

Università di Parma – Anno Accademico 2024-2025

Corso di cambiamenti climatici

Prof. Stefano Caserini

Gli impatti dei cambiamenti climatici



Agenti inquinanti / climalteranti

I principali impatti dei cambiamenti climatici

Tempo e clima

Probabilità e attribuzione

Soglie critiche e non linearità

Irreversibilità

Le braci ardenti

I gas climalteranti sono sostanze inquinanti ?

Definizione di «inquinamento» (DLgs 152/2006, testo unico sull'ambiente):

«Introduzione diretta o indiretta, a seguito di attività umana, di sostanze, vibrazioni, calore o rumore nell'aria, nell'acqua o nel terreno, *che potrebbero nuocere alla salute umana o alla qualità dell'ambiente, causare il deterioramento di beni materiali, oppure danni o perturbazioni a valori ricreativi dell'ambiente o ad altri suoi legittimi usi*»

- Generalmente un inquinante nuoce direttamente alla salute umana (es. PM10 in aria – polmoni; arsenico nell'acqua).
- La CO₂ e i gas serra agiscono indirettamente, causando danni alla salute umana e al benessere.
- Per questo i gas climalteranti possono comunque essere definiti inquinanti, seppur sono diversi dagli inquinanti atmosferici tradizionali.

Non è solo un questione semantica.

Il fatto che la CO₂ non faccia direttamente male alla salute è un argomento a lungo usato per negare la necessità di controllarne le emissioni.

GeoHealth

RESEARCH ARTICLE

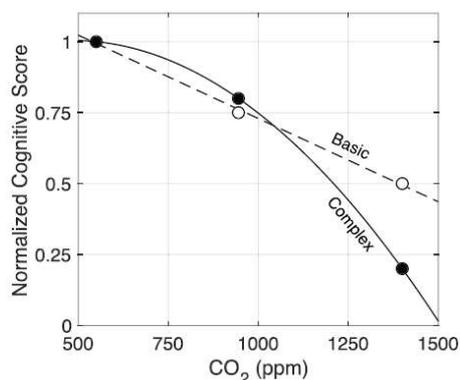
10.1029/2019GH000237

Fossil Fuel Combustion Is Driving Indoor CO₂ Toward Levels Harmful to Human Cognition

Kristopher B. Karnauskas^{1,2,3} , Shelly L. Miller⁴, and Anna C. Schapiro⁵ 

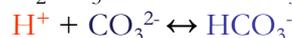
Key Points:

- Atmospheric carbon dioxide concentrations are reaching levels never experienced by *Homo sapiens*
- Recent experiments have linked high indoor carbon dioxide concentrations to reduced cognitive function
- Our models predict that future carbon emissions will increase indoor concentrations to levels harmful to human cognition



Il «gemello nascosto» del riscaldamento globale: l'acidificazione dei mari

Aumento CO_2



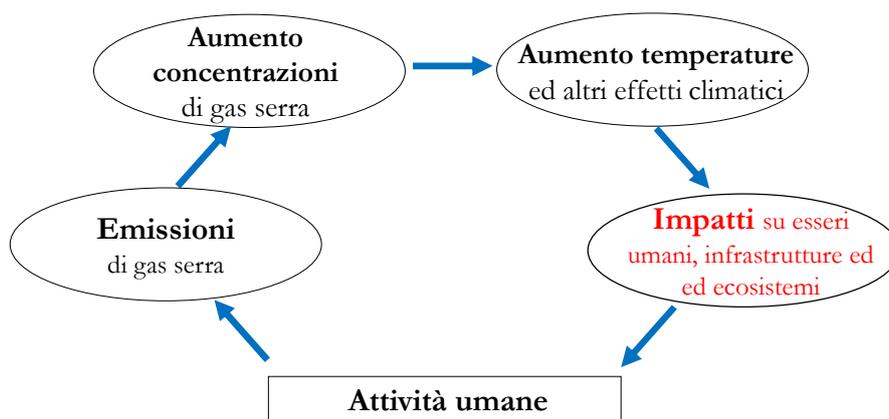
Aumenta l'acidità
del mare
(diminuisce il pH)



«Il pH oceanico è diminuito di 0,1 unità dal periodo preindustriale, una variazione che non ha precedenti negli ultimi 65 milioni di anni (alta confidenza)».

IPCC, Special Report 1,5° di riscaldamento globale, 3.3.10

«In alcune regioni oceaniche, il riscaldamento e l'acidificazione degli oceani hanno influito negativamente sulla produzione alimentare ittica e sulla acquacoltura di molluschi (confidenza elevata)» (IPCC-AR6, SYR-SPM).

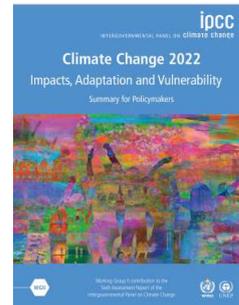


I principali impatti dei cambiamenti climatici

- Ondate di calore
- Eventi meteorologici estremi /1: siccità
- Eventi meteorologici estremi /2: precipitazioni intense
- Incendi
- Riduzione dei ghiacci (alpini, banchisa artica, calotte polari)
- Aumento del livello del mare
- Riduzione della biodiversità
- Altre cose importanti

Nel secondo volume del rapporti IPCC è contenuta una valutazione dettagliata dei diversi tipi di impatti dei cambiamenti climatici, con una valutazione globale e per ogni continente dei principali rischi, delle misure di adattamento e del loro potenziale di ridurre i rischi in diversi orizzonti temporali

www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/



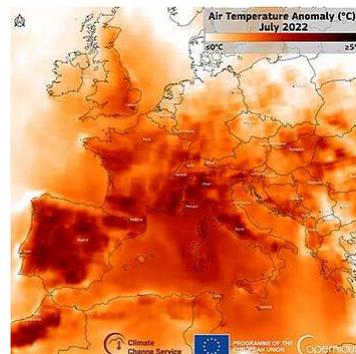
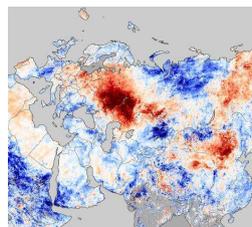
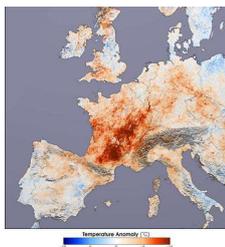
Aumento dello stress termico per le ondate di calore

In tutte le regioni, l'aumento degli eventi di calore estremo ha causato morti e malattie (confidenza molto elevata) (IPCC-AR6, SYR-SPM).

Ondata di calore (“heat wave”): periodo con temperature massime elevate rispetto alle temperature massime medie.

La definizione del World Meteorological Organization è

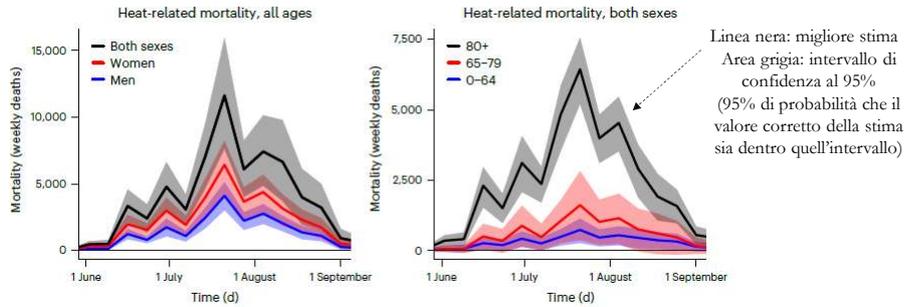
“quando le temperature giornaliere di cinque giorni consecutivi superano le temperature medie di quel periodo nel 1961-1990 di più di 5 °C”.



Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022



- 62.000 morti in eccesso in Europa
- 18.000 morti in eccesso in Italia

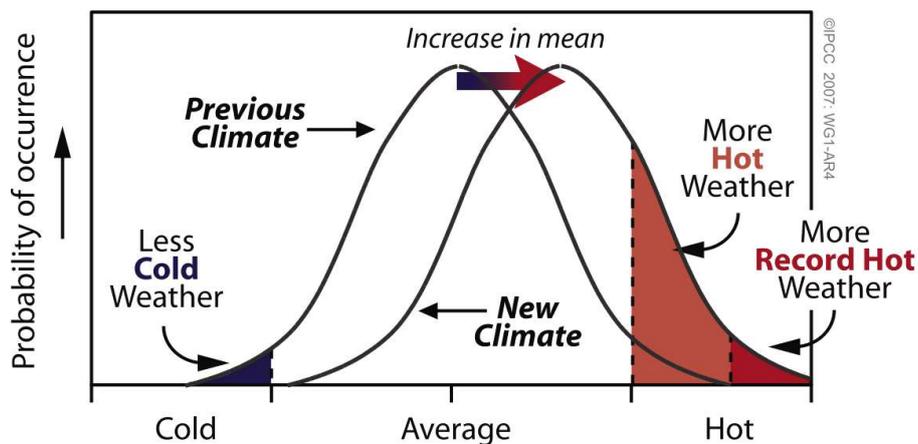


Il cambiamento climatico sta già colpendo ogni regione abitata del mondo, con l'influenza umana che contribuisce a molti cambiamenti osservati nel meteo e negli estremi climatici.

(IPCC, AR6-WG1-SPM)

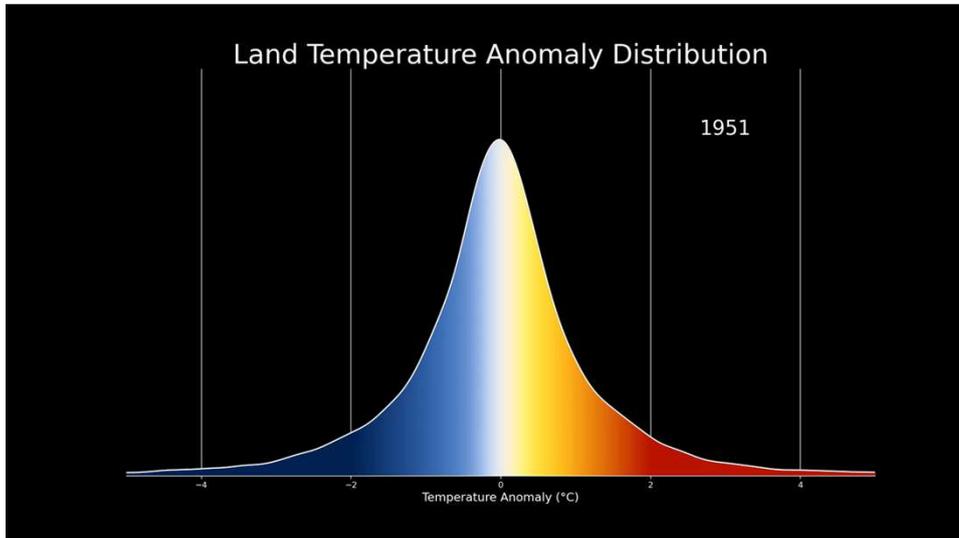
In diverse aree del pianeta è aumentata la frequenza di **eventi "estremi"** di temperature e precipitazioni.

Eventi estremi = eventi che si collocano all'estremità delle distribuzioni delle frequenze "storiche", con cui gli eventi si sono presentati nel passato



La modifica delle temperature comporta non solo un cambiamento dei valori medi ma anche una maggiore probabilità di occorrenza dei valori estremi.

Esempio: distribuzione dei dati delle temperature sulla terraferma



Fonte: NASA Scientific Visualization Study. Shifting distribution of land temperature anomalies, 1951-2020

Aumento dei danni da eventi meteorologici estremi – siccità

Le proiezioni del cambiamento climatico indicano una diminuzione della disponibilità d'acqua in molte aree aride o semi aride, con l'aumento della popolazione con scarsità d'acqua. Va considerato che un terzo della popolazione mondiale ha già problemi di approvvigionamento idrico.

Mentre in alcune zone una maggiore siccità può ridurre il rischio di malattie infettive, in altre zone è invece previsto un aumento dell'umidità, che con l'aumento di temperature può portare alla maggiore diffusione di malattie infettive, anche quelle causate o trasmesse da parassiti (es. malaria)



Aumento dei danni da eventi meteorologici estremi - precipitazioni

Per valutare quanto una precipitazione intensa è anomala, è necessario disporre dei dati storici sugli accadimenti delle precipitazioni di quella intensità.

Più la precipitazione è intensa, meno è frequente

→ meno dati sono disponibili

→ effettuare valutazione statistiche affidabili è più difficile

La frequenza e l'intensità degli eventi di forti precipitazioni sono probabilmente aumentate su scala globale nella maggior parte delle regioni terrestri con una buona copertura di osservazione. Le forti precipitazioni sono probabilmente aumentate su scala continentale in tre continenti: Nord America, Europa e Asia. Aumenti regionali nella frequenza e/o intensità delle forti precipitazioni sono stati osservati con almeno una confidenza media per quasi la metà delle regioni...

L'influenza umana, in particolare le emissioni di gas serra, è probabilmente il principale motore dell'intensificazione osservata su scala globale delle forti precipitazioni sulle regioni terrestri. È probabile che il cambiamento climatico indotto dall'uomo abbia contribuito all'intensificazione osservata delle forti precipitazioni su scala continentale in Nord America, Europa e Asia.

Fonte: IPCC-AR6-WG1, cap. 11 Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate

Incendi

In molte regioni, gli incendi boschivi hanno avuto effetti negativi sugli ecosistemi e sulle specie, sulle persone e sui loro beni edilizi, sulle attività economiche e sulla salute (livello di confidenza medio-alto). (IPCC-AR6, WG2, SPM)

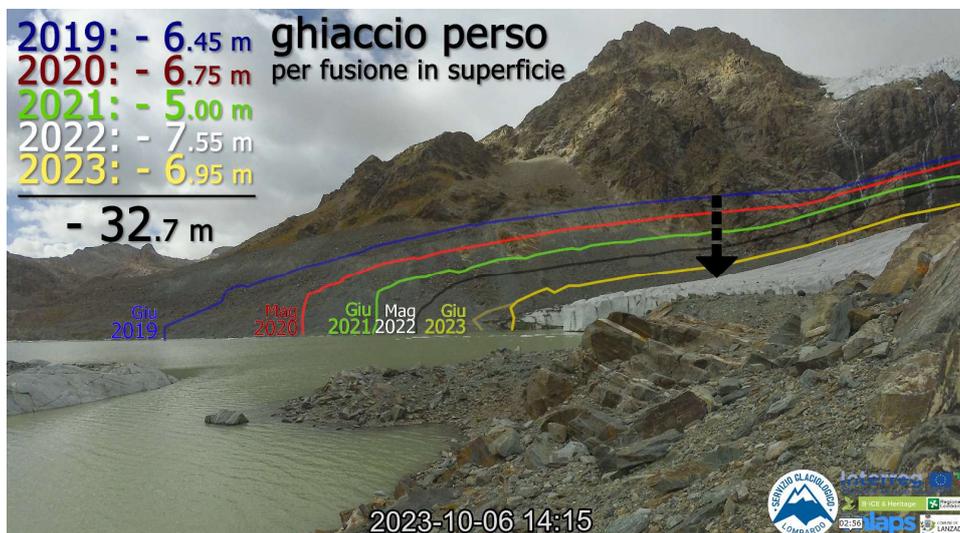


Riduzione dei ghiacci – ghiacci montani

I ghiacciai montani e polari continueranno a sciogliersi per decenni o secoli (confidenza molto alta)

IPCC-AR6, WG1-SPM

Ghiacciaio Fellaria, 2600 metri, Valmalenco

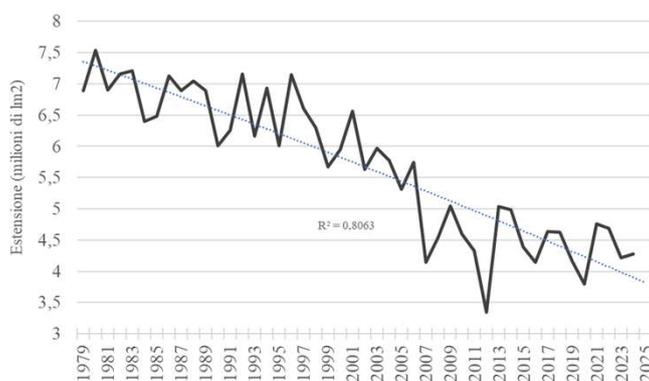


Riduzione dei ghiacci – banchisa artica

1980

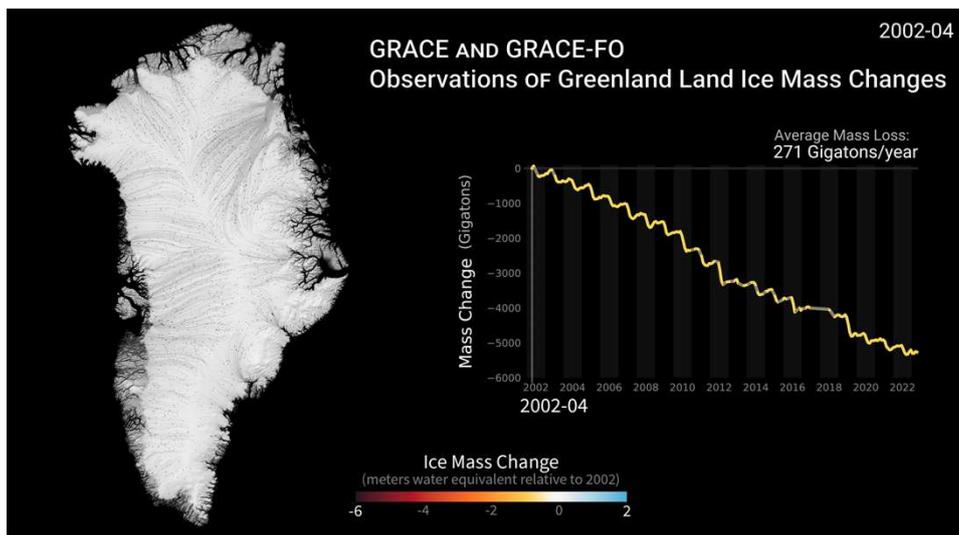


2012



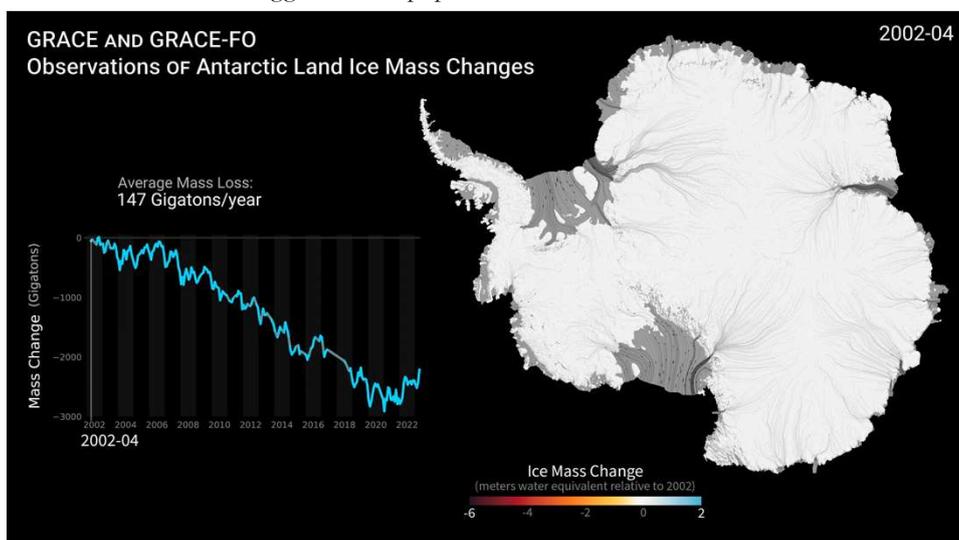
Riduzione dei ghiacci – calotta glaciale della Groenlandia

Le calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide, dove risiede il 99% dell'acqua dolce del pianeta, stanno perdendo massa glaciale, a partire dai margini



Riduzione dei ghiacci – calotta glaciale dell'Antartide

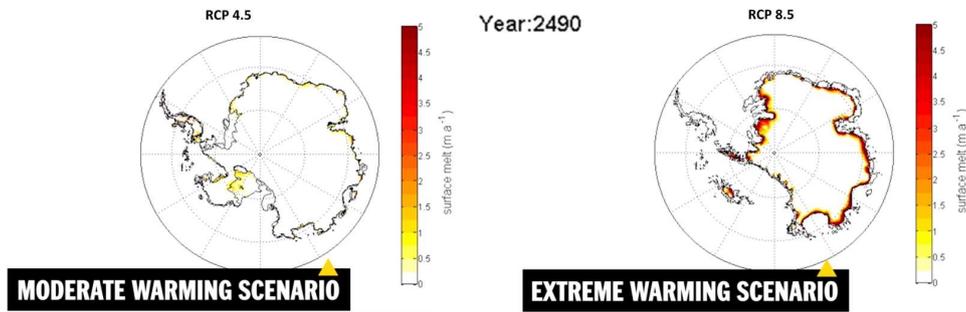
La parte est dell'Antartide ha ghiacci profondi fino a 4 km. La parte occidentale è invece più sensibile al riscaldamento dell'atmosfera e dell'oceano, e può essere soggetta in tempi più brevi a fenomeni di instabilità



Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise

31 MARCH 2016 | VOL 531 | NATURE | 591

Robert M. DeConto¹ & David Pollard²



Dall'abstract dell'articolo:

L'Antartide ha il potenziale per contribuire a un innalzamento del livello del mare di oltre un metro entro il 2100 e di oltre 15 metri entro il 2500, se le emissioni continueranno senza sosta. In questo caso, il riscaldamento atmosferico diventerà presto il motore dominante della perdita di ghiaccio, ma il riscaldamento prolungato degli oceani ne ritarderà il recupero per migliaia di anni.

Aumento del livello del mare

Le cause principali dell'innalzamento del livello del mare sono l'espansione termica e la fusione dei ghiacci (ghiacciai e calotte glaciali)

Il livello medio globale del mare è aumentato di 0,20 [0,15–0,25] m tra il 1901 e il 2018.

Il tasso medio di innalzamento del livello del mare è stato di (confidenza alta):

- 1,3 [0,6–2,1] mm annui tra il 1901 e il 1971
- 1,9 [0,8–2,9] mm annui tra il 1971 e il 2006
- 3,7 [3,2–4,2] mm annui tra il 2006 e il 2018

Aumento del livello del mare già registrato:
circa 20 cm (200 mm)

Ulteriori aumenti del livello del mare

Scenario con emissioni molto basse

0,15-0,23 m entro il 2050

0,28-0,55 m entro il 2100;

2-3 m nei successivi 2000 anni

Scenario con emissioni molto alte

0,20-0,29 m entro il 2050

0,63-1,01 m entro il 2100

>15 metri nei successivi 2000 anni



Riduzione della biodiversità



Defaunation in the Anthropocene

Rodolfo Dirzo,^{1*} Hillary S. Young,² Mauro Galetti,³ Gerardo Ceballos,⁴ Nick J. B. Isaac,⁵ Ben Collen⁶

We live amid a global wave of anthropogenically driven biodiversity loss: species and population extirpations and, critically, declines in local species abundance. Particularly, human impacts on animal biodiversity are an under-recognized form of global environmental change. Among terrestrial vertebrates, 322 species have become extinct since 1500, and populations of the remaining species show 25% average decline in abundance. Invertebrate patterns are equally dire: 67% of monitored populations show 45% mean abundance decline. Such animal declines will cascade onto ecosystem functioning and human well-being. Much remains unknown about this "Anthropocene defaunation"; these knowledge gaps hinder our capacity to predict and limit defaunation impacts. Clearly, however, defaunation is both a pervasive component of the planet's sixth mass extinction and also a major driver of global ecological change.

Impatti su altre cose importanti per gli esseri umani

Quali sono le cose per noi importanti, che potrebbero essere impattate dal cambiamento climatico?

Quali sono le cose per noi davvero importanti?

Quali sono le cose per cui vale la pena vivere?

Piccola indagine

- Collegarsi a www.menti.com
- Inserire il codice 6374 4531
- Scegliere fra 10 possibili risposte (una sola scelta)

(il sondaggio è anonimo)

Too darn hot (Cole Porter, 1948)

È troppo dannatamente caldo
 Mi piacerebbe cenare con la mia ragazza stasera
 E fare l'amore con la mia ragazza stasera
 Ma io non sono dalla mia ragazza stasera
 Perché è troppo dannatamente caldo.
 Secondo il Rapporto Kinsey ogni uomo in media
 Preferisce di gran lunga corteggiare la sua dolce amata
 Quando la temperatura è moderata.
 Ma quando il termometro va su
 E il tempo è rovente
 Caro mio, uno non se la sente di amoreggiare
 Perché è troppo, troppo
 Troppo dannatamente caldo.

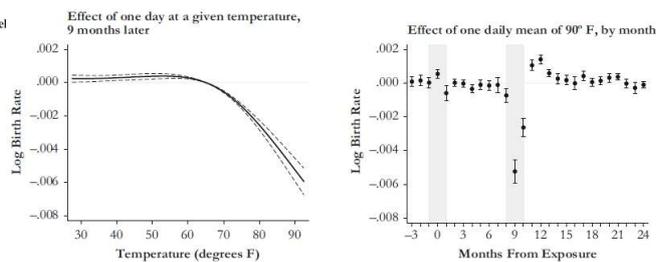


Demography (2018) 55:1269–1293
<https://doi.org/10.1007/s13524-018-0690-7>

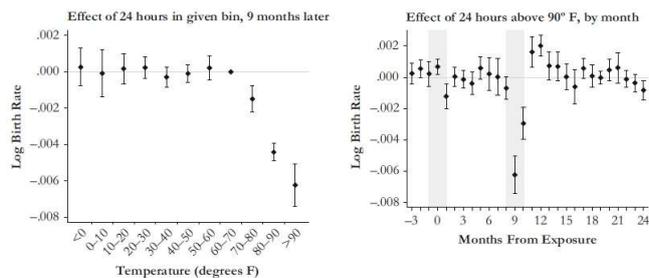
Maybe Next Month? Temperature Shocks and Dynamic Adjustments in Birth Rates

Alan Barreca^{1,2,3} · Olivier Deschenes^{2,3,4} · Mel

a. Spline of daily mean temperature



b. Diurnal temperature bins



SCIENTIFIC REPORTS

OPEN Extreme thermal fluctuations from climate change unexpectedly accelerate demographic collapse of vertebrates with temperature-dependent sex determination

Nicole Valenzuela^{1,2}, Robert Litzman¹, Jennifer L. Newbold^{1,3}, Beatriz Mizoguchi¹, John B. Iverson¹, Julia L. Riley^{1,4} & Jacqueline D. Litzen¹

SCIENTIFIC DATA
genes

Article

Climate Change and Green Sea Turtle Sex Ratio—Preventing Possible Extinction

Jana Blechschmidt, Meike J. Wittmann and Chantal Blüml *



PROCEEDINGS B

royalsocietypublishing.org/journal/rspb

Research



Environmental variability directly affects the prevalence of divorce in monogamous albatrosses

Francesco Ventura¹, José Pedro Granadeiro¹, Paul M. Lukacs², Amanda Kuepfer^{1,8} and Paulo Catry³



Tempo e clima

Il tempo meteorologico (lo stato dell'atmosfera in un dato tempo e luogo) ha una sua variabilità, che porta la possibilità di ondate di calore, di precipitazioni molte intense, di periodi siccitosi.

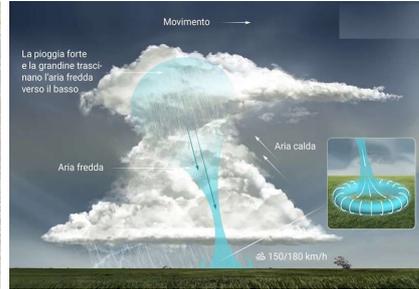
Il cambiamento climatico (il «tempo medio», su un lungo periodo e su un'area vasta) influisce sulla variabilità del tempo meteorologico, rendendo più probabili alcuni eventi e meno altri.

Anche prima del cambiamento climatico antropico la variabilità meteorologica e le lente oscillazioni climatiche generavano impatti sulle società umane e gli ecosistemi

Probabilità e attribuzione



Milano , 25 luglio 2023



Downburst

CHI SPECULA SUL CLIMA
L'URAGANO DEGLI SCIACALLI
 Tempesta sul Nord: Milano paralizzata, centinaia di alberi schiantati e tetti divelti. Al Sud incendi e vittime. E la sinistra accusa il governo perché piove...
IL FLAGELLO DI OGNI ESTATE PIEGATO ALLA PROPAGANDA
PER IL TERRORISMO CLIMATICO
ARRUOLANO ANCHE I PIROMANI
 Tutti gli incendi sono dolosi e giornali e tv prima gridavano indignazione verso i responsabili. Ora però i criminali spariscono per far credere che sia fuoco che grandine facciano parte dell'apocalisse ambientale

Il terrorismo green divide anche i ministri



Come distinguere se quanto un evento estremo è dovuto alla variabilità meteorologica o risente del contributo del cambiamento climatico ?



World
Weather
Attribution

Home About ▾ Analyses ▾ News Peer reviewed research ▾



Methodological papers

Event papers



Climate change increased the likelihood of wildfire disaster in highly exposed Los Angeles area



Heatwave

Heatwaves can be particularly dangerous to humans, and occur all over the world with increasing intensity.

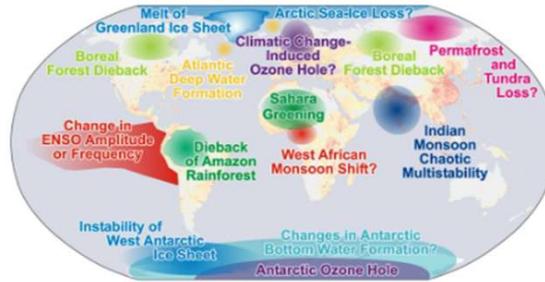


Extreme rainfall

Rainfall events from a major storm or hurricane, or intense localised downpours can lead to flooding in any type of location.

Soglie critiche e non linearità

La paleoclimatologia mostra come nel passato ci siano stati anche cambiamenti repentini nel clima globale. La possibilità di evoluzioni non lineari, di discontinuità nell'evoluzione del sistema climatico è un tema di grande interesse, ma ancora caratterizzato da grandi incertezze.

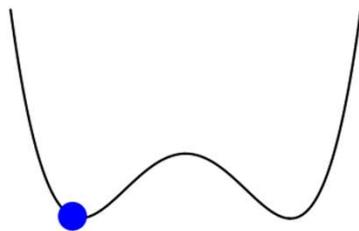


Lenton T.M. et al.
(2008) *Tipping elements in the Earth's climate system*. *Proceedings of the National Academy of Science*,

Lo sforzo della comunità scientifica è di affrontare in modo quantitativo il problema, cercando non solo di definire gli elementi potenzialmente instabili del sistema climatico (chiamati “tipping element”), ma di descrivere quantitativamente, in termini di aumento della temperatura media globale, la posizione delle “soglie” (chiamate “tipping point”).

Tipping point

Definizione dell'IPCC: una soglia critica oltre la quale un sistema si riorganizza, spesso in modo brusco e/o irreversibile



CC BY 4.0 - Chris A. Boulton (UoE, UK)

«*Abrupt climate change*»: un cambiamento improvviso su larga scala nel sistema climatico che avviene nell'arco di pochi decenni o meno, persiste (o si prevede che persista) per almeno alcuni decenni e provoca impatti sostanziali sui sistemi umani e/o naturali.

Esempio di conseguenze dal superamento delle soglie per alcuni “tipping elements” presenti nel sistema climatico

Tipping element	Fenomeno	Conseguenze
Ghiaccio marino dell'Artico	fusione	temperature medie globali più elevate e ricadute sugli ecosistemi
Calotta glaciale della Groenlandia	fusione – destabilizzazione	innalzamento di 7 metri del livello del mare e temperature medie mondiali più elevate
Calotta glaciale dell'Antartico occidentale	fusione – destabilizzazione	innalzamento di 5 metri del livello del mare e temperature medie mondiali più elevate
Corrente oceanica atlantica (AMOC)	riduzione e poi blocco	alterazione della Corrente del Golfo e alterazioni termiche in Europa e scala globale
El Niño / La Niña	modifica della frequenza e dell'intensità	alterazione dei meccanismi meteorologici, più intensi fenomeni di siccità (es. sud-est asiatico)
Foresta boreale	inaridimento	importanti cambiamenti negli ecosistemi boreali, perdita di biodiversità
Foresta amazzonica	inaridimento	grave modifica degli ecosistemi e perdita di biodiversità, riduzione delle piogge
Monsoni estivi indiani	modifica della frequenza e dell'intensità	fenomeni di intensa siccità e modifica dei meccanismi meteorologici
Monsoni dell'Africa occidentale	modifica della frequenza e dell'intensità	cambiamenti nel Sahara/Sahel e modifica meccanismi meteorologici

Per approfondire: Lenton T.M. et al. (2008) *Tipping elements in the Earth's climate system*. PNAS, vol. 105

nature Subscribe

COMMENT • 27 NOVEMBER 2019

Climate tipping points – too risky to bet against

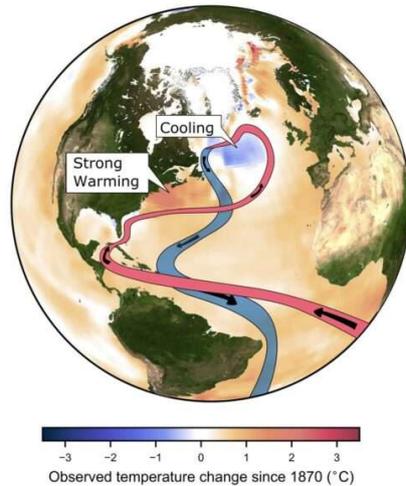
The growing threat of abrupt and irreversible climate changes must compel political and economic action on emissions.

Timothy M. Lenton, Johan Rockström, Dahe Qin, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen & Hans Joachim Schellnhuber



- B: riduzione ghiaccio artico
- D: foresta boreale: incendi e parassiti
- H: degradazione del Permafrost
- G: Groenlandia: maggior perdita di ghiaccio
- C: Circolazione oceanica atlantica: in rallentamento dal 1950
- A: Amazonia: siccità più frequenti
- I: Calotta occidentale antartica: destabilizzazione per perdita di ghiaccio accelerata
- J: Calotta orientale antartica: destabilizzazione per perdita di ghiaccio accelerata (Wilkes Basin)
- F: Barriera corallina: moria su larga scala

«Secondo noi, anche solo le evidenze che arrivano dai punti critici suggeriscono che siamo in uno stato di emergenza planetaria. La stabilità e la resilienza del nostro pianeta sono in pericolo. L'azione internazionale, non solo a parole, deve tenerne conto»



AMOC, Atlantic Meridional Overturning Circulation, in italiano «capovolgimento meridionale della circolazione atlantica», è il termine scientifico per indicare l'intera circolazione oceanica che trasporta acqua e calore verso nord, e di cui una parte è la ben nota “Corrente del golfo”, responsabile del clima mite alle alte latitudini dell'Europa occidentale

Schema dell'AMOC: l'acqua calda scorre verso nord, affonda alle latitudini settentrionali e poi ritorna come una corrente fredda e profonda verso sud. La mappa di sfondo mostra il cambiamento della temperatura della superficie del mare dal 1870, sulla base delle osservazioni oceaniche, tra cui l'impronta digitale del rallentamento dell'AMOC, una "macchia fredda" nel Nord Atlantico subpolare e l'eccessivo riscaldamento a nord della Corrente del Golfo (Figura adattata da Caesar et al., Nature 2018)

Is the Atlantic Overturning Circulation Approaching a Tipping Point?

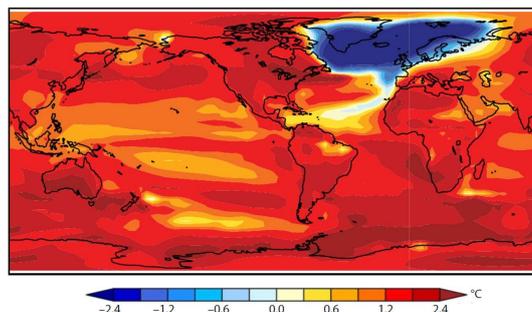
Stefan Rahmstorf, Oceanography, 37, 2024

La circolazione oceanica dell'Atlantico e il sistema della Corrente del Golfo si avvicinano ad un punto di non-ritorno?

Disponibile in italiano su Elly e qui <https://www.climalteranti.it/2024/05/17/amoc/>

Secondo gli studi più recenti, il «collasso» dell'AMOC potrebbe portare a enormi raffreddamenti nella parte che oggi gode degli effetti benefici della corrente del golfo, il nord Europa (UK, Irlanda e Scandinavia)

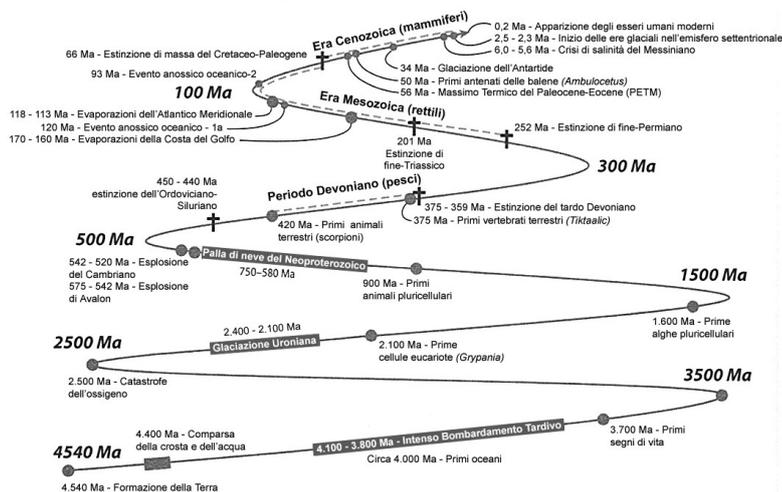
Variazione media annuale della temperatura dell'aria in prossimità della superficie, derivante dal raddoppio della CO₂ e dall'interruzione dell'AMOC. Mentre la Terra diventa molto più calda, la regione dell'Atlantico settentrionale diventa più fredda. In inverno il raffreddamento è ancora maggiore.



Irreversibilità

L'irreversibilità va valutata in relazione alla scala temporale.

Il superamento di una certa soglia “di non ritorno” può comportare variazioni per alcuni secoli o millenni, ma può il sistema può tornare nelle condizioni iniziali su tempi più lunghi.



Da Rohling E.
«Oceani. Una storia profonda»

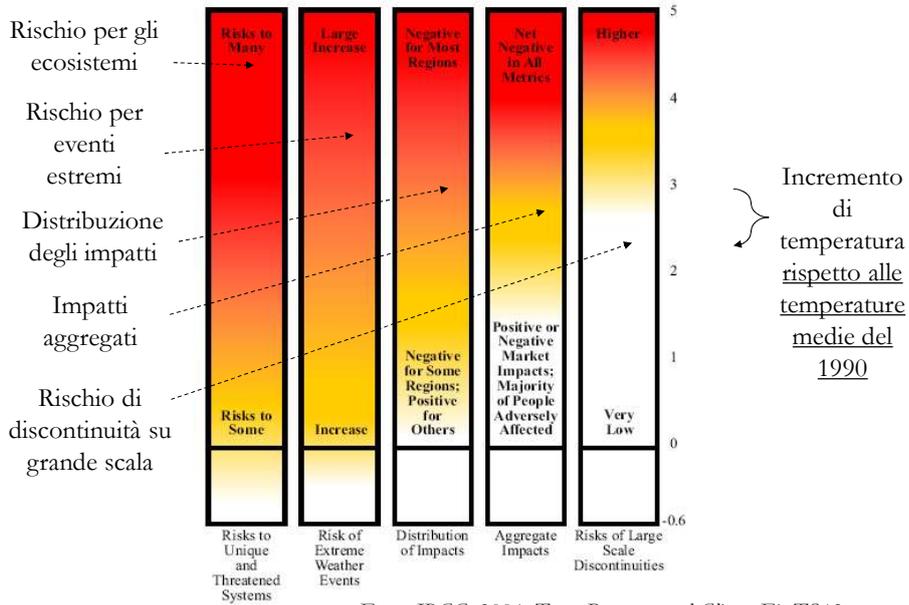
Le braci ardenti

“*burning embers diagram*” (diagramma della brace ardente): un metodo per rappresentare in modo aggregato il rischio di 5 tipologie di impatti, 5 motivi di preoccupazione (“*reasons for concerns*”).

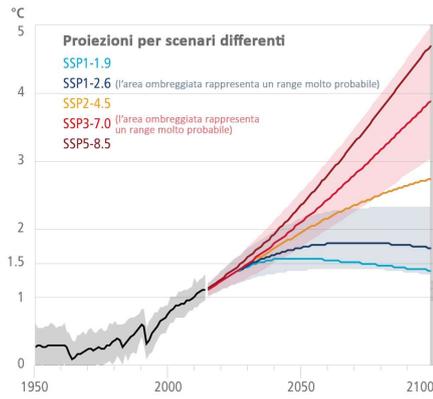
- **Rischio per gli ecosistemi** (estinzione specie, habitat unici, biodiversità)
- **Rischio per eventi estremi** (danni alla salute, ai beni, all'ambiente dall'aumento della frequenza degli eventi estremi di calore e precipitazioni)
- **Distribuzione degli impatti** (su salute, disponibilità acqua, produzioni agricole)
- **Impatti aggregati** (aggregazione degli impatti economici in diversi settori)
- **Rischio di discontinuità su grande scala** (stabilità calotte glaciali, riduzione significativa della circolazione termoalina)

Vista l'impossibilità di quantificare il livello di rischio per impatti molto complessi e caratterizzati da elevate incertezze, la stima è una valutazione fatta dagli esperti dei singoli settori (“*expert judgment*”), sulla base di quanto pubblicato nella letteratura scientifica.

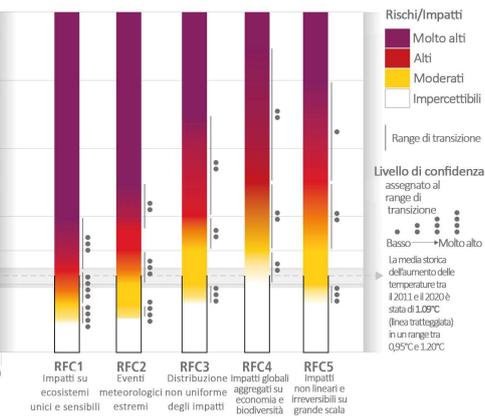
“Motivi di preoccupazione” per gli impatti dei cambiamenti climatici



(a) Cambiamento della temperatura superficiale globale
Aumento relativo al periodo 1850- 1900



(b) Motivi di Preoccupazione (RFC)
Valutazione di impatti e rischi per un adattamento modesto o nullo

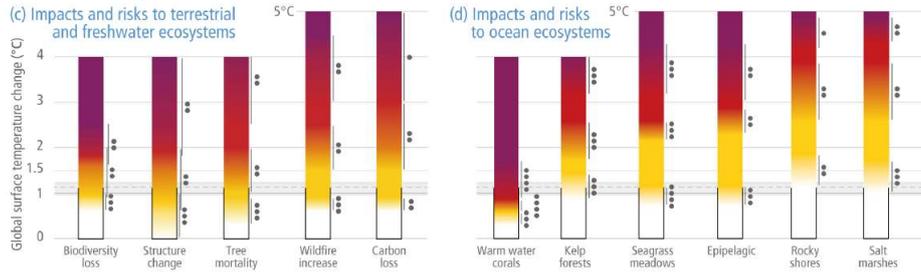


Fonte: IPCC, 2022, AR6-WG2, SPM3

L'AR6-WG2 ha aggiornato la figura riassuntiva sugli impatti attesi per i diversi livelli di temperatura.

«I rischi e gli impatti negativi previsti e le relative perdite e danni derivanti dai cambiamenti climatici aumentano con ogni incremento del riscaldamento globale (confidenza molto alta)».

Fonte: IPCC, 2022, AR6-WG2, SPM



Fonte: IPCC, 2022, AR6-WG2, SPM3

Per ogni livello di riscaldamento futuro, le valutazioni effettuate nell'AR6 indicano rischi molto superiori a quelli indicati nell'AR5.

Gli impatti a lungo termine previsti sono fino a molte volte superiori a quelli attualmente osservati (confidenza elevata)».

«I rischi climatici e non climatici interagiranno sempre più, creando rischi composti e a cascata più complessi e difficili da gestire (confidenza alta)»

Fonte: IPCC, 2022, AR6-WG2, SPM

→ prossima lezione

