temperatura media globale della superficie tra il 1951-2010 sia stata causata dall'aumento delle concentrazioni dei gas ad effetto serra di origine antropogenica e dall'insieme delle altre forzanti antropogeniche. La migliore stima del contributo al riscaldamento indotto dall'uomo è simile al riscaldamento osservato nel corso di questo periodo. {10.3}
- Il contributo dei gas serra al riscaldamento medio globale superficiale è *probabile* che sia compreso nell'intervallo 0.5 °C a 1.3 °C nel periodo 1951-2010, con i contributi degli altri *forcing* di origine antropica, compreso l'effetto di raffreddamento degli aerosol, che può essere nell'intervallo tra -0.6 °C e 0.1 °C.
- Il contributo dei *forcing* naturali è *probabile* che sia nell'intervallo tra -0.1 °C e 0,1 °C, e la variabilità interna è *probabile* che sia compresa nell'intervallo tra -0.1 °C e 0,1 °C. Insieme, questi contributi verificati sono coerenti con il riscaldamento osservato tra circa 0,6 °C e 0,7 °C in questo periodo. {10.3}

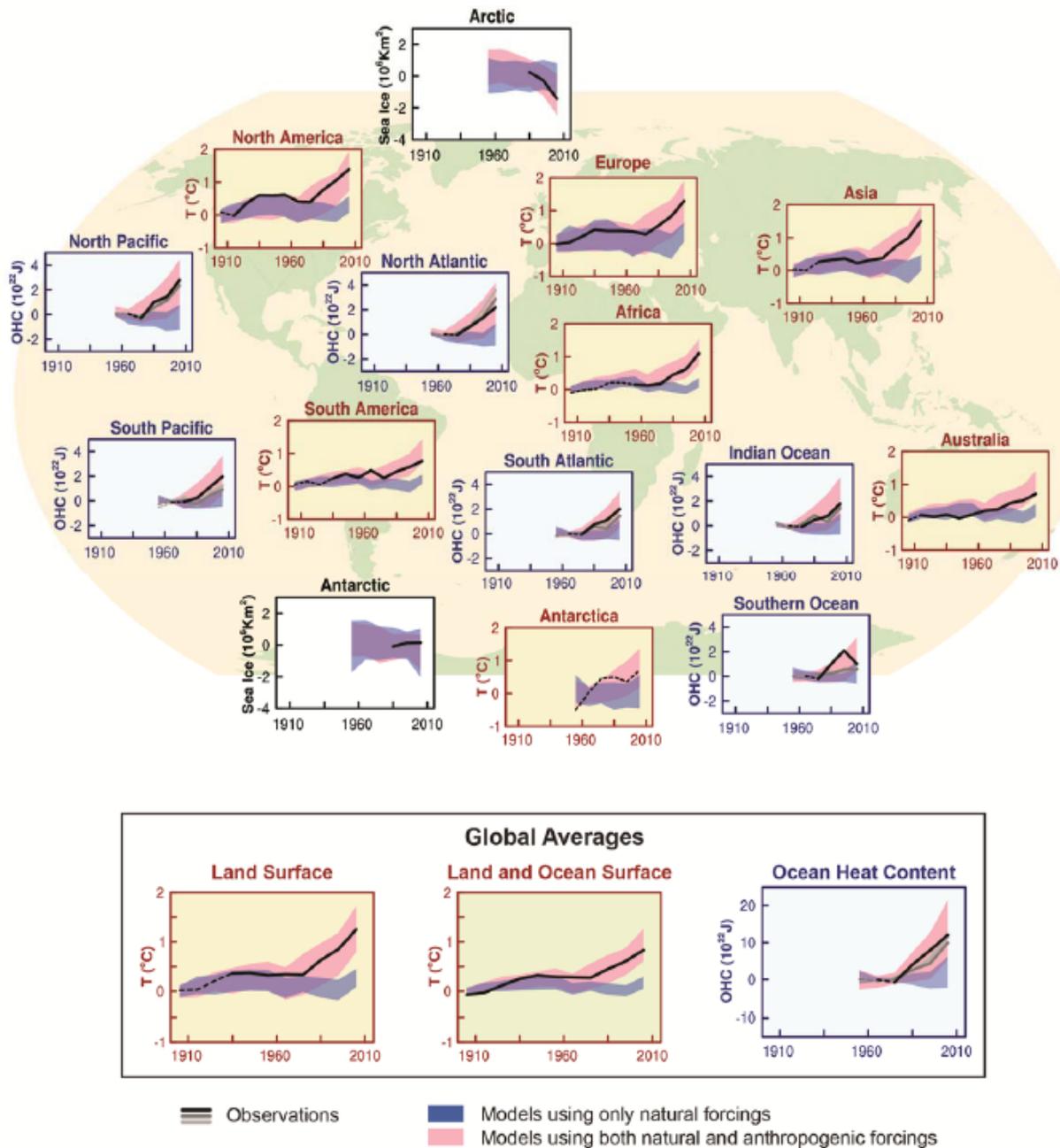


Figure SPM.6: Il confronto tra cambiamenti climatici osservati e simulati basato su tre indicatori di larga scala in atm osfera, criosfera e oceano: il cambiamento della temperature dell'aria delle superfici continentali (quadri gialli), l'estensione del ghiaccio dei mari artico e antartico a sette mbre, (quadri bianchi), il contenuto di calore della parte superiore dei principali bacini oceanici (pannelli blu). Sono fornite anche le variazioni medie globali. Le anomalie sono indicate rispetto al 1880-1919 per le temperature di superficie, al 1960-1980 per il contenuto di calore dell'oceano e al 1979-1999 per il ghiaccio marino. Tutte le serie temporali sono medie decennali, calcolate al centro del decennio. Per i quadri di temperatura, le osservazioni sono linee tratteggiate se la copertura spaziale delle aree in corso di esame è inferiore al 50%. Per il contenuto termico dell'oceano e del mare e le coperture di ghiaccio del mare viene usata la linea continua dove la copertura dei dati è buona e più alta in termini di qualità e la linea tratteggiata è dove la copertura dati è soltanto sufficiente, e, quindi, l'incertezza è maggiore. I risultati modellistici presentati sono gli intervalli di insieme dei modelli del quadro internazionale *Coupled Model Intercomparison Project Fase 5* (CMIP5), dove le bande ombreggiate indicano gli intervalli di confidenza dal 5 al 95%. Per ulteriori dettagli tecnici, tra cui la definizione delle aree, va visualizzato il materiale supplementare del Sommario tecnico. {Figura 10.21; Figura TS.12}

- In ogni regione continentale, tranne l'Antartide, i *forcing* antropogenici hanno *probabilmente* dato un contributo sostanziale agli aumenti di temperatura della superficie a partire dalla metà del 20° secolo (vedi Figura SPM.6). Per l'Antartide, le grandi incertezze delle osservazioni generano *scarsa confidenza* che i *forcing* antropogenici abbiano contribuito al valore del riscaldamento osservato mediando su tutte le stazioni. È *probabile* che vi sia stato un contributo antropogenico molto sostanziale al riscaldamento dell'Artico a partire dalla metà del 20° secolo. {2.4, 10.3}
- È *molto probabile* che l'influenza antropogenica, in particolare dei gas a effetto serra e dell'impoverimento dell'ozono stratosferico, abbia portato ad un quadro osservabile di riscaldamento della troposfera e ad un corrispondente raffreddamento nella stratosfera più bassa dal 1961. {2.4, 9.4, 10.3}
- È *molto probabile* che i *forcing* antropogenici abbiano dato un contributo sostanziale all'aumento del contenuto di calore globale dell'oceano superiore (0-700 m) osservato dal 1970 in avanti (vedi Figura SPM.6). Ci sono prove dell'influenza umana in alcuni specifici bacini oceanici. {3.2, 10.4}
- È *probabile* che le influenze antropogeniche abbiano interessato il ciclo globale dell'acqua dal 1960 in poi.
- Le influenze antropogeniche hanno contribuito a gli aumenti osservati nel contenuto di umidità nell'atmosfera (*media confidenza*), ai cambiamenti su scala globale delle precipitazioni sulla terra (*media confidenza*) e all'intensificazione di forti precipitazioni sulle regioni della terra in cui i dati sono sufficienti (*media confidenza*), e alle variazioni di salinità della superficie e dello strato sub-superficiale degli oceani (*molto probabile*). {2.5, 2.6, 3.3, 7.6, 10.3, 10.4}
- C'è stato un ulteriore rafforzamento degli elementi di prova dell'influenza umana sulla temperatura rispetto a SREX. È ora *molto probabile* che l'influenza umana abbia contribuito ai cambiamenti osservati su scala globale nella frequenza e nell'intensità delle temperature estreme giornaliere a partire dalla metà del 20° secolo, ed è *probabile* che l'influenza umana ha più che raddoppiato la probabilità del verificarsi di ondate di calore in alcune località (vedi Tabella SPM.1). {10.6}
- Le influenze antropogeniche hanno *molto probabilmente* contribuito alla perdita di ghiaccio artico a partire dal 1979. C'è *bassa confidenza* nella comprensione scientifica del piccolo aumento osservato nell'estensione del ghiaccio del mare antartico a causa delle spiegazioni scientifiche incomplete e contrastanti e la *scarsa confidenza* nelle stime di variabilità interna in quella regione (vedi Figura SPM.6). {10.5}
- L'influenza antropogenica ha *probabilmente* contribuito al ritiro dei ghiacciai a partire dal 1960 e all'aumento della perdita di massa della superficie della calotta glaciale della Groenlandia a partire dal 1993. A causa di un basso livello di comprensione scientifica vi è *scarsa confidenza* nell'attribuire le cause della perdita di massa dalla calotta antartica osservata nel corso degli ultimi due decenni. {4.3, 10.5}
- È *probabile* che ci sia stato un contributo antropogenico alla riduzione osservata nella copertura nevosa nell'emisfero nord in primavera dal 1970. {10.5}
- È *molto probabile* che ci sia un sostanziale contributo antropogenico all'innalzamento medio globale del livello del mare dal 1970. Questa conclusione si basa su un' *alta confidenza* dell'influenza antropogenica sui due maggiori contributi alla crescita del livello del mare, cioè l'espansione termica e la perdita di massa dei ghiacci. {10.4, 10.5, 13.3}

- C'è alta *confidenza* che i cambiamenti nell'irraggiamento solare totale non hanno contribuito all'aumento della temperatura superficiale media globale per il periodo 1986-2008, sulla base di misure dirette satellitari dell'irraggiamento solare totale. C'è *confidenza media* che il ciclo di 11 anni della variabilità solare influenza le fluttuazioni climatiche decennali in alcune regioni. Nessuna associazione significativa è stata trovata tra i cambiamenti nei raggi cosmici e la nuvolosità. {7.4, 10.3, Box 10.2}

E. Il futuro dei cambiamenti climatici globali e regionali

Le previsioni dei cambiamenti del sistema climatico sono realizzate utilizzando una gerarchia di modelli climatici che spaziano da modelli climatici semplici, a modelli di complessità intermedia, a modelli climatici completi, a modelli del sistema terra. Questi modelli simulano le variazioni sulla base di una serie di scenari di forcing antropogenici. Una nuova serie di scenari, i Representative Concentration Pathways (RCP), è stata utilizzata per le nuove simulazioni del modello climatico svolte nell'ambito del quadro del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) del Programma di ricerca mondiale sul clima. In tutti gli RCP, le concentrazioni atmosferiche di CO₂ sono più elevate nel 2100 a seguito di un ulteriore aumento delle emissioni cumulative di CO₂ nell'atmosfera nel corso del 21° secolo (cfr. riquadro SPM.1). Le proiezioni in questa Sintesi per i responsabili politici riguardano la fine del 21° secolo (2081-2100) (dato relativo al 1986-2005, salvo diversa indicazione). Per collocare tali proiezioni in un contesto storico, è necessario prendere in considerazione i cambiamenti osservati tra diversi periodi. Basato sul più esteso insieme globale di dati disponibili per la temperatura superficiale, il cambiamento registrato tra la media del periodo 1850-1900 e il periodo di riferimento dell'AR5 è 0,61 [0,55-0,67] °C. Tuttavia, il riscaldamento si è ulteriormente intensificato oltre la media del periodo di riferimento AR5. Quindi non si tratta di una stima del riscaldamento effettivo ad oggi (vedi capitolo 2).

Le emissioni continue di gas ad effetto serra causeranno un ulteriore riscaldamento e cambiamenti aggiuntivi in tutte i componenti del sistema climatico. Limitare il cambiamento climatico richiederà una sostanziale riduzione nel tempo delle emissioni di gas a d effetto serra. {Capitoli 6, 11, 12, 13, 14}

- Le proiezioni per i prossimi decenni mostrano profili spaziali dei cambiamenti climatici simili a quelli previsti per il successivo 21° secolo ma con minore intensità. La variabilità interna continuerà ad avere una grande influenza sul clima, in particolare nel breve termine e su scala regionale. Dalla metà del 21° secolo, l'entità delle variazioni previste sono notevolmente influenzate dalla scelta dello scenario delle emissioni (Box SPM.1). {11.3, Box 11.1, allegato I}
- La proiezione dei cambiamenti climatici sulla base degli RCP è simile sia in struttura che in grandezza all'AR4, dopo la contabilizzazione delle differenze di scenario. La variabilità complessiva delle proiezioni per gli scenari alti RCP è ridotta rispetto a gli scenari paragonabili utilizzati in AR4, perché in contrasto con gli scenari di emissione SRES utilizzati nell'AR4, gli RCP utilizzati in AR5 sono definiti come percorsi di concentrazione e quindi le incertezze del ciclo del carbonio che influenzano le concentrazioni atmosferiche di CO₂ non sono considerate nelle simulazioni CMIP5. Le proiezioni dell'innalzamento del livello del mare sono più alte che nell'AR4, principalmente grazie al miglioramento dei modelli dei contributi dei ghiacci terrestri. {11.3, 12.3, 12.4, 13.4, 13.5}

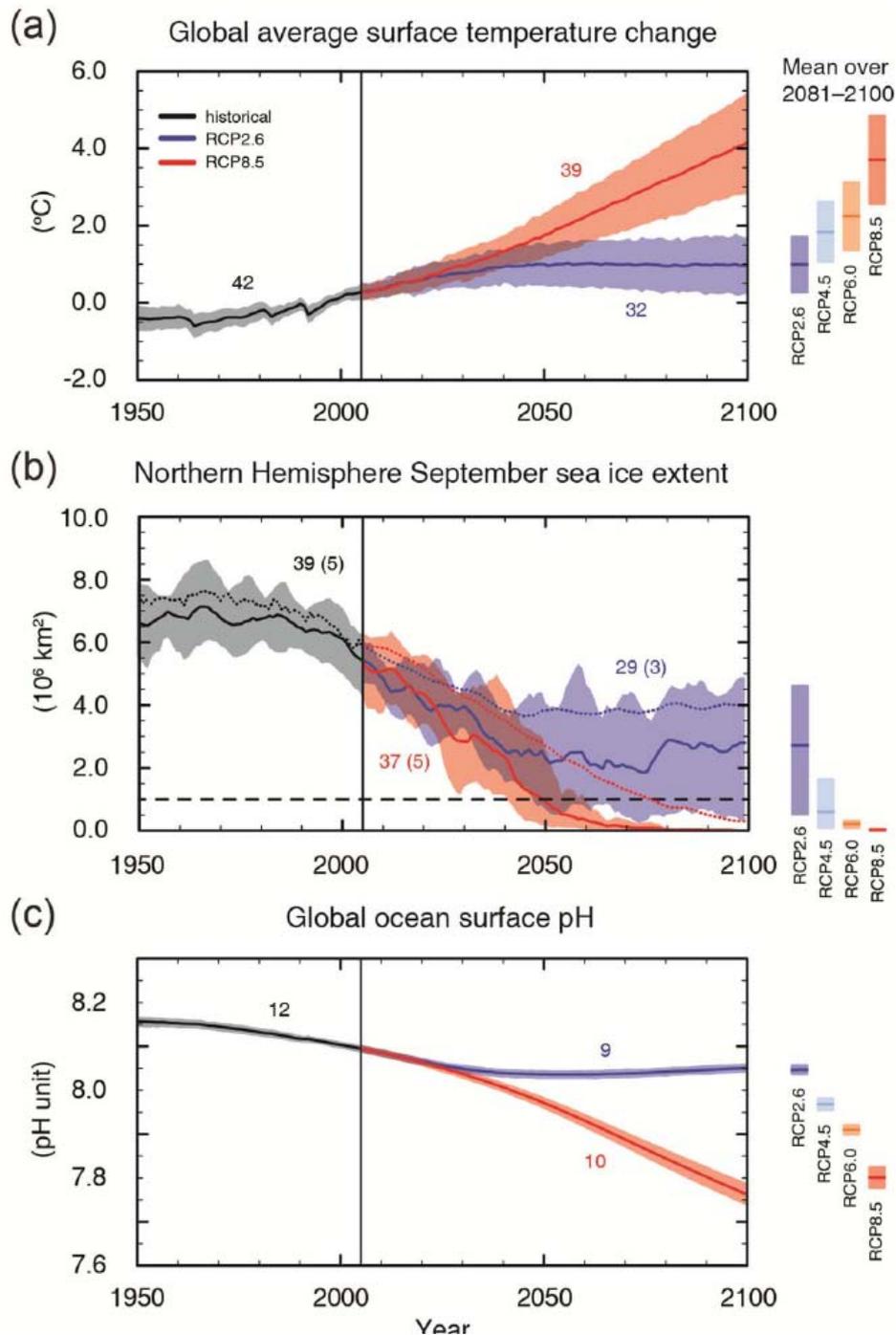


Figure SPM.7: Serie storiche 1950-2100 della simulazione multi-modello CMIP5, per (a) variazione media annuale globale della temperatura della superficie rispetto al 1986-2005 (vedi Tabella SPM.2 per altri periodi di riferimento), (b) l'estensione del ghiaccio del mare dell'emisfero nord a settembre (media mobile a 5 anni) e (c) del pH medio globale dell'oceano superficiale. Le proiezioni delle serie temporali e un intervallo di incertezza (ombreggiatura) sono indicati per gli scenari RCP2.6 (bl u) e RCP8.5 (rosso). Nera (con ombreggiatura grigia) è l'evoluzione storica modellata utilizzando le ricostruzioni storiche dei *forcing*. Le incertezze medie associate al periodo 2081-2100 sono espresse negli scenari RCP come barre verticali colorate. Vengono indicati i numeri dei modelli CMIP5 utilizzati per calcolare la media multi-modello. Vengono forniti per l'estensione del ghiaccio marino (b), la media prevista e l'incertezza (intervallo minimo-massimo) del sottoinsieme di modelli che riproducono il più possibile lo stato di media climatologica 1979-2012 e dell'andamento del ghiaccio marino artico (il numero di modelli è indicato tra parentesi). Per completezza, la media multi-modello CMIP5 è indicata con linee tratteggiate. La linea tratteggiata rappresenta condizioni di quasi assenza di ghiaccio (cioè quando l'estensione del ghiaccio del mare è inferiore a 10⁶ km², per almeno cinque anni consecutivi). Per i dettagli tecnici consultare il materiale supplementare alla Sintesi tecnica {figure 6.28, 12.5, e 12,28-12,31; Figure TS.15, TS.17, e TS.20}

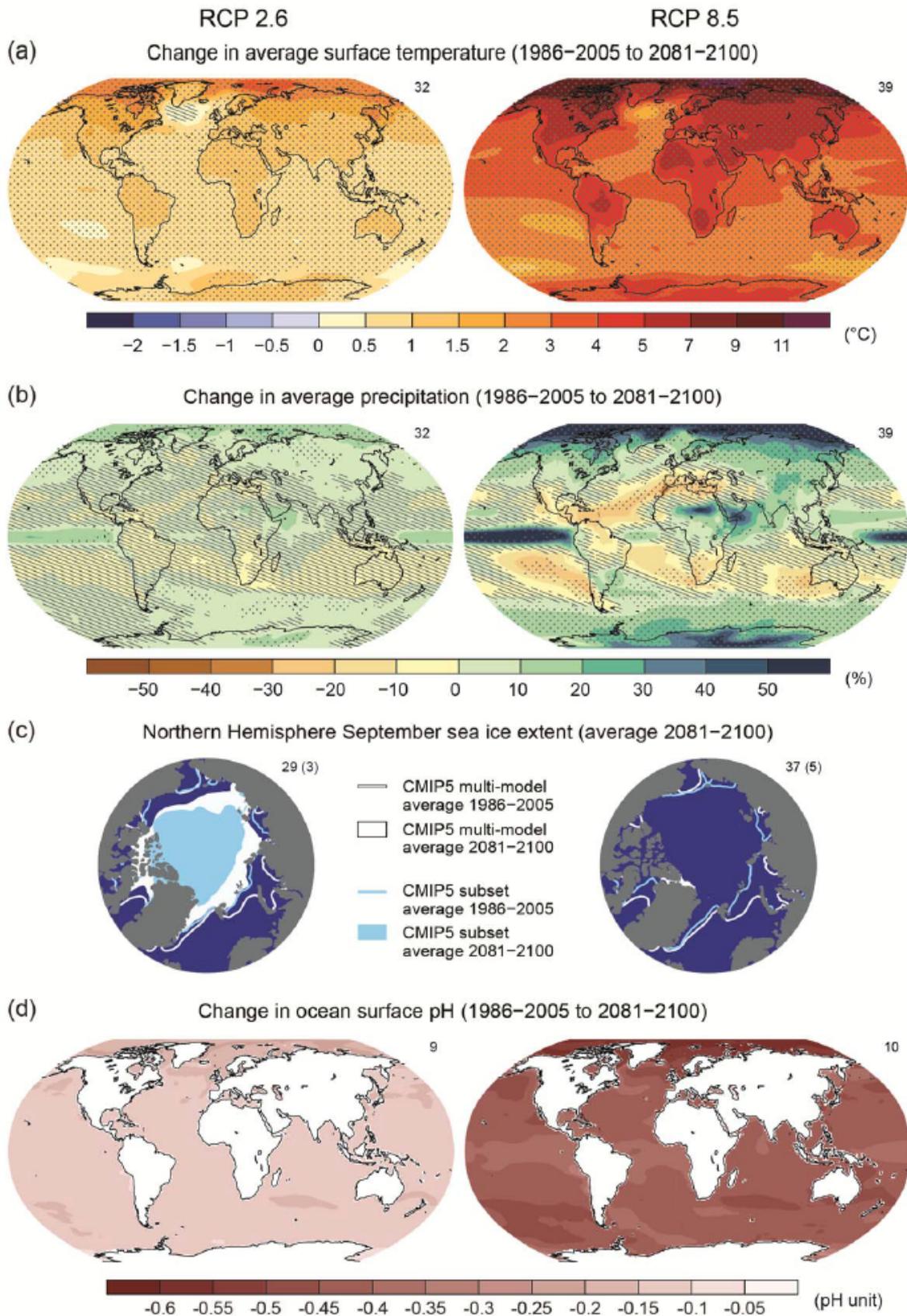


Figure SPM.8: Mappe dei risultati delle medie multi modello CMIP5 per gli scenari RCP2.6 e RCP8.5 n el 2081 -2100 di (a) variazione di temperatura media annua della superficie, (b) variazione media percentuale annua delle precipitazioni, (c) estensione del ghiaccio del mare nell'emisfero settentrionale a settembre e (d) modifiche del pH della superficie dell'oceano. Nei quadri (a), (b) e (d) sono mostrati i cambiamenti relativi al periodo 1986-2005. Il numero di modelli utilizzati per il CMIP5 per calcolare le medie è indicato nell'angolo superiore destro di ciascun quadro. Per i quadri (a) e (b) il tratteggio in dica le regioni dove la media nel

modello è piccola rispetto alla variabilità interna (cioè, meno di una deviazione standard della variabilità interna in una media di 20 anni). La punteggiatura indica le regioni in cui la media multi-modello è grande rispetto alla variabilità interna (cioè, maggiore di due deviazioni standard rispetto alla variabilità interna della media di 20 anni) e dove il 90% dei modelli concordano sul segno del cambiamento (vedi Box 12.1). Nel quadro (c), le linee rappresentano la parte centrale del 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 del mare calcolata su un sottoinsieme di modelli (il numero di modelli indicato tra parentesi) che riproducono il più possibile lo stato climatologico, e il trend tra 1979 e 2012 dell'estensione dei ghiacci del mare artico è data in colore blu chiaro. Per i dettagli tecnici consultare il materiale supplementare alla Sintesi tecnica. {Figure 6.28, 12.11, 12.22 e 12.29; figure TS.15, TS.16, and TS.20}

Variable	Scenario	2046–2065		2081–2100	
		mean	likely range ^c	mean	likely range ^c
Global Mean Surface Temperature Change (°C) ^a	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8
			mean	likely range ^d	mean
Global Mean Sea Level Rise (m) ^b	RCP2.6	0.24	0.17 to 0.32	0.40	0.26 to 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 to 0.33	0.47	0.32 to 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 to 0.32	0.48	0.33 to 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 to 0.38	0.63	0.45 to 0.82

Tabella SPM.2: Le proiezioni della variazione della temperatura media globale della superficie e dell'innalzamento medio globale del livello del mare per la metà e la fine del 21° secolo rispetto al periodo di riferimento del 1986-2005. {12.4; Tabella 12.2, Tabella 13.5}

Note: (a) Sulla base del gruppo di modelli CMIP5; anomalie calcolate rispetto al 1986-2005. Utilizzando HadCRUT4 e le sue stime dell'incertezza (intervallo di confidenza 5-95%), il riscaldamento osservato per il periodo di riferimento 1986-2005 è 0,61 [0,55-0,67] °C per il 1850-1900, e 0,11 [0,09-0,13] °C per il 1980-1999, il periodo di riferimento dell'AR4 per le proiezioni. Gli intervalli probabili non sono stati valutati qui rispetto ai precedenti periodi di riferimento, perché non sono generalmente disponibili metodi in letteratura per combinare le incertezze dei modelli e delle osservazioni. Combinare i cambiamenti previsti e osservati non terrebbe conto dei potenziali effetti delle distorsioni dei modelli rispetto alle osservazioni, e per la variabilità interna nel periodo di riferimento per le osservazioni {2.4, 11.2, tabelle 12.2 e 12.3}.

(b) Anomalie calcolate rispetto al periodo 1986-2005 sulla base di 21 modelli CMIP5. Dove i risultati CMIP5 non erano disponibili per un particolare AOGCM e un particolare scenario, sono stati stimati come spiegato nel capitolo 13, Tabella 13.5. I contributi dal rapido dinamico cambiamento dello strato di ghiaccio e dello stoccaggio antropogenico di acqua sulla terra, si considerano avere distribuzioni di probabilità uniformi e come in gran parte indipendenti dagli scenari di emissione. Questo trattamento non implica che i contributi in questione non dipendono dallo scenario seguito, solo che lo stato attuale delle conoscenze non consente una valutazione quantitativa di tale dipendenza. Sulla base delle attuali conoscenze, solo il crollo del settore marino della calotta antartica, se iniziato, potrebbe causare un aumento del livello medio globale del mare sostanzialmente al di sopra dell'intervallo probabile durante il 21° secolo. C'è *confidenza media* che questo contributo supplementare non dovrebbe superare alcuni decimetri di innalzamento del livello del mare nel corso del 21° secolo.

(c) Calcolato dalle proiezioni dei modelli come intervallo 5-95%. Questi intervalli vengono poi valutati con i modelli per essere affidabili dopo la contabilizzazione di ulteriori incertezze o dei diversi livelli di confidenza. Per le proiezioni del cambiamento della temperatura media superficiale globale nel 2046-2065 la *confidenza è media*, perché l'importanza relativa della variabilità interna e l'incertezza delle forzanti gassose non GHG e delle risposte relative, sono maggiori che per il 2081-2100. Le variabilità probabili per il 2046-2065 non tengono conto della possibile influenza di fattori che sono stati usati per la valutazione a breve termine (2016-2035) della variazione della temperatura media globale superficiale che è inferiore all'intervallo 5-95% dei modelli, perché l'influenza di questi fattori sulle proiezioni a lungo termine non è stata quantificata per insufficiente comprensione scientifica. { 11.3 }.

(d) Calcolato dalle proiezioni dei modelli come intervallo 5-95%. Questi intervalli vengono poi valutati con i modelli per essere affidabili dopo la contabilizzazione di ulteriori incertezze o dei diversi livelli di confidenza. Per le proiezioni dell'innalzamento del livello medio globale del mare la *confidenza è media* per entrambi gli orizzonti temporali.

E.1 Atmosfera: Temperature

Il cambiamento della temperatura media globale superficiale per la fine del 21° secolo è probabilmente superiore a 1,5 °C, relativamente al periodo 1850-1900, per tutti gli scenari RCP tranne RCP2.6. È probabile che superi i 2 °C per RCP6.0 e RCP8.5, e più probabile che no che superi i 2 °C per RCP4.5. Il riscaldamento continuerà oltre il 2.100 sotto tutti gli scenari RCP tranne che RCP2.6. Il riscaldamento continuerà a manifestare variabilità interannuali e decennali e non sarà uniforme a livello regionale (vedi figure SPM.7 e SPM.8). {11.3, 12.3, 12.4, 14.8}

- La variazione della temperatura media globale superficiale per il periodo 2016-2035 rispetto al 1986-2005 sarà *probabilmente* nell'intervallo 0.3 °C – 0.7 °C (*media confidenza*). Questa valutazione si basa su molteplici evidenze e assume che non ci saranno grandi eruzioni vulcaniche o cambiamenti secolari nell'irraggiamento solare totale. Gli aumenti a breve termine relativi alla variabilità interna naturale nelle temperature stagionali medie e annuali dovrebbero essere più grandi ai tropici e nelle zone subtropicali rispetto alle medie latitudini (*alta confidenza*). {11.3}
- L'aumento delle temperature medie globali superficiali per il periodo 2081-2100 rispetto al 1986-2005 è previsto che rientri *probabilmente* negli intervalli derivati dalle simulazioni del modello CMIP5, cioè 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). La regione artica si scalderà più rapidamente della media mondiale e il riscaldamento medio terrestre sarà più forte che sopra l'oceano (*confidenza molto elevata*) (vedi figure SPM.7 e SPM.8 e Tabella SPM.2). {12,4, 14,8}
- Rispetto alla media dal 1850 al 1900, la variazione di temperatura globale superficiale alla fine del 21° secolo si prevede che sarà *probabilmente* superiore a 1,5 °C per RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5 (*alta confidenza*). Il riscaldamento è *probabilmente* superiore a 2 °C per RCP6.0 e RCP8.5 (*alta confidenza*), *più probabile che no che* superi i 2 °C per RCP4.5 (*alta confidenza*), ma difficilmente supera i 2 °C per RCP2.6 (*media confidenza*). Il riscaldamento non dovrebbe superare i 4 °C per RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0 (*alta confidenza*) ed è *probabile* quanto improbabile che superi i 4 °C per RCP8.5 (*media confidenza*). {12.4}
- È *praticamente certo* che con l'aumento delle temperature medie globali ci saranno più frequenti sbalzi caldi di temperatura e meno frequenti sbalzi freddi nella maggior parte delle aree terrestri su scale temporali giornaliere e stagionali. È *molto probabile* che le ondate di calore si verifichino con una frequenza ed una durata maggiore. Continueranno a verificarsi occasionali eventi freddi invernali estremi (vedi Tabella SPM.1). {12.4}

E.2 Atmosfera: Ciclo dell'acqua

Le variazioni del ciclo globale dell'acqua in risposta al riscaldamento dopo il 21° secolo non saranno uniformi. La differenza nelle precipitazioni tra le regioni e le stagioni umide e secche aumenterà, anche se ci possono essere delle eccezioni regionali (vedi Figura SPM.8). {12.4, 14.3}

- Le modifiche previste per il ciclo dell'acqua nel corso dei prossimi decenni mostrano un andamento sui modelli a larga scala simili a quelli della fine del secolo, ma con minore intensità. I cambiamenti nel breve termine su scala regionale saranno fortemente influenzati

dalla variabilità interna naturale e possono essere influenzate dalle emissioni di aerosol di origine antropica. {11.3}

- Le alte latitudini e l'Oceano Pacifico equatoriale andranno *probabilmente* incontro ad un aumento delle precipitazioni medie annue entro la fine di questo secolo, secondo lo scenario RCP8.5. In molte regioni aride subtropicali e a media latitudine, le precipitazioni medie *probabilmente* diminuiranno, mentre in molte regioni umide a media latitudine le precipitazioni medie *probabilmente* aumenteranno entro la fine di questo secolo, secondo lo scenario RCP8.5 (vedi Figura SPM.8). {7.6, 12.4, 14.3}
- Eventi estremi di precipitazione su gran parte delle masse terrestri a medie latitudini e nelle regioni umide tropicali *molto probabilmente* diventeranno più intensi e più frequenti per la fine di questo secolo, dati gli aumenti medi della temperatura della superficie terrestre (vedi Tabella SPM.1). {7.6, 12.4}
- A livello globale, è *probabile* che l'area interessata dai sistemi monsonici aumenterà nel 21° secolo. Mentre i venti monsonici è *probabile* che si indeboliscano, le precipitazioni monsoniche è *probabile* che si intensifichino per l'aumento dell'umidità atmosferica. Le date d'arrivo dei monsoni è *probabile* che anticipino o che non cambino molto. Le date di fine dei monsoni *probabilmente* saranno ritardate, con un conseguente allungamento della stagione dei monsoni in molte regioni. {14.2}
- Vi è *alta confidenza* che le oscillazioni di El Niño meridionale (ENSO) rimarranno l'elemento dominante della variabilità interannuale nel Pacifico tropicale, con effetti globali nel 21° secolo. A causa dell'aumento dell'umidità, ENSO probabilmente intensificherà la variabilità delle precipitazioni su scala regionale. L'ampiezza delle variazioni naturali delle precipitazioni correlate a ENSO sono di grande portata e quindi la *confidenza* in ogni specifico cambiamento previsto per ENSO e i relativi fenomeni regionali per il 21° secolo rimane *bassa*. {5.4, 14.4}

E.3 Atmosfera: Qualità dell'aria

- La gamma delle proiezioni della qualità dell'aria (ozono e PM2.5¹⁷ nell'aria in prossimità della superficie) dipende principalmente dalle emissioni (compreso il CH₄), piuttosto che dal cambiamento fisico del clima (*media confidenza*). Vi è *alta confidenza* che a livello globale, il riscaldamento diminuisce lo strato dell'ozono su superficie. Alti livelli di CH₄ (RCP8.5) possono compensare questa diminuzione, aumentando lo strato dell'ozono su superficie dal 2100 in media di circa 8 ppb (2.5% dei livelli attuali) rispetto a scenari con piccole modifiche di CH₄ (RCP4.5, RCP6.0) (*alta confidenza*). {11.3}
- L'evidenza delle osservazioni e dei modelli indica che, considerando invariati gli altri fattori, temperature di superficie localmente superiori in regioni inquinate attiveranno feedback regionali nelle emissioni chimiche locali che aumenteranno i livelli di picco dell'ozono e di PM2.5 (*media confidenza*). Per il PM2.5, i cambiamenti climatici possono alterare le fonti degli aerosol naturali così come rimuoverle per precipitazione, ma nessun livello di confidenza è collegato con l'impatto globale dei cambiamenti climatici sulle distribuzioni di PM2.5. {11.3}

E.4 Oceani

L'oceano continuerà a riscaldarsi globalmente durante il 21° secolo. Il calore penetrerà dalla superficie verso l'oceano profondo e influenzerà la circolazione oceanica. {11.3, 12.4}

¹⁷ PM2.5 si riferisce alle particelle con un diametro inferiore a 2,5 micrometri, una misura della concentrazione atmosferica di aerosol.

- È previsto un forte riscaldamento della superficie del mare delle regioni tropicali e di quelle subtropicali dell'emisfero settentrionale. A maggiore profondità il riscaldamento sarà più pronunciato nell'oceano del sud (*alta confidenza*). Le stime più affidabili del riscaldamento dell'oceano nei primi cento metri vanno da circa 0,6 °C (RCP2.6) a 2,0 °C (RCP8.5), e da circa 0,3 °C (RCP2.6) a 0,6 °C (RCP8.5) ad una profondità di circa 1000 m per la fine del 21° secolo. {12.4, 14.3}
- È *molto probabile* che le correnti di risalita nell'atlantico meridionale (AMOC) si indeboliranno nel 21° secolo. Le migliori stime¹ e gli intervalli¹⁸ per la riduzione vengono dal CMIP5 e sono 11% (da 1 a 24%) per RCP2.6 e 34% (12-54%) per RCP8.5. È *probabile* che ci sarà qualche calo di AMOC dal 2050, ma ci possono essere alcuni decenni in cui AMOC aumenterà per effetto della grande variabilità interna. {11.3, 12.4}
- È *molto improbabile* che AMOC subirà una brusca transizione o un collasso nel 21° secolo per gli scenari considerati. Vi è *scarsa confidenza* nel valutare l'evoluzione di AMOC al di là del 21° secolo a causa del numero limitato di analisi e dei risultati ancora incerti. Tuttavia, un collasso al di là del 21° secolo a causa del forte e costante riscaldamento non può essere escluso. {12.5}

E.5 Criosfera

È molto probabile che la copertura di ghiaccio marino artico continuerà a ridursi e assottigliarsi, e che la copertura di neve dell'emisfero nord in primavera diminuirà nel corso del 21° secolo all'aumentare della temperatura media globale superficiale. Il volume globale dei ghiacciai diminuirà ulteriormente. {12.4, 13.4}

- Si prevedono durante tutto l'anno riduzioni dell'estensione media del ghiaccio del mare artico per la fine del 21° secolo secondo le stime medie multi-modello. Queste riduzioni vanno dal 43% per il RCP2.6 al 94% per il RCP8.5 nel mese di settembre e dall'8% per il RCP2.6 al 34% per RCP8.5 a febbraio (*media confidenza*) (vedi figure SPM.7 e SPM.8). {12.4}
- Sulla base di una valutazione del sottoinsieme di modelli che riproducono più da vicino lo stato climatologico medio e la tendenza dell'estensione del ghiaccio nel mare artico tra il 1979 e il 2012, è *probabile* che per RCP8.5 il mare artico nel mese di settembre sia quasi privo di ghiaccio¹⁹ prima della metà del secolo (*media certezza*) (vedi figure SPM.7 e SPM.8). Per gli altri scenari, la previsione di quando l'Artico potrebbe diventare quasi privo di ghiacci nel mese di settembre nel 21° secolo non può essere fatta con sicurezza {11.3, 12.4, 12.5}
- In Antartide, una diminuzione dell'estensione e del volume del ghiaccio marino è prevista con *scarsa confidenza* per la fine del 21° secolo, se la temperatura superficiale media globale aumenta. {12.4}
- Entro la fine del 21° secolo, il volume globale ghiacciai, esclusi i ghiacciai della periferia dell'Antartide, dovrebbe scendere dal 15 al 55% per RCP2.6 e dal 35 all'85% per RCP8.5 (*media certezza*). {13.4, 13.5}
- L'area della copertura nevosa primaverile dell'Emisfero Nord dovrebbe diminuire del 7% per il RCP2.6 e del 25% per il RCP8.5 dalla fine del 21° secolo secondo la media dei modelli (*media certezza*). {12.4}

¹⁸Gli intervalli in questo paragrafo sono calcolati con un modello CMIP5

¹⁹ Le condizioni nel mare Artico sono indicate come quasi prive di ghiaccio quando l'estensione del ghiaccio del mare è inferiore a 106 km² per almeno cinque anni consecutivi.

- È *praticamente certo* che in l'estensione del permafrost prossimo alla superficie alle alte latitudini settentrionali sarà ridotta a causa degli aumenti della temperatura globale media della superficie. Entro la fine del 21° secolo, la zona di permafrost in prossimità della superficie (sopra i -3,5 m) dovrebbe diminuire tra il 37% (RCP2.6) e l'81% (RCP8.5) secondo la media dei modelli (*media certezza*). {12.4}

E.6 Livello del mare

Il livello medio del mare globale continuerà a crescere nel corso del 21° secolo (vedi Figura SPM.9). In tutti gli scenari RCP il tasso di aumento del livello del mare sarà molto probabilmente superiore a quello osservato durante il periodo 1971-2010 a causa di aumento del riscaldamento degli oceani e della maggiore perdita di massa dei ghiacciai e delle calotte polari. {13,3}

- La confidenza nelle proiezioni di innalzamento del livello medio globale del mare è cresciuta dall'AR4 grazie al miglioramento della comprensione fisica dei fenomeni che determinano il livello del mare, per il migliore accordo tra i modelli del sistema e le osservazioni strumentali, e per l'inclusione delle variazioni dinamiche delle calotte polari. {13,3-13,5}
- L'aumento medio globale del livello del mare per il periodo 2081-2100 relativo al periodo 1986-2005 sarà probabilmente compreso tra 260 e 550 cm per il RCP2.6, 0.32-0.63 m per il RCP4.5, 0.33-0.63 m per il RCP6.0, e 0.45-0.82 m per il RCP8.5 (*media confidenza*). Per RCP8.5, l'aumento entro il 2100 è di 0.52-0.98 m, con un tasso tra il 2081-2100 tra gli 8 e i 16 mm/anno (*media confidenza*). Questi intervalli sono derivati dalle proiezioni climatiche CMIP5, in combinazione con i modelli e con i contributi della letteratura scientifica che tratta i ghiacciai e le coperture di ghiaccio. (vedi figura SPM.9, Ping SPM.2). {13.5}
- Nelle proiezioni RCP, la dilatazione termica contribuisce dal 30 al 55% dell'innalzamento medio globale del livello del mare nel 21° secolo, e i ghiacciai contribuiscono con un apporto che andrà dal 15 al 35%. L'aumentato scioglimento del ghiaccio superficiale della calotta della Groenlandia supererà l'aumento delle precipitazioni nevose, con un conseguente contributo positivo delle variazioni del bilancio della massa superficiale sul futuro del livello del mare (*alta confidenza*). Mentre lo scioglimento del manto di ghiaccio superficiale rimarrà limitato, è previsto un aumento delle precipitazioni nevose sulla calotta antartica (*media confidenza*), che corrisponde a un contributo negativo al futuro livello del mare, dalle variazioni di bilancio della massa superficiale. I cambiamenti nei flussi in uscita da entrambe le calotte polari *probabilmente* si combineranno nel dare un contributo di 0,03-0,20 m dal 2081-2100 (*confidenza media*). {13.3-13.5}
- Sulla base delle attuali conoscenze, solo il collasso della calotta polare antartica, se avviato, potrebbe causare un innalzamento del livello medio globale del mare notevolmente al di sopra dei limiti probabili nel corso del 21° secolo. Tuttavia, vi è *media confidenza* che questo contributo supplementare non superi alcuni decimetri di innalzamento del livello del mare durante il 21° secolo. {13.4, 13.5}
- Sono state considerate le basi per le proiezioni più elevate di innalzamento del livello del mare medio globale nel 21° secolo e si è concluso che non vi sono prove attualmente sufficienti per valutare la probabilità di livelli specifici al di sopra dell'intervallo di probabilità valutato. Molte proiezioni di modelli semi-empirici di innalzamento del livello medio globale del mare sono più alte delle proiezioni basate sul modello del processo su proiezioni (fino a circa due volte più grandi), ma non vi è consenso nella comunità scientifica circa la loro affidabilità e vi è quindi *scarsa confidenza* nelle loro proiezioni. {13.5}

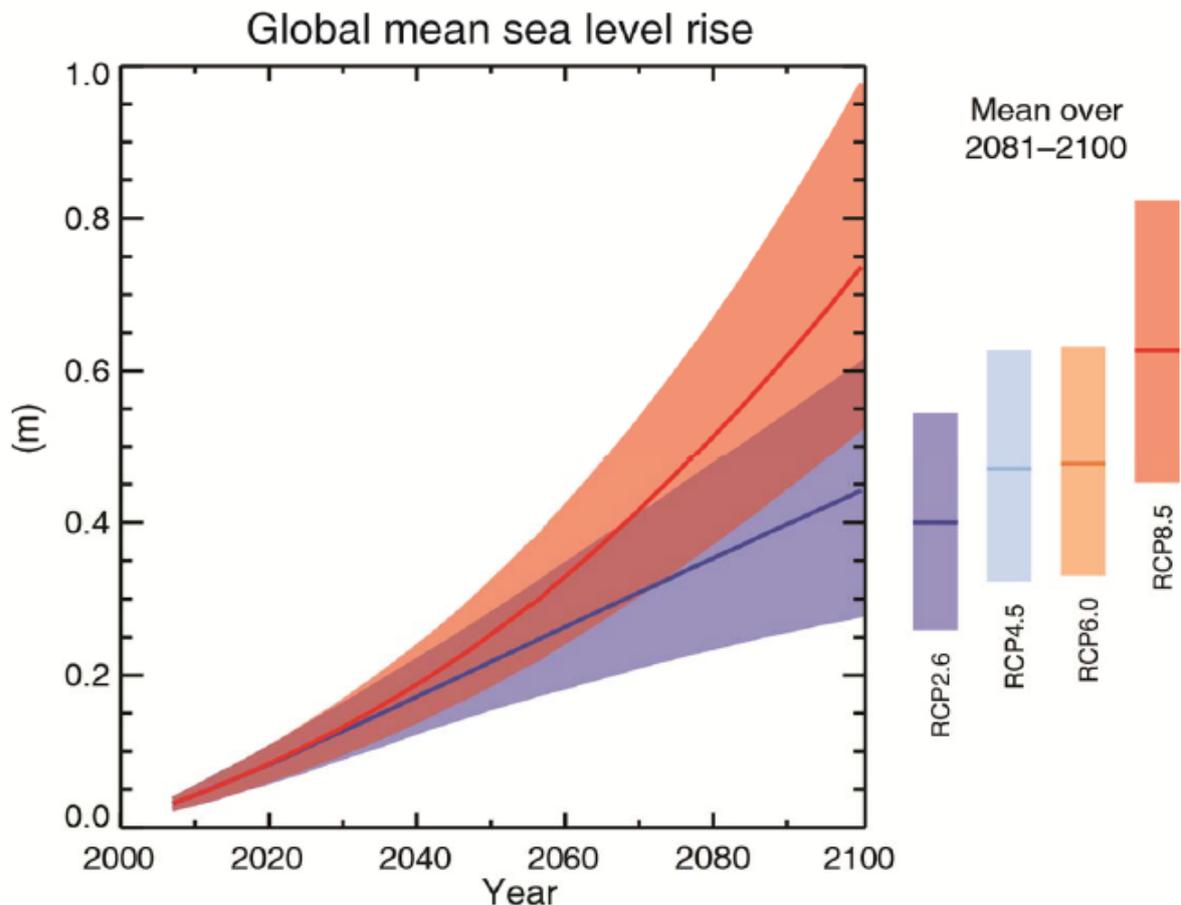


Figure SPM.9: Proiezioni di innalzamento del livello medio globale del mare nel 21° secolo relativo al periodo 1986-2005 dalla combinazione dei risultati del CMIP5 insieme con i modelli di processo per gli scenari RCP2.6 e RCP8.5. La gamma di probabilità valutata è indicata con una banda ombreggiata. Gli intervalli di probabilità valutati per la media nel periodo 2081-2100 per tutti gli scenari RCP sono rappresentati da barre verticali colorate, con il corrispondente valore mediano raffigurato da una linea orizzontale. {Tabella 13.5, Figure 13.10 e 13.11; Figure TS.21 e TS.22}

- L'innalzamento del livello del mare non sarà uniforme. Entro la fine del 21° secolo, è molto probabile che il livello del mare crescerà in più di circa il 95% della superficie dell'oceano. Circa il 70% delle coste in tutto il mondo sperimenteranno il cambiamento del livello del mare per almeno il 20% della variazione prevista del livello medio globale. {13.3–13.5}

E.7 Ciclo del carbonio e altri cicli biogeochimici

Il cambiamento climatico influenzerà i processi del ciclo del carbonio così da aggravare l'aumento di CO₂ nell'atmosfera (alta confidenza). L'ulteriore assorbimento di carbonio da parte dell'oceano aumenterà l'acidificazione degli oceani. {6,4}

- L'assorbimento dell'oceano di CO₂ di origine antropogenica continuerà in tutte i quattro scenari RCP fino al 2100, con maggiore assorbimento per gli scenari con le concentrazioni superiori (confidenza *molto alta*). L'evoluzione futura dell'assorbimento di carbonio nel suolo è meno certa. La maggior parte dei modelli indicano che le proiezioni dell'assorbimento terrestre del

carbonio continuerà in tutti gli RCP, ma alcuni modelli dettano una perdita di carbonio nel suolo a causa dell'effetto combinato dei cambiamenti climatici e l'uso dei terreni. {6,4}

- Sulla base dei modelli del sistema Terra, vi è *alta confidenza* che il *feedback* tra il clima e il ciclo del carbonio è positivo nel 21° secolo; cioè che il cambiamento climatico compenserà parzialmente gli aumenti dell'assorbimento di carbonio da parte di terra e mare a causa dall'aumento delle emissioni di CO₂ in atmosfera. Come risultato la maggior parte della CO₂ antropogenica emessa rimarrà nell'atmosfera. Il *feedback* positivo tra il clima e il ciclo del carbonio in una scala temporale secolo/millennaria è supportato dalle osservazioni e dalle modellazioni paleoclimatiche. {6.2, 6.4}
- I modelli del sistema Terra prevedono un aumento globale dell'acidificazione degli oceani per tutti gli scenari RCP. La corrispondente diminuzione del pH della superficie dell'oceano per la fine del 21° secolo è compresa nell'intervallo di 0.06-0.07 per il RCP2.6, 0.14-0.15 per il RCP4.5, 0.20-0.21 per il RCP6.0 e 0.30-0.32 per il RCP8.5 (vedi figure SPM.7 e SPM.8). {6,4}
- Le emissioni cumulative²⁰ di CO₂ per il periodo 2012-2100 compatibili con le concentrazioni atmosferiche di CO₂ degli RCP, derivate da 15 modelli del sistema Terra, si estendono negli intervalli 140-410 GtC per RCP2.6, 595-1005 GtC per RCP4.5, 840-1250 GtC per RCP6.0 e 1415-1910 GtC per RCP8.5 (vedi Tabella SPM.3). {6,4}

Scenario	Emissioni cumulative di CO ₂ tra il 2012 e il 2100 in GtC ^(a)	
	Media	Intervallo
RCP 2.6	270	140-410
RCP 4.5	780	595-1005
RCP 6.0	1060	840-1250
RCP 8,5	1685	1415-1910

(a) 1 Gt di carbonio corrisponde a 3,67 Gt di anidride carbonica

Tabella SPM.3: Emissioni cumulative di CO₂ dal 2012 al 2100 compatibili con le concentrazioni atmosferiche RCP simulate dai CMIP5 *Earth System Models*. {6.4, Tabella 6.12}

- Entro il 2050, le emissioni annue di CO₂, secondo i modelli del sistema Terra RCP2.6, sono inferiori rispetto al 1990 (dal 14% al 96%) (vedi figura TS.19). Entro la fine del 21° secolo, circa la metà dei modelli prevede emissioni leggermente sopra lo zero, mentre l'altra metà suppone una rimozione netta di CO₂ dall'atmosfera. {6,4}
- Il rilascio di CO₂, o di CH₄ in atmosfera per effetto del disgelo dello stock di carbonio del permafrost nel 21° secolo è previsto nell'intervallo da 50 a 250 GtC per RCP8.5 (*scarsa confidenza*). {6,4}

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

Le emissioni cumulative di CO₂ determinano in gran parte il riscaldamento medio globale della superficie terrestre alla fine del 21° secolo e oltre (vedi Figura SPM.10). La maggior parte degli aspetti del cambiamento climatico persisteranno per molti secoli, anche se si fermano le emissioni di CO₂. Quest'aspetto richiede un sostanziale impegno multisecolare per il cambiamento del clima causato dalle emissioni di CO₂ passate, presenti e future. {12.5}

²⁰ Da combustibili fossili, cemento, industria, nonché dai rifiuti.

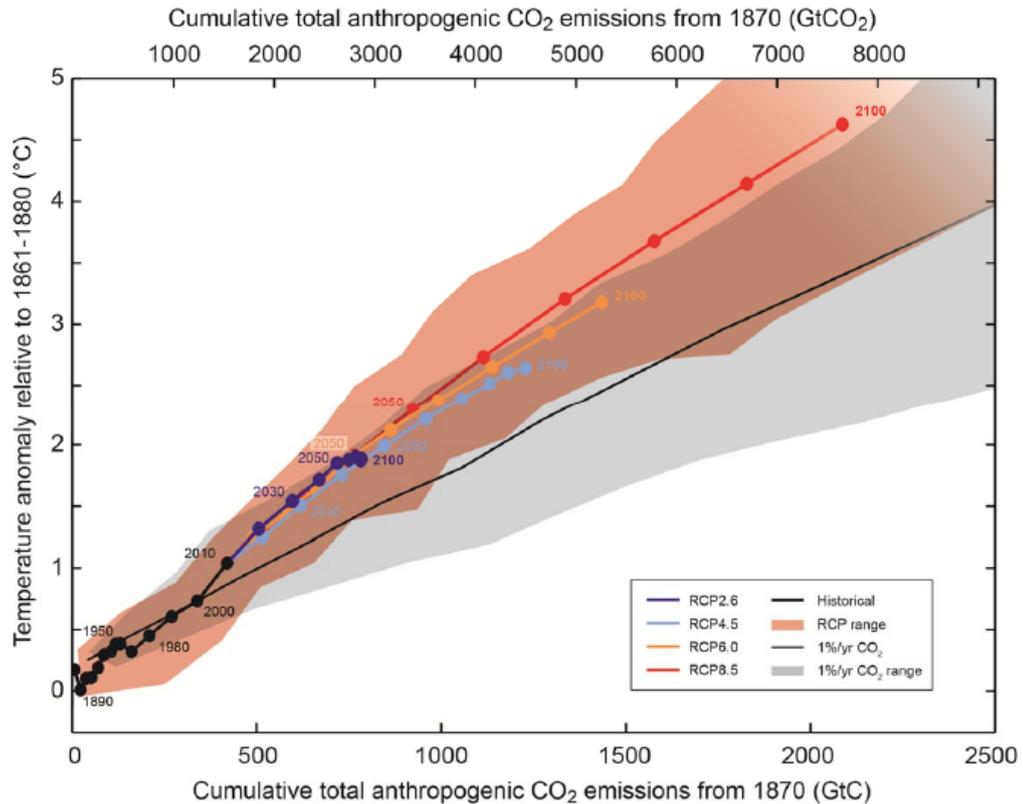


Figure SPM.10: Aumento della media della temperatura globale superficiale in funzione dell'accumulo totale delle emissioni globali di CO₂ provenienti da varie li nee di analisi scientifica. I risultati multi-modello di una gerarchia di modelli del ciclo climatico del carbonio per tutti gli RCP fino al 2100 sono indicati con linee colorate e medie decadal (punti). Alcune medie decadal sono indicate per chiarezza (ad esempio 2050 indica il decennio 2041-2050). I risultati dei modelli oltre il periodo storico (1860-2010) sono indicati in nero. Il pennacchio colorato illustra la dispersione del multi-modello nei quattro scenari RCP e si attenua con la diminuzione del numero di modelli disponibili in RCP8.5. La media e la variabilità della simulazione del multi modello CMIP5, con un forcing causato da un aumento della CO₂ dell'1% annuo (simulazioni all'1% di CO₂ per ogni anno), sono rappresentati dalla sottile linea nera e dalla zona grigia. Per una specifica quantità di emissioni cumulative di CO₂, le simulazioni all'1% per anno mostrano un riscaldamento inferiore a quello espresso negli RCP, che includono i driver aggiuntivi non-CO₂. Tutti i valori sono dati in rapporto al periodo di riferimento 1861-1880. Le medie decadal sono collegati da linee rette. {Figura 12.45; TFE.8, Figura 1}

- Il totale delle emissioni di CO₂ e la risposta della temperatura superficiale media globale sono approssimativamente correlate linearmente (vedi Figura SPM.10). Ogni livello di riscaldamento è associato con un intervallo di emissioni cumulative di CO₂ e ne consegue quindi, ad esempio, che più elevate emissioni nei precedenti decenni implicano minori emissioni più tardi. {12.5}
- Limitare il surriscaldamento dovuto alle sole emissioni antropogeniche di CO₂ a meno di 2 °C rispetto al periodo 1861-1880²² con una probabilità > del 33%, > del 50% e > del 66%, richiederà di mantenere le emissioni cumulative di CO₂ da tutte le fonti antropogeniche tra 0 e circa 1560 GtC, tra 0 e circa 1210 GtC, e tra 0 e circa 1000 GtC rispettivamente, a partire da quel periodo²³. Gli importi superiori di gamma sono ridotti a circa 880 GtC, 840 GtC e 800 GtC

²¹ La quantificazione di questa gamma di emissioni di CO₂ prevede di considerare i driver diversi dalla CO₂.

²² Il primo periodo di 20 anni a disposizione dei modelli.

²³ Sulla base della valutazione della *Transient Climate Response* alle emissioni di carbonio totali (TCRE) (si veda la Sezione D.2).

rispettivamente, tenendo in conto i *forcing* non-CO2 come in RCP2.6. Un valore di 531 [446-616] GtC, è stata già emesso fino al 2011. { 12.5 }

- Un obiettivo inferiore di riscaldamento, o una maggiore probabilità di rimanere al di sotto di un *target* specifico di riscaldamento, richiede un accumulo di emissioni di CO2 inferiore. La contabilizzazione degli effetti di riscaldamento degli aumenti dei gas ad effetto serra non-CO2, le riduzioni degli aerosol, o il rilascio di gas a effetto serra dal permafrost, abbasserebbero le emissioni cumulative di CO2 consentite per un *target* specifico di riscaldamento (vedi Figura SPM.10). {12.5}
- Una parte importante dei cambiamenti climatici derivanti dalle emissioni antropogeniche di CO2 è irreversibile su una scala di tempo multi-secolare e millenaria, tranne nel caso di una grande rimozione netta di CO2 dall'atmosfera per un periodo prolungato. Le temperature superficiali rimarranno pressoché costanti a livelli elevati per molti secoli dopo una completa cessazione del contributo antropogenico. Le emissioni di CO2 dovute al trasferimento di calore dalla superficie alla profondità dell'oceano per lunghi periodi di tempo, causeranno un riscaldamento dell'oceano che continuerà per secoli. A seconda dello scenario, dal 15 al 40% circa della CO2 emessa rimarrà nell'atmosfera per più di 1000 anni. {Box 6.1, 12.4,12.5}
- È *praticamente certo* che l'aumento del livello medio globale del mare continuerà oltre il 2100, con il livello del mare che aumenterà a causa della dilatazione termica che persisterà per molti secoli. I pochi risultati dei modelli disponibili che vanno oltre il 2100 indicano un aumento del livello medio globale del mare al di sopra del livello pre-industriale dal 2300 che sarà inferiore a 1 m per un *forcing* radiativo che corrisponde a concentrazioni di CO2 che toccano un picco per poi diminuire e rimanere sotto le 500 ppm, come nello scenario RCP2.6. Per un *forcing* radiativo che corrisponde ad una concentrazione di CO2 superiore a 700 ppm ma inferiore a 1500 ppm, come nella scenario RCP8.5, l'aumento previsto è da 1 m a più di 3 m (*media confidenza*). {13.5}
- La perdita di massa prolungata delle calotte polari potrebbe causare un maggiore aumento del livello del mare e una parte della perdita di massa potrebbe essere irreversibile. Vi è *alta confidenza* che un riscaldamento al di là di una data soglia comporterebbe la 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 tale soglia del riscaldamento globale medio rispetto al periodo pre-industriale è maggiore di circa 1 °C (*bassa confidenza*) ed inferiore a circa 4 °C (*media confidenza*). È *probabile* che avvenga una brusca e irreversibile perdita di ghiaccio causata da una potenziale instabilità della calotta polare antartica in risposta al *forcing*, ma le prove attuali non sono sufficienti per fornire una valutazione quantitativa. {5.8, 13.4, 13.5}
- Sono stati proposti metodi che mirano a modificare intenzionalmente il sistema climatico per contrastarne i cambiamenti, e sono definiti *geoingegneria*. La scarsità di risultati scientifici preclude una valutazione quantitativa esauriente sia della gestione della radiazione solare (SRM, *solar radiation management*) che della rimozione dell'anidride carbonica (CDR, *carbon direct removal, air capture*) e del loro impatto sul sistema climatico. I metodi di CDR hanno limitazioni biogeochimiche e tecnologiche per la loro potenziale applicabilità su scala globale. C'è scarsa conoscenza per quantificare in che misura le emissioni di CO2 potrebbero essere compensate dalla CDR su una scala temporale secolare. La modellazione indica che i metodi di SRM, se realizzabili, hanno il potenziale per compensare sostanzialmente un aumento della temperatura globale, ma potrebbero anche modificare il ciclo globale dell'acqua, e non

ridurrebbero l'acidificazione degli oceani. Dopo che gli SRM fossero stati terminati, per qualsiasi motivo, vi è *alta confidenza* che la temperatura della superficie terrestre aumenterebbe molto rapidamente a valori coerenti con il *forcing* dei gas serra. CDR e SRM sono due metodi che hanno effetti collaterali e conseguenze a lungo termine su scala globale. {6.5, 7.7}

Box SPM.1: Gli scenari “Representative Concentration Pathways (RCP)”

Le proiezioni dei cambiamenti climatici in WGI richiedono informazioni sulle future emissioni e sulle concentrazioni di gas ad effetto serra, aerosol e gli altri *driver* climatici. Queste informazioni sono spesso espresse come scenari delle attività umane che non sono valutate nella presente relazione. Gli scenari IPCC WGI si sono focalizzati sulle emissioni antropogeniche e non includono i cambiamenti nei driver naturali come l'energia solare o i *forcing* delle emissioni vulcaniche o naturali, per esempio, di CH₄ e N₂O.

Per il Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC, la comunità scientifica ha definito un insieme di quattro nuovi scenari, indicati come *percorsi di concentrazione rappresentativi* (RCP, vedi glossario). Sono identificati dal loro *forcing* 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. Secondo i risultati del *Coupled Model Intercomparison Project Fase 5 (CMIP5)*, questi valori devono essere intesi come puramente indicativi, in quanto il *forcing* climatico risultante da tutti i *driver* varia tra i modelli a causa delle loro caratteristiche specifiche e del trattamento dei *forcing* climatici di breve durata. Questi quattro RCP includono uno scenario di mitigazione che porta ad un livello molto basso il *forcing* (RCP2.6), due scenari di stabilizzazione (RCP4.5 e RCP6), e uno scenario con emissioni molto elevate di gas a effetto serra (RCP8.5). Gli RCP possono così rappresentare l'intera gamma delle politiche per il clima del 21° secolo, rispetto alla mancanza di politiche per il clima della relazione speciale sugli scenari di emissioni (SRE) utilizzati nella terza e quarta relazione di valutazione. Secondo il RCP6.0 e il RCP8.5, il *forcing* radiativo non toccherà il picco entro l'anno 2100, per RCP2.6 raggiunge il suo apice per poi ridiscendere, e per il RCP4.5 si stabilizza nel 2100. Ogni RCP fornisce griglie di dati spazialmente definiti sull'uso del suolo e dati settoriali delle emissioni di inquinanti atmosferici e specifica le concentrazioni di gas serra anno per anno e le emissioni antropogeniche fino al 2100. Gli RCP si basano su una combinazione di modelli di valutazione integrata, i modelli climatici semplici, la chimica atmosferica e i modelli globali del ciclo del carbonio. Gli RCP abbracciano una vasta gamma di valori di *forcing* totale, ma non coprono l'intera gamma di emissioni in letteratura, in particolare per aerosol.

La maggior parte delle simulazioni dei CMIP5 e dei modelli del sistema terra (ESM) sono state eseguite con valori assegnati delle concentrazioni di CO₂ che raggiungono 421 ppm (RCP2.6), 538 ppm (RCP4.5), 670 ppm (RCP6.0), e 936 ppm (RCP 8.5) entro il 2100. Con siderando anche le concentrazioni previste di CH₄ e N₂O, e le concentrazioni combinate di CO₂ equivalente si arriva a 475 ppm (RCP2.6), 630 ppm (RCP4.5), 800 ppm (RCP6.0), e 1313 ppm (RCP8.5). Secondo il RCP8.5, vengono eseguite ulteriori simulazioni con gli ESM CMIP5 con emissioni di CO₂ assegnate come previste nei modelli di valutazione integrata. Per tutti gli RCP, i calcoli sono stati aggiornati con ulteriori dati e modelli di chimica atmosferica (tra cui la chimica atmosferica e la componente climatica del CMIP5) utilizzando le prescrizioni RCP delle emissioni dei gas chimicamente reattivi (CH₄, N₂O, HFC, NO_x, C₂F₆, COF₂, COVM). Queste simulazioni permettono indagini sulle incertezze relative ai *feedback* del ciclo del carbonio e alla chimica atmosferica.