

IPCC

CLIMATE CHANGE 2021 – Le basi fisico-scientifiche: i cambiamenti climatici sono diffusi, rapidi e si stanno intensificando

Ginevra, 9 Agosto – Secondo l'ultimo rapporto del Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) pubblicato oggi, gli scienziati rilevano cambiamenti nel clima della Terra in ogni regione e in tutto il sistema climatico. Molti di questi cambiamenti sono senza precedenti in migliaia, se non centinaia di migliaia di anni, e alcuni tra quelli che sono già in atto – come il continuo aumento del livello del mare – sono irreversibili in centinaia o migliaia di anni.

Tuttavia, forti e costanti riduzioni di emissioni di anidride carbonica (CO₂) e di altri gas serra limiterebbero i cambiamenti climatici. Se, da una parte, grazie a queste riduzioni, benefici per la qualità dell'aria sarebbero rapidamente acquisiti, dall'altra, potrebbero essere necessari 20-30 anni per vedere le temperature globali stabilizzarsi. Sono questi alcuni dei principali contenuti del rapporto del **Gruppo di lavoro 1 dell'IPCC, Cambiamenti Climatici 2021 – La basi fisico-scientifiche** approvato venerdì 6 agosto da 195 governi membri del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici, nel corso di una sessione virtuale che si è tenuta per due settimane a partire dal 26 luglio.

Il rapporto del Gruppo di Lavoro I è la prima parte del Sesto Rapporto di Valutazione (AR6) dell'IPCC, che sarà completato nel 2022.

“Questo rapporto riflette sforzi straordinari in circostanze eccezionali”, ha detto Hoesung Lee, presidente dell'IPCC. “Le innovazioni contenute in questo rapporto e i progressi nella scienza del clima che esso riflette, forniscono un contributo inestimabile ai negoziati sul clima e ai processi decisionali”.

Riscaldamento più veloce

Il rapporto fornisce nuove stime sulle possibilità di superare il livello di riscaldamento globale di 1,5°C nei prossimi decenni. A meno che non ci siano riduzioni immediate, rapide e su larga scala delle emissioni di gas serra, vi si legge, limitare il riscaldamento a circa 1,5°C o addirittura 2°C sarà un obiettivo fuori da ogni portata.

Il rapporto mostra che le emissioni di gas serra provenienti dalle attività umane sono responsabili di circa 1,1°C di riscaldamento rispetto al periodo 1850-1900. Mediamente nei prossimi 20 anni, secondo il rapporto, la temperatura globale dovrebbe raggiungere o superare 1,5°C di riscaldamento. Questa valutazione si basa sulle serie di dati osservati utilizzate per valutare il riscaldamento avvenuto nel passato. Queste serie di dati sono migliorate rispetto alle analisi precedenti. Allo stesso tempo, il rapporto si basa sui più recenti avanzamenti scientifici nella comprensione delle risposte del sistema climatico alle emissioni di gas serra prodotte dalle attività umane.

“Questo rapporto è un riscontro oggettivo (reality-check)”, ha detto la co-presidente del Gruppo di Lavoro I dell’IPCC, Valérie Masson-Delmotte. “Ora abbiamo un quadro molto più chiaro del clima passato, presente e futuro, che è essenziale per capire dove siamo diretti, cosa si può fare e come ci possiamo preparare”.

Ogni regione del pianeta affronta cambiamenti che stanno crescendo

Molte caratteristiche dei cambiamenti climatici dipendono direttamente dal livello di riscaldamento globale, ma ciò che le persone vivono in prima persona in diverse aree del pianeta è spesso molto diverso dalla media globale. Per esempio, il riscaldamento sulla superficie terrestre è più elevato rispetto alla media globale, nell’Artico è più del doppio. “I cambiamenti climatici stanno già influenzando ogni regione della Terra, in molteplici modi. I cambiamenti che stiamo vivendo aumenteranno con un ulteriore incremento del riscaldamento”, ha detto il co-presidente del Gruppo di Lavoro I dell’IPCC, Panmao Zhai.

Dalle analisi del rapporto emerge che nei prossimi decenni un aumento dei cambiamenti climatici è atteso in tutte le regioni. Con 1,5°C di riscaldamento globale, ci si attende un incremento del numero di ondate di calore, stagioni calde più lunghe e stagioni fredde più brevi. Con un riscaldamento globale di 2°C, gli estremi di calore raggiungerebbero più spesso soglie di tolleranza critiche per l’agricoltura e la salute.

Ma la temperatura non è l’unico elemento in gioco. I cambiamenti climatici stanno portando molti cambiamenti in diverse regioni, e tutti aumenteranno con un ulteriore riscaldamento. Questi includono cambiamenti nei valori dell’umidità, nei venti, nella neve e nel ghiaccio, nelle aree costiere e negli oceani.

Per esempio:

I cambiamenti climatici stanno intensificando il ciclo dell'acqua. Questo porta, in alcune regioni, piogge più intense e inondazioni ad esse associate, in molte altre regioni porta a siccità più intense.

- I cambiamenti climatici stanno influenzando gli andamenti delle precipitazioni. Alle alte latitudini, è probabile che le precipitazioni aumentino, mentre ci si attende che diminuiscano in gran parte delle regioni subtropicali. Sono attesi cambiamenti nelle precipitazioni monsoniche, con variazioni nelle diverse regioni.
- Per le aree costiere ci si attende un continuo aumento del livello del mare per tutto il XXI secolo che contribuirebbe a inondazioni costiere più frequenti e gravi nelle aree basse rispetto al livello del mare e all'erosione delle coste. Eventi estremi riferiti al livello del mare che prima si verificavano una volta ogni 100 anni, entro la fine di questo secolo potrebbero verificarsi ogni anno. Un ulteriore riscaldamento intensificherebbe lo scioglimento del permafrost, la perdita della copertura nevosa stagionale, lo scioglimento dei ghiacciai e della calotta polare, e la perdita del ghiaccio marino artico estivo.
- I cambiamenti nell'oceano quali il riscaldamento, le più frequenti ondate di calore marino, l'acidificazione degli oceani e la riduzione dei livelli di ossigeno in mare sono stati chiaramente collegati all'influenza umana, si legge nel rapporto. Questi cambiamenti influenzano sia gli ecosistemi marini che le persone che dipendono da essi, e continueranno almeno per il resto di questo secolo.
- Per le città, alcuni aspetti dei cambiamenti climatici possono risultare amplificati. Tra questi, le ondate di calore (le aree urbane sono di solito più calde dei loro dintorni), le inondazioni dovute a forti precipitazioni e l'aumento del livello del mare nelle città costiere.

Il Sesto Rapporto di Valutazione fornisce una valutazione dei cambiamenti climatici su scala regionale più dettagliata rispetto al passato. Per la prima volta il rapporto include un focus sulle informazioni utili per valutazione del rischio, l'adattamento e altri processi decisionali che sono di aiuto nel tradurre i cambiamenti fisici del clima – calore, freddo, pioggia, siccità, neve, vento, inondazioni costiere e altro – nei loro significati più diretti per le società e per gli ecosistemi.

Queste informazioni regionali possono essere esplorate in dettaglio nel nuovo Atlante interattivo (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>), dove sono disponibili anche schede sulle regioni, il riassunto tecnico e il rapporto che è alla base del materiale fornito.

L'influenza umana sul clima passato e futuro "È chiaro da decenni che il clima della Terra stia cambiando, e il ruolo dell'influenza umana sul sistema climatico è indiscusso", ha detto Masson-Delmotte. Il nuovo rapporto riflette anche importanti progressi nella scienza dell'attribuzione – la comprensione del ruolo dei cambiamenti climatici nell'intensificazione di specifici eventi meteorologici e climatici come ondate di calore estreme e precipitazioni intense.

Il rapporto mostra anche che le attività umane hanno ancora il potenziale per determinare il corso del clima futuro. È chiara l'evidenza scientifica che mostra che l'anidride carbonica (CO₂) è il principale motore dei cambiamenti climatici, anche se altri gas serra e inquinanti atmosferici contribuiscono a influenzare il clima. "Stabilizzare il clima richiederà riduzioni forti, rapide e costanti delle emissioni di gas a effetto serra, e raggiungere emissioni nette di CO₂ pari a zero. Limitare altri gas serra e inquinanti atmosferici, specialmente il metano, potrebbe avere dei benefici sia per la salute che per il clima", ha detto Zhai.

CLIMATE CHANGE 2021 – Le basi fisico-scientifiche: i messaggi principali del rapporto

Lo stato attuale del clima

Rispetto al Quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (AR5) sono migliorate le stime basate sulle osservazioni e le informazioni dagli archivi paleoclimatici, che forniscono una visione completa di ogni componente del sistema climatico e dei suoi cambiamenti fino ad oggi. Nuove simulazioni dei modelli climatici, nuove analisi e metodi che combinano numerose evidenze, portano ad una migliore comprensione dell'influenza umana su un'ampia gamma di variabili climatiche, compresi gli estremi meteo-climatici.

È inequivocabile che l'influenza umana ha riscaldato l'atmosfera, l'oceano e le terre emerse. Si sono verificati cambiamenti diffusi e rapidi nell'atmosfera, nell'oceano, nella criosfera e nella biosfera.

- Gli aumenti osservati nelle concentrazioni di gas serra (GHG) dal 1750 circa sono inequivocabilmente causati da attività umane. Dal 2011 le concentrazioni in atmosfera hanno continuato ad aumentare, raggiungendo nel 2019 medie

annuali di 410 ppm per l'anidride carbonica (CO₂), 1.866 ppb per il metano (CH₄), e 332 ppb per il protossido di azoto (N₂O).

- La temperatura superficiale globale nel periodo 2001-2020 è stata di 0,99°C superiore a quella del periodo 1850-1900, ed è stata più alta di 1,09°C nel periodo 2011-2020 rispetto al periodo 1850-1900, con aumenti maggiori sulla terraferma (1,59°C) rispetto all'oceano (0,88°).
- Le precipitazioni globali medie sulla terraferma sono aumentate dal 1950, e più rapidamente a partire dagli anni '80. L'influenza umana ha probabilmente contribuito al pattern di cambiamento delle precipitazioni dalla metà del XX° secolo, e ha molto probabilmente contribuito al pattern di cambiamento della salinità dell'oceano superficiale.
- L'influenza umana è la causa principale del ritiro dei ghiacciai a livello globale dagli anni '90, della diminuzione del ghiaccio. Questa diminuzione è di circa il 40% in Settembre (mese del minimo annuale). Inoltre, le attività umane hanno contribuito alla diminuzione della copertura nevosa primaverile dell'emisfero settentrionale dal 1950 e allo scioglimento superficiale osservato della calotta glaciale della Groenlandia negli ultimi due decenni.
- Lo strato superficiale dell'oceano (0-700 m) si è riscaldato a partire dagli anni '70 e le emissioni di CO₂ causate dall'uomo sono la causa dell'attuale acidificazione globale dell'oceano superficiale.
- Il livello medio del mare globale è aumentato di 0,20 m tra il 1901 e il 2018 e il tasso medio di innalzamento è stato di 1,3 mm yr⁻¹ tra il 1901 e il 1971. Le attività umane sono la principale causa di questo innalzamento. Recentemente tra il 2006 e il 2018 il tasso di innalzamento ha raggiunto i 3,7 mm per anno.
- Le zone climatiche si sono spostate verso il polo in entrambi gli emisferi, ed il periodo vegetativo si è allungato in media fino a due giorni per decennio dagli anni '50 alle medie latitudini in entrambi gli emisferi.
- L'influenza umana ha riscaldato il clima a un ritmo (velocità) senza precedenti negli ultimi 2000 anni.

La portata dei recenti cambiamenti nel sistema climatico è senza precedenti da molti secoli e molte migliaia di anni.

- Nel 2019, le concentrazioni atmosferiche di CO₂ erano le più alte degli ultimi 2 milioni di anni, e le concentrazioni di CH₄ e N₂O erano le più alte degli ultimi

800.000 anni. Dal 1750, gli aumenti delle concentrazioni di CO₂ (47%) e CH₄ (156%) superano di gran lunga i cambiamenti naturali plurimillennari tra periodi glaciali e interglaciali degli ultimi 800.000 anni.

- La temperatura superficiale globale è aumentata più velocemente a partire dal 1970 che in qualsiasi altro periodo di 50 anni degli ultimi 2000 anni. Durante il decennio 2011-2020 le temperature hanno superato quelle del più recente periodo caldo multi-centenario, circa 6500 anni fa.
- Nel periodo 2011-2020, la media annuale dell'area di ghiaccio marino artico ha raggiunto il livello più basso dal 1850. Nel periodo tardo estivo è stata inferiore a qualsiasi altro periodo degli ultimi 1000 anni. La natura globale del ritiro dei ghiacciai a partire dagli anni '50 è senza precedenti negli ultimi 2000 anni.
- Il livello medio del mare è aumentato più velocemente a partire dal 1900 che in ogni secolo precedente degli ultimi 3000 anni. L'oceano si è riscaldato più velocemente nell'ultimo secolo che dalla fine dell'ultima deglaciazione (circa 11.000 anni fa).

I cambiamenti climatici stanno già influenzando molti estremi meteorologici e climatici, come ondate di calore, precipitazioni intense, siccità e cicloni tropicali, in ogni regione del mondo, e si sono rafforzate rispetto *al precedente Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5)* le prove che attribuiscono queste variazioni negli estremi all'influenza umana.

- Gli estremi di caldo (incluse le ondate di calore) sono diventati più frequenti e più intensi nella maggior parte delle terre emerse a partire dagli anni '50 del XX secolo, mentre gli estremi di freddo (incluse le ondate di freddo) sono diventati meno frequenti e meno gravi; il cambiamento climatico indotto dall'uomo è il principale motore di questi cambiamenti. Alcuni recenti estremi di caldo osservati nell'ultimo decennio sarebbero stati estremamente improbabili senza l'influenza umana sul sistema climatico.
- Le ondate di calore marine sono raddoppiate in frequenza dagli anni '80;
- La frequenza e l'intensità degli eventi di precipitazione intensa sono aumentate a partire dagli anni '50 sulla maggior parte delle terre emerse;
- In alcune regioni, è aumentata la siccità agricola ed ecologica^[1] per via dell'aumento dell'evapotraspirazione dei terreni;
- La diminuzione delle precipitazioni monsoniche terrestri globali dagli anni '50 agli anni '80 è in parte attribuita alle emissioni di aerosol nell'emisfero settentrionale causate dall'uomo, ma gli aumenti da allora sono dovuti

all'aumento delle concentrazioni di gas serra e alla variabilità interna su scala decennale o pluri-decennale ;

- È probabile che la percentuale di forti cicloni tropicali (categoria 3-5) sia aumentata negli ultimi quattro decenni, e che la latitudine in cui i cicloni tropicali nel Pacifico settentrionale occidentale raggiungono il picco di intensità si sia spostata verso nord;
- L'influenza umana ha aumentato la probabilità di ^[2] a partire dagli anni '50.

Una migliore conoscenza dei processi climatici, delle evidenze paleoclimatiche e della risposta del sistema climatico all'aumento del forzante radiativo fornisce una migliore stima della sensibilità climatica all'equilibrio di 3°C con un intervallo ridotto rispetto *al precedente Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5)*.

- Il forcing radiativo causato dall'uomo che ha riscaldato il sistema climatico è di 2,72 W m⁻² nel 2019 rispetto al 1750. Questo riscaldamento è dovuto principalmente all'aumento delle concentrazioni di gas serra, in parte ridotto dal raffreddamento dovuto all'aumento delle concentrazioni di aerosol.
- Il tasso medio osservato di riscaldamento del sistema climatico è aumentato da 0,50 W m⁻² per il periodo 1971-2006, a 0,79 W m⁻² per il periodo 2006-2018.
- Il riscaldamento del sistema climatico ha causato l'aumento del livello medio del mare a livello globale attraverso la perdita di ghiaccio terrestre e l'espansione termica dovuta al riscaldamento degli oceani. L'espansione termica giustifica il 50% dell'innalzamento del livello del mare nel periodo 1971-2018, mentre la perdita di ghiaccio dai ghiacciai ha contribuito per il 22%, le calotte di ghiaccio per il 20% e i cambiamenti nell'immagazzinamento delle acque terrestri per l'8%.

Possibili futuri climatici

Cinque nuovi scenari di emissioni sono stati usati per esplorare la risposta climatica a una gamma più ampia di GHG, usi del suolo e inquinanti atmosferici rispetto a quelli valutati nel precedente Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5). Questi scenari guidano le proiezioni dei modelli climatici e tengono conto dell'attività solare e vulcanica.

È atteso che la temperatura superficiale globale continuerà ad aumentare almeno fino alla metà del secolo in tutti gli scenari di emissioni considerati. Il riscaldamento globale

di 1,5°C e 2°C sarà superato durante il corso del XXI° secolo a meno che non si verifichino nei prossimi decenni profonde riduzioni delle emissioni di CO₂ e di altri gas serra .

- Rispetto al periodo 1850-1900, la temperatura superficiale globale media nel 2081-2100 sarà molto probabilmente più alta di 1,0°C-1,8°C nello scenario di emissioni di GHG molto basso (SSP1-1,9), di 2,1°C-3,5°C nello scenario intermedio (SSP2-4,5) e di 3,3°C-5,7°C nello scenario di emissioni molto alto (SSP5-8,5). L'ultima volta che la temperatura superficiale globale ha superato i 2,5°C è stato più di 3 milioni di anni fa.
- I 2°C verrebbero superati durante il XXI° secolo negli scenari di emissioni di GHG alti (SSP3-7.0 e SSP5-8.5) e molto probabilmente anche nello scenario intermedio (SSP2-4.5). Negli scenari di emissioni di GHG bassi, è estremamente improbabile che il riscaldamento globale di 2°C venga superato nello scenario SSP1-1.9, e improbabile nello scenario SSP1-2.6^[3]. Il superamento dei 2°C nel medio termine (2041-2060) è molto probabile nello scenario di emissioni di GHG molto elevate (SSP5-8.5), e probabile negli scenari di emissioni intermedie ed elevate.
- Il riscaldamento globale di 1,5°C (rispetto al 1850-1900) verrebbe superato nel corso del XXI secolo negli scenari intermedio, alto e molto alto (SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, rispettivamente). Nel breve termine (2021-2040) è molto probabile che 1.5°C venga superato nello scenario di emissioni molto alte (SSP5-8,5), è probabile che venga superato negli scenari intermedio e alto (SSP2-4,5 e SSP3-7,0). È probabile che non venga superato nello scenario di emissioni di GHG basse (SSP1-2,6) ed è ancora più probabile che non venga raggiunto nello scenario di emissioni molto basse (SSP1-1,9). Inoltre, nello scenario a emissioni molto basse (SSP1-1.9), c'è una probabilità superiore al 50% che la temperatura superficiale globale scenda nuovamente al di sotto di 1,5°C verso la fine del XXI secolo, con un superamento temporaneo di non più di 0,1°C al di sopra di 1,5°C.
- La temperatura superficiale globale in ogni singolo anno può variare al di sopra o al di sotto della tendenza a lungo termine indotta dall'uomo, a causa della sostanziale variabilità naturale^[4]. Il verificarsi di singoli anni con variazioni di temperatura media globale al di sopra di un certo livello, ad esempio 1,5°C o 2C, relative al periodo 1850-1900 non implica che questo livello di riscaldamento globale sia stato raggiunto.

Molti cambiamenti nel sistema climatico diventano più grandi in relazione diretta all'aumento del riscaldamento globale. Questi includono l'aumento della frequenza e dell'intensità degli estremi caldi, delle ondate di calore marine, delle forti precipitazioni, della siccità agricola ed ecologica in alcune regioni, della proporzione di cicloni tropicali intensi, della riduzione del ghiaccio marino artico, della copertura nevosa e del permafrost.

- È certo che la superficie terrestre continuerà a riscaldarsi più di quella oceanica (di 1,4/ 1,7 volte di più) e che l'Artico continuerà a riscaldarsi a una velocità due volte superiore rispetto a quella della temperatura superficiale globale
- Con ogni ulteriore incremento del riscaldamento globale, i cambiamenti negli estremi continueranno ad aumentare. Ad esempio, ogni 0,5°C in più di riscaldamento globale provoca aumenti chiaramente percepibili dell'intensità e della frequenza degli estremi di caldo, comprese le ondate di calore e le forti precipitazioni, nonché siccità agricola ed ecologica in alcune regioni. Alcuni eventi estremi avranno aumenti senza precedenti anche con un ulteriore riscaldamento globale anche a 1,5°C rispetto al periodo pre-industriale.
- Si prevede che alcune regioni di alte latitudini e semi-aride e la regione del monzone sudamericano, vedranno il più alto aumento della temperatura media dei giorni più caldi (di circa 1,5/2 volte il tasso di riscaldamento della globale). L'Artico sperimenterà il più alto aumento della temperatura media dei giorni più freddi (di circa 3 volte il tasso di riscaldamento globale).
- È molto probabile che, con un ulteriore riscaldamento globale, eventi di forte precipitazione si intensifichino e diventino più frequenti nella maggior parte delle regioni. Su scala globale, si prevede che gli eventi estremi di precipitazione giornaliera si intensificheranno di circa il 7% per ogni 1°C di riscaldamento globale. La proporzione di cicloni tropicali intensi (categorie 4-5) e le velocità del vento di picco dei cicloni più intensi aumenteranno su scala globale.
- Si prevede che un ulteriore riscaldamento amplifichi ulteriormente lo scioglimento del permafrost, la perdita della copertura nevosa stagionale, del ghiaccio terrestre e del ghiaccio marino artico. È probabile che l'Artico sarà praticamente privo di ghiaccio marino a settembre almeno una volta prima del 2050, con occorrenze più frequenti per livelli di riscaldamento più elevati.

Si prevede che un continuo riscaldamento globale intensifichi ulteriormente il ciclo dell'acqua su scala globale, compresa la sua variabilità, le precipitazioni monsoniche e la gravità degli eventi di precipitazione e siccitosi.

- Il ciclo globale dell'acqua continuerà ad intensificarsi con l'aumento della temperatura globale; le precipitazioni e i flussi d'acqua superficiali dovrebbero diventare più variabili nella maggior parte delle regioni terrestri, sia a scala stagionale, che di anno in anno. Si prevede che le precipitazioni terrestri medie annuali aumenteranno dello 0-5% nello scenario di emissioni GHG molto basse (SSP1-1.9), e dell'1-13% nello scenario di emissioni molto alte (SSP5-8.5) entro il 2081-2100 rispetto al 1995-2014. Si prevede che le precipitazioni aumenteranno alle alte latitudini, nel Pacifico equatoriale e in alcune regioni monsoniche, ma diminuiranno in alcune regioni subtropicali e in aree limitate dei tropici.
- Un clima più caldo intensificherà gli eventi meteorologici e climatici molto umidi e molto secchi, con implicazioni per inondazioni o siccità, ma la localizzazione e la frequenza di questi eventi dipendono dai cambiamenti nella circolazione atmosferica regionale.
- Si prevede che le precipitazioni monsoniche aumentino nel medio-lungo termine su scala globale, in particolare nell'Asia meridionale e sudorientale, nell'Asia orientale e nell'Africa occidentale, tranne che nell'estremo ovest del Sahel.

Negli scenari in cui aumentano le emissioni di CO₂, si prevede che i serbatoi di carbonio oceanici e terrestri saranno meno efficaci nel rallentare l'accumulo della CO₂ in atmosfera.

- Sulla base delle proiezioni dei modelli, nello scenario intermedio che stabilizza le concentrazioni atmosferiche di CO₂ durante questo secolo (SSP2-4.5), i tassi di CO₂ assorbiti dalla terra e dagli oceani dovrebbero diminuire nella seconda metà del XXI secolo. Negli scenari di emissioni di GHG bassi e molto bassi (SSP1-2.6, SSP1-1.9), la terra e gli oceani iniziano ad assorbire meno carbonio in risposta al calo delle concentrazioni atmosferiche di CO₂ e, nello scenario SSP1-1.9, diventano una debole fonte netta di emissioni entro la fine del secolo.
- L'ampiezza dei feedback tra i cambiamenti climatici e il ciclo del carbonio diventa più grande ma anche più incerta negli scenari ad alte emissioni di CO₂. Ulteriori risposte degli ecosistemi al riscaldamento non ancora completamente

riflesse nei modelli climatici (come i flussi di CO₂ e CH₄ dalle zone paludose, il disgelo del permafrost e gli incendi) potrebbero aumentare ulteriormente le concentrazioni di questi gas in atmosfera.

Molti cambiamenti dovuti alle emissioni di GHG passate e future sono irreversibili per secoli o millenni, in particolar modo i cambiamenti nell'oceano, nelle calotte glaciali e nel livello del mare.

- Le emissioni passate di GHG dal 1750 porteranno l'oceano globale ad un riscaldamento futuro. La stratificazione dell'oceano superiore, l'acidificazione e la deossigenazione degli oceani continueranno ad aumentare nel XXI secolo, a tassi variabili a seconda dalle emissioni future, e sono potenzialmente irreversibili per secoli e millenni.
- I ghiacciai montani e polari sono destinati a continuare a sciogliersi per decenni/secoli. La perdita di carbonio dal permafrost in seguito al suo disgelo è irreversibile su scale temporali centenarie. La continua perdita di ghiaccio nel corso del XXI secolo è virtualmente certa per la calotta glaciale della Groenlandia e probabile per la calotta glaciale antartica. Conseguenze a bassa probabilità e alto impatto (derivanti da processi di instabilità della calotta glaciale caratterizzati da profonda incertezza che in alcuni casi raggiungerebbero punti critici^[5]) potrebbero risultare in un forte aumento della perdita di ghiaccio dalla calotta antartica per secoli in scenari di emissioni elevate di GHG.
- Il livello medio globale del mare continuerà ad aumentare nel corso del XXI secolo. Rispetto al 1995-2014, l'aumento sarà probabilmente di 0,28-0,55 m entro il 2100 nello scenario di emissioni di GHG molto basse (SSP1-1.9), e 0,63-1.01 m nello scenario di emissioni molto elevato (SSP5-8.5). Entro il 2150 l'aumento è di 0,37-0,86 m nello scenario molto basso (SSP1-1.9) e di 0,98-1,88 m nello scenario molto elevato (SSP5-8.5). Un innalzamento intorno a 2m entro il 2100 e 5 m entro il 2150 in uno scenario di emissioni di gas serra molto alto (SSP5-8.5) non può essere escluso.
- Nel lungo termine, il livello del mare è destinato ad aumentare per secoli/millenni a causa del continuo riscaldamento profondo degli oceani e dello scioglimento delle calotte glaciali, e rimarrà elevato per migliaia di anni. Nei prossimi 2000 anni, il livello medio globale del mare potrebbe aumentare di

circa 2-3 m se il riscaldamento sarà limitato a 1,5°C e di 2-6 m se sarà limitato a 2°C.

Informazioni climatiche per la valutazione del rischio e l'adattamento a livello regionale

Le informazioni legate alla fisica del clima considerano il modo in cui il sistema climatico risponde all'interazione tra influenza umana, fattori naturali e variabilità interna. Queste conoscenze, incluse conseguenze a bassa probabilità e alto impatto, forniscono informazioni ai servizi climatici per la valutazione dei rischi climatici e la pianificazione dell'adattamento. Le informazioni fisiche sulla fisica del clima a scala globale, regionale e locale sono sviluppate sulla base di molteplici evidenze, tra cui osservazioni, risultati dei modelli climatici e strumenti diagnostici sviluppati su misura.

I fattori naturali e la variabilità interna^[6] regoleranno i cambiamenti causati dall'uomo, in particolar modo su scala regionale e nel breve termine, con effetti minimi sul riscaldamento globale di lungo periodo. Queste modulazioni su scale temporali decennali o multi-decennali sono importanti da considerare nella pianificazione dell'intera gamma di possibili cambiamenti.

- La temperatura superficiale globale registrata storicamente evidenzia che la variabilità su scala decennale ha potenziato e mascherato i cambiamenti sottostanti causati dall'uomo nel lungo termine, e questa variabilità continuerà in futuro. Per esempio, la variabilità interna su scala decennale e le variazioni dei driver solari e vulcanici hanno parzialmente mascherato il riscaldamento globale superficiale causato dall'uomo nel periodo 1998-2012, con distinzioni regionali e stagionali pronunciate. Tuttavia, il riscaldamento del sistema climatico è continuato durante questo periodo, e ciò si riflette nel continuo riscaldamento dell'oceano e nell'aumento di estremi caldi nelle aree continentali
- I cambiamenti causati dall'uomo previsti nelle condizioni climatiche medie e nei driver di impatto climatico (CID)^[7], inclusi gli estremi, saranno o amplificati o attenuati dalla variabilità interna. Un raffreddamento a breve termine, in

qualsiasi luogo, sarebbe consistente con l'aumento della temperatura superficiale globale dovuto all'influenza umana.

- La variabilità interna è stata in gran parte responsabile dell'amplificazione e dell'attenuazione dei cambiamenti causati dall'uomo nelle precipitazioni medie da decennali a multi-decennali osservate in molte regioni terrestri.
- Sulla base delle evidenze paleoclimatiche e storiche, è probabile che si verifichi nel corso del XXI° secolo almeno una grande eruzione vulcanica esplosiva. Tale eruzione ridurrebbe la temperatura superficiale globale e le precipitazioni, specialmente sulla terraferma, per uno – tre anni, altererebbe la circolazione monsonica globale, modificherebbe le precipitazioni estreme e cambierebbe molte CID. Tale evento andrebbe a mascherare temporaneamente e parzialmente il cambiamento climatico causato dall'uomo.

Con un ulteriore riscaldamento globale, si prevede che ogni regione sperimenterà sempre più cambiamenti concomitanti e multipli negli eventi climatici capaci di generare un impatto su società ed ecosistemi. (CID). Questi sarebbero più diffusi a 2°C rispetto che a 1,5°C e ancora più diffusi e/o pronunciati per livelli di riscaldamento più elevati.

- In tutte le regioni si prevede un ulteriore aumento di CID caldi e una diminuzione di CID freddi. Ulteriori diminuzioni sono previste nel permafrost, nella neve, nei ghiacciai e nelle calotte glaciali, nei laghi e nel ghiaccio marino artico. Questi cambiamenti saranno maggiori con un riscaldamento globale di 2°C rispetto che a 1,5°C. Per esempio, si prevede che soglie critiche di caldo per l'agricoltura e la salute saranno superate più frequentemente a livelli più alti di riscaldamento globale.
- Con un riscaldamento globale di 1,5°C, si prevede che le precipitazioni forti e le relative inondazioni si intensificheranno e saranno più frequenti nella maggior parte dell'Africa, Asia, Nord America ed Europa. Inoltre, si prevedono delle siccità agricole ed ecologiche più frequenti e/o gravi in alcune regioni di tutti i continenti, tranne l'Asia.
- Con un riscaldamento globale di 2°C e oltre, gli eventi siccitosi e di forte precipitazione aumenteranno e saranno più intensi rispetto a quanto succederà per un aumento di temperatura globale di 1,5 C. Si prevede che le forti precipitazioni e gli eventi alluvionali diventeranno più intensi e frequenti nelle isole del Pacifico, in molte regioni del Nord America e dell'Europa e in alcune

regioni dell’Australasia e dell’America centrale e meridionale. In diverse regioni dell’Africa, del Sud America e dell’Europa si prevede un aumento della frequenza e/o gravità delle siccità agricole ed ecologiche; aumenti sono previsti anche in Australasia, in America centrale e del nord e nei Caraibi. Si prevede che le precipitazioni medie aumentino in tutte le regioni polari, nel Nord Europa e nel Nord America, nella maggior parte delle regioni asiatiche e in due regioni del Sud America.

- Cambiamenti specifici in alcune regioni includono l’intensificazione dei cicloni tropicali e/o delle tempeste extratropicali, l’aumento delle inondazioni fluviali, la riduzione delle precipitazioni medie e l’aumento dell’aridità e degli incendi.
- L’innalzamento medio regionale del livello del mare continuerà per tutto il XXI secolo, eccetto in poche regioni che hanno sostanziali tassi di sollevamento geologico del terreno.
- A causa dell’innalzamento relativo del livello del mare, si prevede che entro il 2100 eventi estremi che nel recente passato si verificavano una volta ogni 100 anni si verificheranno annualmente in più della metà delle località di misurazione delle maree. L’innalzamento relativo del livello del mare contribuisce all’aumento della frequenza e della gravità delle inondazioni costiere alle quote più basse e all’erosione costiera lungo la maggior parte delle coste sabbiose.
- Le città intensificano il riscaldamento indotto dall’uomo a livello locale, e un’ulteriore urbanizzazione, insieme a temperature estreme più frequenti, aumenterà la gravità delle ondate di calore. L’urbanizzazione aumenta anche le precipitazioni medie e intense, e la conseguente intensità di deflusso. Nelle città costiere, la combinazione di eventi estremi più frequenti a livello del mare e di eventi estremi di pioggia/deflusso dei fiumi renderà più probabili le inondazioni.

Esiti del cambiamento climatico a bassa probabilità, come il collasso della calotta glaciale, bruschi cambiamenti nella circolazione oceanica, alcuni eventi estremi combinati e un riscaldamento notevolmente maggiore di quello stimato non possono essere esclusi e fanno parte della valutazione del rischio.

- Un (poco probabile) riscaldamento molto elevato porterebbe a impatti potenzialmente molto significativi, come ondate di calore più intense e più frequenti, forti precipitazioni e rischi elevati per i sistemi umani ed ecologici.
- La possibilità che si verifichino esiti del cambiamento climatico a bassa probabilità e alto impatto aumenta con livelli più alti di riscaldamento globale. Non si possono escludere cambiamenti improvvisi e superamento di punti critici del sistema climatico in risposta al riscaldamento, come un forte aumento dello scioglimento della calotta antartica e il deperimento delle foreste.
- È molto probabile che l'Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) si indebolisca nel corso del XXI secolo, in tutti gli scenari di emissione, ed è possibile un brusco collasso prima del 2100. Se tale collasso dovesse verificarsi, questo causerebbe bruschi cambiamenti nell'andamento degli eventi meteo e nel ciclo dell'acqua su scala regionale.
- Eventi naturali imprevedibili e rari, non collegati all'influenza umana sul clima, possono portare a conseguenze a bassa probabilità e alto impatto. Per esempio, una sequenza di grandi eruzioni vulcaniche esplosive nel giro di decenni si è verificata in passato, causando sostanziali perturbazioni del clima globale e regionale per diversi decenni. Tali eventi non possono essere esclusi in futuro, ma a causa della loro intrinseca imprevedibilità non sono inclusi nella serie illustrativa di scenari a cui si fa riferimento nel rapporto.

Limitare i cambiamenti climatici futuri

Rispetto al precedente Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5), sono migliorate le stime dei budget di carbonio rimanenti. Gli scenari futuri possibili includono anche azioni di controllo dell'inquinamento atmosferico per valutare in maniera coerente gli effetti delle varie ipotesi sulle proiezioni climatiche e sull'inquinamento atmosferico. È migliorata la capacità di determinare quando la risposta climatica alle riduzioni delle emissioni si distingue dalla variabilità naturale climatica, inclusa la variabilità interna e le risposte a fattori forzanti naturali.

Limitare il riscaldamento globale ad un livello specifico richiede una limitazione delle emissioni cumulative di CO₂ che raggiunga emissioni zero nette, insieme a forti riduzioni delle emissioni degli altri gas serra. Forti riduzioni delle emissioni di metano (CH₄) limiterebbero anche l'effetto di riscaldamento risultante dalla diminuzione dell'inquinamento da aerosol e migliorerebbero la qualità dell'aria.

- C'è una relazione quasi lineare tra le emissioni cumulative di CO₂ antropiche e il riscaldamento globale: ogni 1000 Gt CO₂ di emissioni cumulative di CO₂ la temperatura superficiale globale aumenta di circa 0,45°C (ogni Gt equivale a un miliardo di tonnellate). Questa quantità è indicata come la risposta transitoria del clima alle emissioni cumulative di CO₂ (TCRE) e implica che raggiungere emissioni antropiche di CO₂ zero nette è un requisito necessario per stabilizzare l'aumento della temperatura globale indotta dall'uomo a qualsiasi livello, ma che limitare l'aumento della temperatura globale a un livello specifico implica limitare le emissioni cumulative di CO₂ entro un budget di carbonio^[9].
- Nel periodo 1850-2019, sono state emesse 2390 ± 240 Gt CO₂ di origine antropica.
- Le stime di bilancio del carbonio rimanente sono state rivalutate, e risultano simili al rapporto SR1.5 ma più grandi rispetto *al precedente Rapporto di Valutazione dell'IPCC (AR5)* a causa di miglioramenti nelle metodologie adottate.
- La rimozione antropica di CO₂ (CDR) ha il potenziale di rimuovere la CO₂ dall'atmosfera e di immagazzinarla in modo duraturo nei serbatoi. La CDR mira a compensare le emissioni residue per raggiungere emissioni zero nette di CO₂ o GHG. I metodi di CDR possono avere effetti potenzialmente ad ampio raggio sui cicli biogeochimici e sul clima, e possono avere effetti sulla disponibilità e la qualità dell'acqua, la produzione alimentare e la biodiversità.
- Se la rimozione antropica di CO₂ (CDR) portasse a emissioni globali nette negative, si abbasserebbe la concentrazione atmosferica di CO₂ e si invertirebbe l'acidificazione superficiale degli oceani. Le rimozioni ed emissioni antropiche di CO₂ sarebbero parzialmente compensate rispettivamente dal rilascio e dall'assorbimento di CO₂ da e verso i bacini di carbonio terrestri e oceanici.
- Se si raggiungessero e mantenessero emissioni globali nette negative di CO₂, l'aumento globale della temperatura superficiale indotto dalla CO₂ sarebbe gradualmente invertito, ma altri cambiamenti climatici continuerebbero nella loro direzione attuale per decenni/ millenni. Per esempio, ci vorrebbero diversi

secoli/millenni perché il livello medio globale del mare inverte la rotta anche con grandi emissioni nette negative di CO₂.

- Cambiamenti simultanei nelle emissioni di CH₄, aerosol e precursori dell'ozono, che contribuiscono anche all'inquinamento atmosferico, portano ad un riscaldamento netto della superficie globale nel breve e nel lungo periodo. Nel lungo termine, questo riscaldamento è inferiore negli scenari che assumono un controllo dell'inquinamento atmosferico combinato con forti e sostenute riduzioni delle emissioni di CH₄. A causa del breve tempo di vita in atmosfera sia del CH₄ che degli aerosol, questi effetti sul clima si compensano parzialmente a vicenda. Le riduzioni di CH₄ contribuiscono anche a migliorare la qualità dell'aria riducendo l'ozono superficiale globale.

Gli scenari con emissioni di GHG bassi (SSP1-1.9 e SSP1-2.6) portano in pochi anni ad effetti percepibili sulle concentrazioni di GHG e di aerosol, e sulla qualità dell'aria.

- Le riduzioni delle emissioni nel 2020 associate alle misure per ridurre la diffusione del COVID-19 hanno portato a effetti temporanei ma rilevabili sull'inquinamento atmosferico, e un temporaneo aumento del forcing radiativo totale, dovuto principalmente alle riduzioni del raffreddamento causato dagli aerosol. Le concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera hanno continuato ad aumentare nel 2020, senza una diminuzione rilevabile del tasso di crescita osservato della CO₂.
 - Le riduzioni delle emissioni di GHG portano anche a miglioramenti nella qualità dell'aria. Tuttavia, nel breve termine (2021-2040), anche negli scenari con una forte riduzione dei GHG, questi miglioramenti non sono sufficienti a raggiungere le linee guida sulla qualità dell'aria dell'Organizzazione Mondiale della Sanità in molte regioni inquinate. Gli scenari con riduzioni mirate delle emissioni di inquinanti atmosferici portano a miglioramenti più rapidi nella qualità dell'aria rispetto alle riduzioni delle sole emissioni di GHG nei primi anni, ma a partire dal 2040, sono previsti miglioramenti maggiori negli scenari che combinano gli sforzi per ridurre sia gli inquinanti atmosferici che le emissioni di GHG.
-

- [1] Siccità agricola ed ecologica (a seconda del bioma interessato): un periodo con un deficit anormale di umidità del suolo, dato dalla carenza combinata di precipitazioni e dall'eccesso di evapotraspirazione, che, durante la stagione di crescita, compromette la produzione agricola o il funzionamento dell'ecosistema in generale. I cambiamenti osservati durante le siccità meteorologiche (deficit di precipitazioni) e idrologiche (deficit di flusso) sono distinti da quelli delle siccità agricola ed ecologica.
- [2] Gli eventi estremi composti sono la combinazione di più fattori trainanti che contribuiscono al rischio sociale o ambientale. Esempi includono ondate di calore e siccità concomitanti, inondazioni composte (per esempio, un'ondata di maltempo in combinazione con piogge e/o flussi fluviali estremi), condizioni meteorologiche di incendio composte (per esempio, una combinazione di condizioni di caldo, secco e vento), o estremi concomitanti in luoghi diversi.
- [3] SSP1-1.9 e SSP1-2.6 sono scenari che iniziano nel 2015 e hanno emissioni di GHG molto basse e basse ed emissioni di CO₂ che diminuiscono fino allo zero netto intorno al 2050, seguiti da vari livelli di emissioni negative di CO₂.
- [4] La variabilità naturale si riferisce alle fluttuazioni climatiche che si verificano senza alcuna influenza umana, cioè la variabilità interna combinata con la risposta a fattori naturali esterni come le eruzioni vulcaniche, i cambiamenti nell'attività solare e, su scale temporali più lunghe, gli effetti orbitali e la tettonica a placche.
- [5] Si parla di conseguenze a bassa probabilità e ad alto impatto quando la probabilità di verificarsi è bassa o non ben nota, ma l'impatto potenziale sulla società e sugli ecosistemi potrebbe essere alto. Un punto critico (tipping point) è una soglia critica oltre la quale un sistema si riorganizza, spesso in modo brusco e/o irreversibile.
- [6] I principali fenomeni di variabilità interna includono El Niño-Southern Oscillation, la variabilità su scala decennale del Pacifico e la variabilità multidecennale dell'Atlantico attraverso la loro influenza regionale.
- [7] I driver di impatto climatico (CID) sono condizioni fisiche del sistema climatico (ad esempio, medie, eventi, estremi) che influenzano un elemento della società o degli ecosistemi. A seconda della tolleranza del sistema, i CID e i loro cambiamenti possono essere dannosi, benefici, neutri, o un misto di entrambi a seconda degli elementi del sistema e delle regioni con cui interagiscono.
- [8] Il termine budget di carbonio si riferisce alla quantità massima di emissioni globali nette cumulative di CO₂ antropogenica che risulterebbe nella limitazione del riscaldamento globale a un dato livello con una data probabilità, tenendo conto dell'effetto di altri forzanti climatici antropogenici. Le emissioni cumulative storiche di CO₂ determinano in larga misura il riscaldamento fino ad oggi, mentre le emissioni future

sono responsabili di un ulteriore riscaldamento futuro. Il bilancio del carbonio rimanente indica quanta CO₂ potrebbe ancora essere emessa mantenendo il riscaldamento al di sotto di un livello di temperatura specifico.

CLIMATE CHANGE 2021 – Le basi fisico-scientifiche: il rapporto spiegato dagli scienziati italiani

I contenuti che seguono sono realizzati con il contributo di esperti e autori italiani del Rapporto IPCC CLIMATE CHANGE 2021 – Le basi fisico-scientifiche: Momme Butenschön (CMCC), Annalisa Cherchi (CNR – ISAC), Susanna Corti (CNR – ISAC), Sandro Fuzzi (CNR – ISAC), Dorotea Iovino (CMCC), Enrico Scoccimarro (CMCC).

Il rapporto dell'IPCC è frutto di una collaborazione internazionale che coinvolge scienziati di tutto il mondo. Il contributo di istituzioni italiane al rapporto "Climate Change 2021 – Le basi fisico-scientifiche" ha visto il lavoro della Fondazione CMCC, che ha partecipato alle simulazioni CMIP6, e del CNR – ISAC con gli autori Annalisa Cherchi, Susanna Corti, Sandro Fuzzi.

In particolare, il gruppo di lavoro del CMCC guidato da Silvio Gualdi ha fornito simulazioni climatiche di ultima generazione utilizzando diverse versioni del proprio modello CMCC-CM2. Per quanto riguarda gli autori, Susanna Corti (CNR – ISAC) ha lavorato al capitolo 4 "Future global climate: scenario-based projections and near-term information", Annalisa Cherchi (CNR – ISAC) al capitolo 8 "Water cycle changes", Sandro Fuzzi (CNR – ISAC) al capitolo 6 "Short-lived climate forcings".

Come si possono sintetizzare le novità principali del Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC sulle conoscenze inerenti le basi fisico scientifiche dei cambiamenti climatici?

Sappiamo da decenni che la terra si sta riscaldando. I recenti cambiamenti climatici, che sono emersi a partire dagli ultimi decenni del secolo scorso, sono diffusi, rapidi, si stanno intensificando e sono senza precedenti se guardiamo alla storia di migliaia di anni.

Le evidenze scientifiche raccolte da questo rapporto rafforzano la consapevolezza che le attività umane sono alla base delle cause dei cambiamenti climatici. L'influenza umana

sta rendendo gli eventi climatici estremi – quali ondate di calore, forti piogge e siccità – più frequenti e gravi.

I cambiamenti climatici stanno già interessando tutte le regioni del pianeta, anche se con impatti e modalità diverse. La probabilità di eventi estremi (ondate di calore, precipitazioni intense e fenomeni siccitosi) aumenta con il riscaldamento globale. Il Rapporto chiarisce che questi eventi estremi sono destinati a intensificarsi con l'ulteriore incremento della temperatura del pianeta.

Alcuni dei cambiamenti a cui stiamo assistendo sono irreversibili. Tuttavia, altri possono essere rallentati e altri ancora potrebbero essere arrestati o addirittura invertiti limitando il riscaldamento globale. Per contenere l'innalzamento della temperatura media del pianeta entro (1,5°C rispetto al periodo pre-industriale) è necessario ridurre drasticamente e rapidamente le emissioni di CO₂, metano e altri gas serra.

Senza riduzioni immediate, rapide e su larga scala, delle emissioni di gas serra, limitare il riscaldamento a 1,5°C rispetto al periodo per-industriale sarà impossibile.

Emerge da questo rapporto che negli scenari a più alte emissioni, si riduce la proporzione della CO₂ assorbita dalla terra e dall'oceano. Questo vuol dire che più CO₂ emettiamo in atmosfera, più si limita la capacità di assorbimento naturale. In altre parole, ne viene assorbita meno in proporzione al riscaldamento.

Un aspetto innovativo di questo rapporto consiste nell'aver migliorato la quantità e la qualità delle informazioni a scala regionale fino a presentare nei capitoli finali un focus specifico su questo aspetto, analizzando gli avanzamenti della conoscenza scientifica per quello che riguarda gli eventi estremi e la loro attribuzione alle attività umane.

Il Rapporto si basa su simulazioni climatiche di ultima generazione. In che modo queste simulazioni contribuiscono a migliorare la nostra conoscenza dei cambiamenti climatici?

Per la prima volta in un rapporto dell'IPCC, i cambiamenti futuri nella temperatura superficiale globale, nel riscaldamento degli oceani e nel livello del mare sono stati costruiti combinando le proiezioni modellistiche, ovvero risultanti dall'insieme di tutte le simulazioni climatiche disponibili eseguite con l'ultima generazione di modelli climatici

a partire da un protocollo comune condiviso (CMIP6), con vincoli basati sulle osservazioni e su come i modelli hanno simulato il riscaldamento nel passato, nonché su una valutazione aggiornata della sensibilità climatica. Ciò ha permesso di ridurre, per ciascun scenario considerato, l'intervallo di incertezza rispetto alle proiezioni delle variazioni future di temperatura globale.

L'insieme di simulazioni climatiche di ultima generazione prese in considerazione nel Rapporto si chiama CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 del World Climate Research Programme). Si tratta di un programma internazionale cui contribuiscono istituti, laboratori ed università dai vari paesi che condividono specifici obiettivi scientifici di interesse comune e mettono a disposizione i risultati. Questo permette di avere una gamma di modelli del sistema Terra per lo studio del clima e del cambiamento climatico altamente diversificati, ma con protocolli comuni per la realizzazione degli esperimenti. Il fatto che i modelli siano diversi e che gli esperimenti abbiano protocolli comuni è molto importante per capire l'abilità dei modelli di riprodurre il clima e la sua variabilità e soprattutto per valutare quanto le proiezioni sul clima del futuro siano robuste.

Le simulazioni prodotte nell'ambito di CMIP6 mettono a disposizione della comunità di analisi dei cambiamenti climatici conoscenze scientifiche più solide e dettagliate rispetto alle simulazioni realizzate in passato. La possibilità di integrare nella ricerca un maggior numero di dati climatici osservati nel passato, ad esempio, consente di avere una migliore misura della capacità dei modelli climatici di simulare il clima e i campi di principale interesse per i ricercatori. Le informazioni che emergono poi dall'utilizzo di queste simulazioni possono includere un maggior numero di indicatori e offrire dati con un dettaglio migliore rispetto al passato.

Informazioni climatiche sotto forma di indicatori, scelti nell'ottica di essere utili e rilevanti per la pianificazione di iniziative di adattamento e per la valutazione del rischio climatico a scala locale, sono disponibili per una serie di regioni nelle quali sono stati suddivisi i continenti e gli oceani.

Quali informazioni emergono sulla possibilità di limitare l'innalzamento della temperatura media globale a 1,5°C o 2°C?

Il Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC valuta una probabilità superiore al 50% che 1,5°C di riscaldamento venga superato negli anni immediatamente successivi al 2030, ovvero in anticipo rispetto a quanto valutato nel recente rapporto speciale dello stesso

IPCC sul riscaldamento di 1,5°C pubblicato nel 2018. L'anno in questione viene calcolato considerando la stima centrale su una media di 20 anni.

È virtualmente certo, si legge poi nel rapporto, che la soglia di riscaldamento globale di 2°C sarà superata durante il XXI secolo se le future emissioni saranno in linea con quanto ipotizzato nei due scenari ad alte emissioni (SSP3-7.0 e SSP6-8.5).

Nel caso di una diminuzione delle emissioni globali di gas serra dal 2020 in poi e raggiungendo emissioni nette di CO₂ pari a zero intorno alla metà del secolo, è possibile che il riscaldamento globale rimanga al di sotto di 1.5°C.

Esiste un collegamento tra inquinamento atmosferico e cambiamenti climatici?

Il primo volume del Sesto rapporto di valutazione dell'IPCC considera l'inquinamento atmosferico e le cause dei cambiamenti climatici come due fattori strettamente legati tra di loro. Si tratta di un elemento di novità del rapporto Climate Change 2021: le basi fisico-scientifiche. Infatti, nel capitolo 6 vengono discussi, per la prima volta in modo organico nei lavori dell'IPCC, i cosiddetti forzanti climatici a breve tempo di permanenza in atmosfera, molti dei quali sono i più comuni inquinanti atmosferici che hanno effetti deleteri sulla salute umana e l'ambiente in generale. I due fenomeni, inquinamento atmosferico e cambiamenti climatici, vengono definiti "due facce della stessa medaglia", fino a concludere che politiche integrate di riduzione delle emissioni generate dalle attività umane costituiscono la migliore strategia di politica ambientale, anche in termini di costi sociali ed economici, e producono effetti benefici sia per la qualità dell'aria che per il contenimento del riscaldamento del pianeta.

Esiste una connessione tra i lockdown legati alla pandemia e le cause dei cambiamenti climatici?

Un aspetto interessante affrontato nel capitolo 6 riguarda poi la pandemia COVID-19 che, in conseguenza dei lockdown estesi in tutto il mondo, ha causato la riduzione in tempi brevissimi sia delle emissioni di inquinanti atmosferici che dei gas serra. Per quanto riguarda i primi, si è assistito a un seppur temporaneo miglioramento della qualità dell'aria in tutto il pianeta. Per quanto riguarda i secondi, i lockdown hanno prodotto una riduzione del 7% delle emissioni di CO₂ a livello globale, un dato enorme che non ha precedenti negli ultimi 50 anni. A questo però non si è associata una riduzione della concentrazione di CO₂ e, conseguentemente, nessun apprezzabile effetto sulla temperatura del pianeta. Questo dato conferma che per contrastare il riscaldamento climatico sono necessarie riduzioni della concentrazione di CO₂ e degli altri gas serra di grossa entità e sostenute nel tempo fino a una completa decarbonizzazione perché per

apprezzare gli effetti della riduzione delle emissioni sulla concentrazione di gas serra in atmosfera sono necessarie azioni e strategie di lungo periodo.

Il tema dell'acqua: una delle novità del Report IPCC è che ci sia un intero capitolo dedicato al ciclo idrologico, quali sono le informazioni principali che se ne possono trarre?

Per la prima volta il Rapporto di valutazione dell'IPCC dedica spazio esplicitamente al ciclo idrologico e ai cambiamenti ad esso associati in un'ottica di comprensione dei processi in gioco. Il ciclo idrologico coinvolge l'acqua in tutte le sue forme, ed è facilmente comprensibile quanto possa essere importante per gli utenti finali e per la società avere informazioni specificamente dedicate ad esso. È però un argomento molto complesso ed articolato. Rispetto al precedente rapporto dell'IPCC, la comprensione teorica dei fenomeni associati al ciclo idrologico, è aumentata grazie ad una maggiore disponibilità di dati, ad un miglioramento ed approfondimento delle metodologie, ed alla possibilità di avere accesso ad esperimenti e modelli, sempre più numerosi e diversificati. Di conseguenza, capi come eventi estremi, quali fenomeni siccitosi o precipitazioni intense, potranno essere più intensi nel futuro, o come precipitazione ed altre componenti del ciclo idrologico saranno più variabili sia a livello stagionale che di anno in anno. Nel futuro, estremi associati alle precipitazioni saranno più intensi in molte regioni, anche dove ci si aspetta una diminuzione della precipitazione media.

Le analisi sviluppate sul tema del ciclo idrologico consentono anche di approfondire temi come il ruolo delle emissioni di aerosol dovute all'attività dell'uomo nel cambiamento osservato. Infatti, dalla seconda metà del XX secolo l'aumento delle precipitazioni a livello globale, soprattutto nell'emisfero settentrionale, e in alcune aree monsoniche è stato parzialmente mascherato da una diminuzione, come conseguenza della presenza di aerosol di origine antropica. Sappiamo anche che a livello regionale il ciclo idrologico potrebbe cambiare in modo non lineare perché i fattori in gioco possono essere diversi.

Quali sono le considerazioni principali per quello che riguarda il rapporto tra cambiamenti climatici e oceano?

Molti dei cambiamenti che abbiamo registrato nel recente passato e stiamo vivendo nel presente, sono segnali di un impatto ormai irreversibile dei cambiamenti climatici, come ad esempio quello relativo all'innalzamento della temperatura del mare, allo scioglimento del ghiaccio terrestre, al conseguente aumento del livello del mare, all'acidificazione e alla deossigenazione.

Più nel dettaglio, emerge dal rapporto che un ulteriore riscaldamento amplificherà ulteriormente lo scongelamento del permafrost e la perdita della copertura nevosa

stagionale, del ghiaccio terrestre e del ghiaccio marino artico. È probabile che l'Artico sarà praticamente privo di ghiaccio marino a settembre (mese del minimo annuo) almeno una volta prima del 2050, con eventi più frequenti per livelli di riscaldamento più elevati. Il livello medio globale del mare continuerà ad aumentare per tutto il XXI secolo in tutti e cinque gli scenari futuri considerati.

Le simulazioni di ultima generazione di CMIP6 hanno apportato miglioramenti in molti ambiti dello studio dell'oceano e dei ghiacci. In particolare, per le simulazioni passate e future del ghiaccio marino per cui si può ora rappresentare la sensitività del ghiaccio Artico rispetto alle emissioni di CO₂ e al riscaldamento globale. Inoltre, da queste simulazioni emerge una maggiore confidenza sulle stime della CO₂ (sia per il flusso in superficie che per lo stoccaggio in profondità) e risulta rafforzata l'evidenza scientifica in merito all'acidificazione del mare in tutte le regioni, con tendenze che si manifestano più marcate per il futuro.

Perché sono stati considerati nel Rapporto anche eventi improbabili con potenziali effetti disastrosi?

Per la prima volta sono stati considerati in un rapporto dell'IPCC eventi a bassa probabilità e grande impatto, ovvero potenziali esiti del cambiamento climatico considerati improbabili, tuttavia possibili, che potrebbero comportare effetti disastrosi (per esempio un crollo improvviso della calotta glaciale antartica, che porterebbe a un aumento del livello del mare più rapido del previsto, oppure la scomparsa della foresta pluviale amazzonica, o più in generale eventi estremi concomitanti altamente improbabili ma non impossibili). Prendere in considerazione tali eventi è molto importante perché ciò consente un'effettiva valutazione di quelli che sono i rischi più elevati per la società e per gli ecosistemi.

Il rapporto Climate Change 2021 dell'IPCC utilizza degli scenari diversi rispetto al precedente rapporto. Questi nuovi scenari si chiamano SSP, Shared Socio-economic Pathways. In che cosa consistono?

Il rapporto analizza i cambiamenti climatici con riferimento a 5 scenari che coprono una gamma di possibili sviluppi futuri di fattori antropogenici che, come si evince dalla letteratura scientifica, influenzano i cambiamenti climatici. Shared Socio-economic Pathway – SSP, questo il nome degli scenari, considerano una varietà di contesti socioeconomici diversi associati all'implementazione di diverse strategie di gestione delle emissioni di gas serra.

Questi scenari partono dal 2015 e comprendono ipotesi con:

- alte emissioni di gas serra (SSP3-7.0 e SSP5-8.5) ed emissioni di CO₂ che raddoppiano entro il 2100 o il 2050 rispetto ai valori attuali;
- valori intermedi di emissioni di gas serra (SSP2-4.5) con emissioni di CO₂ che rimangono ai livelli attuali fino alla metà del secolo;
- Emissioni basse o molto basse di gas serra (SSP1-1.9 e SSP1-2.6) con emissioni di CO₂ che vanno verso l'obiettivo di zero emissioni nette intorno al 2050 o dopo, con diversi livelli di emissioni negative di CO₂.

Nei diversi scenari le emissioni cambiano a seconda delle diverse assunzioni socio-economiche, i livelli di mitigazione dei cambiamenti climatici e le iniziative di controllo delle emissioni di alcuni inquinanti.

Cosa è il Gruppo di Lavoro I dell'IPCC

Il **rapporto del gruppo di lavoro I** si occupa della comprensione fisica più aggiornata del sistema climatico e del cambiamento climatico, mettendo insieme gli ultimi progressi della scienza del clima e combinando più linee di evidenza dal paleoclima, dalle osservazioni, dalla comprensione dei processi e dalle simulazioni climatiche globali e regionali.

Mostra come e perché il clima è cambiato fino ad oggi. Mette in evidenza come la nostra comprensione dell'influenza umana sia migliorata su una più ampia gamma di caratteristiche climatiche, compresi gli eventi estremi. Si nota una maggiore attenzione alle informazioni a livello regionale che possono essere utilizzate per le valutazioni del rischio climatico.

- La nuova struttura del rapporto del gruppo di lavoro I mostra che ci sarà **più integrazione tra le conoscenze e la comprensione** rispetto al rapporto precedente. Nel Quinto Rapporto di Valutazione (AR5) c'erano capitoli separati sulla valutazione dei modelli, sulle prove osservate, le registrazioni paleoclimatiche, ecc., ma ora questi argomenti sono integrati insieme in più capitoli. Per esempio, il capitolo 8 (cambiamenti del ciclo dell'acqua) incorpora tutti questi nella valutazione dei cambiamenti del ciclo dell'acqua dovuti al cambiamento climatico.
- C'è un'enfasi maggiore **sul cambiamento climatico regionale** nel rapporto del gruppo di lavoro I. L'ultimo terzo dei capitoli ha un focus regionale. Questi capitoli copriranno i grandi progressi nella conoscenza scientifica sui cambiamenti negli eventi estremi e sull'attribuzione di questi eventi al

cambiamento climatico causato dall'uomo, in particolare nel Capitolo 11 (Eventi meteorologici e climatici estremi in un clima che cambia), un capitolo nuovo e dedicato a questo argomento.

- Il Capitolo 12 (Informazioni sul cambiamento climatico per l'impatto regionale e per la valutazione del rischio) non guarda solo agli eventi estremi, ma anche ad altri fattori che sono rilevanti per le valutazioni del rischio che potrebbero apparire su scale temporali più lunghe (ad esempio, siccità, cambiamenti nella copertura nevosa, ecc.). Queste informazioni possono aiutare nelle valutazioni del rischio e dell'impatto – come parte del contributo del gruppo di lavoro I alle possibili soluzioni da mettere in atto.
- Il capitolo 10 (Collegare il cambiamento climatico globale a quello regionale) è un nuovo capitolo che collega il cambiamento climatico globale a quello locale, ed è molto rilevante per rispondere alle esigenze dei decisori politici locali.
- Ci sarà un atlante regionale interattivo online, con dati che sono alla base della valutazione del Gruppo di lavoro I, tra cui le informazioni sul cambiamento climatico osservato e previsto. Gli utenti possono eseguire analisi spaziali e temporali utilizzando molti dataset usati nella valutazione, possono accedere alle informazioni regionali sintetizzate per i fattori di impatto climatico e possono scaricare i dati.
- C'è una maggiore attenzione su **come la Terra risponde al cambiamento climatico** guardando, per esempio, a come gli oceani e l'atmosfera rispondono quando le emissioni di gas serra vengono ridotte, o se vengono utilizzate tecniche di rimozione del carbonio, e le tempistiche associate a queste azioni. Ci sarà anche una valutazione aggiornata della nostra conoscenza su quanto la temperatura della Terra sia sensibile alle emissioni di anidride carbonica.
- Nel quinto rapporto di valutazione, sono stati utilizzati quattro percorsi di concentrazione rappresentativi (RCP) utilizzati per simulare il futuro cambiamento climatico. Questa volta l'IPCC usa i **Percorsi Socio-Economici** (Shared Socio-Economic Pathways) che esaminano una gamma molto più ampia di opzioni. C'è una maggiore attenzione ai gradi più bassi di riscaldamento a causa di questi scenari. Livelli di riscaldamento come 1,5°C e 2°C possono essere valutati più rigorosamente rispetto a quanto fatto in AR5. Viene anche valutata la tempistica di quando potremmo vedere una temperatura media globale di questi livelli di riscaldamento globale.