

Corso ECM (Educazione Continua in Medicina)  
**“Crisi climatica e salute: le nuove sfide per la pratica clinica”**  
23 maggio 2026 c/o Ordine Medici Arezzo

# **CAMBIAMENTI CLIMATICI: INQUADRAMENTO GENERALE, FATTORI DETERMINANTI**

Mario C. Cirillo,  
Comitato Scientifico di ISDE Italia (affiliata a ISDE, *International Society of Doctors for the Environment*),  
già Direttore del Dipartimento per la Valutazione, i Controlli e la Sostenibilità Ambientale dell'ISPRA  
(Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)



**IL CATALOGO È QUESTO:**

**1. CLIMA: INQUADRAMENTO GENERALE**

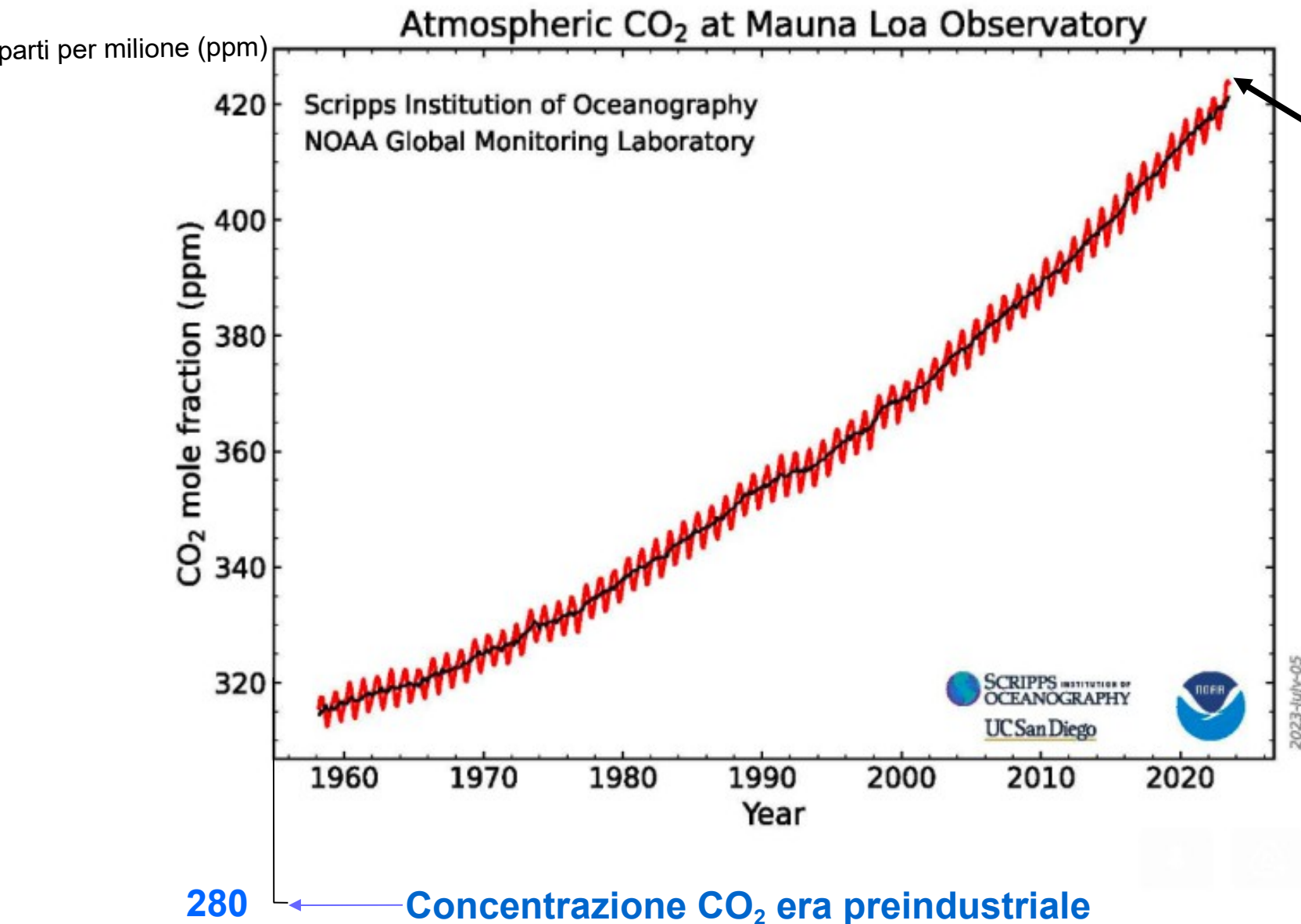
**2. LA CRISI CLIMATICA È ANCORA  
NEL VASO DI PANDORA**

**3. PUNTO DI NON RITORNO:  
RISCHIO NON A MISURA D'UOMO**



# 1. CLIMA: INQUADRAMENTO GENERALE

# COME SIAMO MESSI?



Mai vista una concentrazione simile di CO<sub>2</sub> da 14 milioni di anni a questa parte!

# COSA SIGNIFICA?

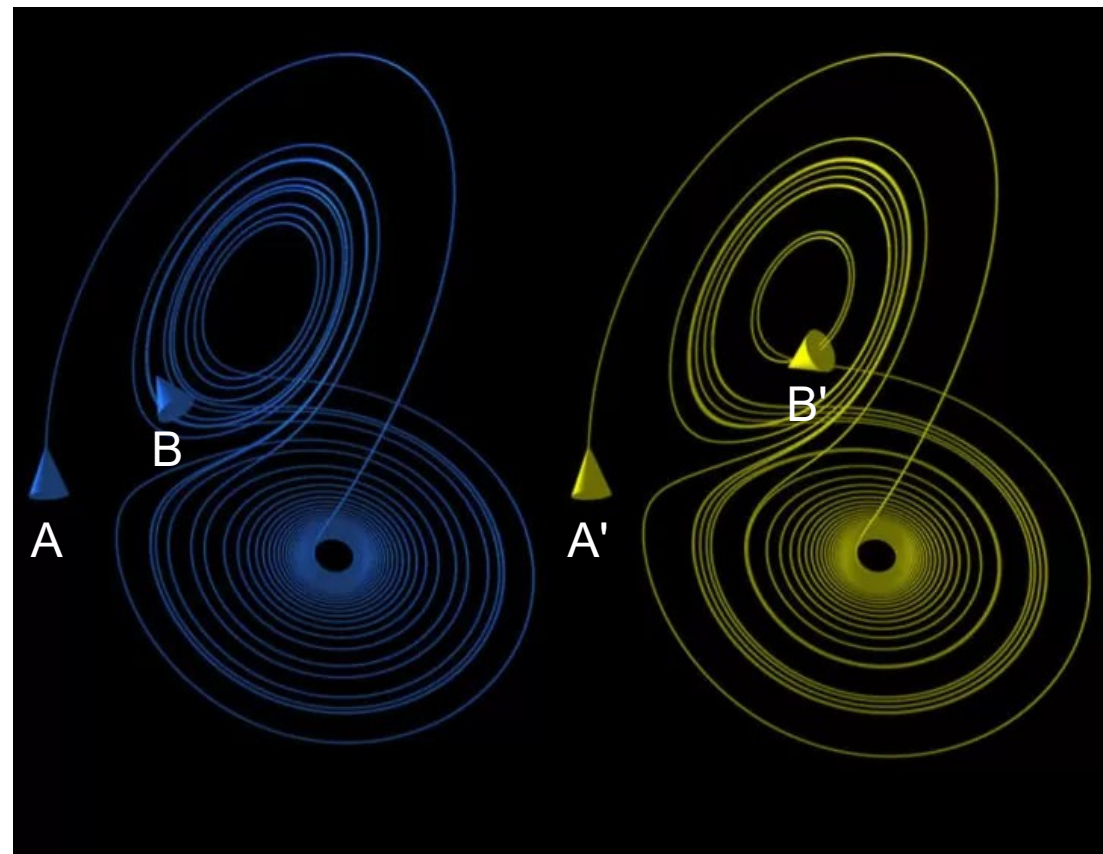
420 ppm di CO<sub>2</sub> significa che lo 0,042% delle molecole dell'aria sono CO<sub>2</sub>.  
È un incremento di 0,014% di CO<sub>2</sub> rispetto all'era preindustriale (280 ppm).  
**Come è possibile che quantità così piccole producano effetti così grandi?**

*"Può il batter d'ali di una farfalla in Brasile provocare un tornado in Texas?"* fu il titolo di una conferenza tenuta nel 1972 da Edward N. Lorenz, matematico e meteorologo statunitense che stabilì le basi teoriche della prevedibilità del tempo e del clima.

Lorenz è stato uno dei pionieri della teoria dei sistemi caotici, caratterizzati dal fatto che **piccole perturbazioni possono portare a conseguenze grandi** (non linearità).

La differenza tra A e A' è di 0,00001. Questa minima differenza porta a due situazioni finali molto diverse: B e B'.

**IL CLIMA È UN SISTEMA CAOTICO**



**La concentrazione in atmosfera di CO<sub>2</sub> ha da qualche anno superato le 420 ppm (parti per milione).**

**Mai così alta sul nostro pianeta da 14 milioni di anni.**

**Cosa significa per la Terra?**

**La Terra emette calore sotto forma di radiazioni infrarosse, la CO<sub>2</sub> è uno dei **gas serra**, che hanno la proprietà di assorbire ed emettere queste radiazioni, col risultato di trattenere parte del calore emesso dal nostro pianeta .**

**Tra questi il vapore acqueo è quello che pesa di più per il calore che trattiene: in condizioni di equilibrio contribuisce per circa il 50% all'effetto serra.**

**Ma cosa vuol dire *condizioni di equilibrio*?**

**EQUILIBRIO ENERGETICO:**

**la Terra riceve dal Sole tanta energia, quanto è il calore che emette sotto forma di radiazioni infrarosse e che si disperde nello spazio.**

# IL RUOLO CRUCIALE DEI GAS SERRA PER IL CLIMA DEL NOSTRO PIANETA

I gas serra, questa “coperta del pianeta”, hanno impedito per millenni che buona parte del calore emesso si disperdesse nello spazio, mantenendo temperature ideali per lo sviluppo delle civiltà.

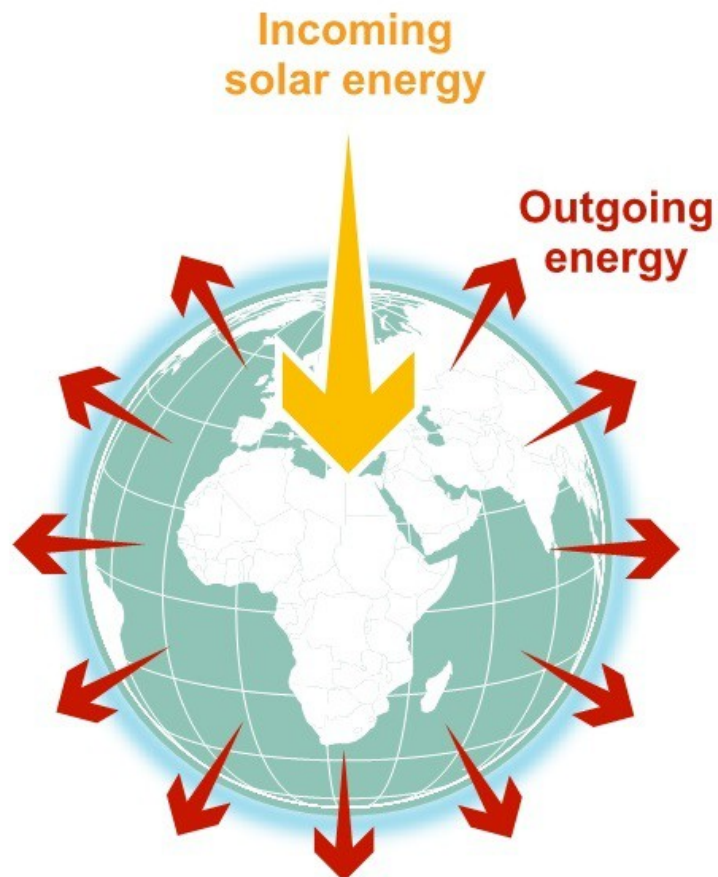
Senza gas serra la Terra sarebbe un'enorme palla di ghiaccio.

Dall'inizio della rivoluzione industriale l'aumento dei gas serra in atmosfera ha creato una

**SIUAZIONE DI DISEQUILIBRIO.**

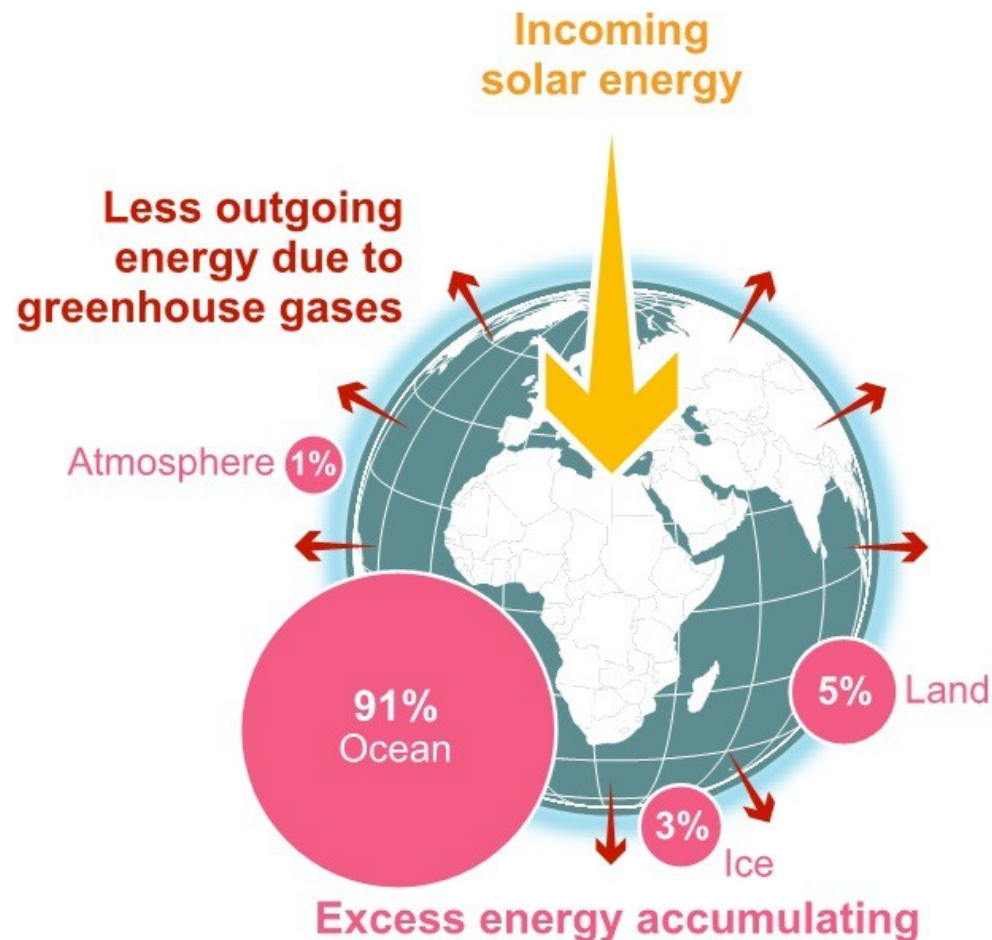
Più gas serra significa più calore che viene intercettato e trattenuto: troppe coperte attorno al pianeta!

## Stable climate: in balance



Fonte: IPCC 2021, 2022

## Today: imbalanced



Nella **situazione di disequilibrio** l'energia che si disperde nello spazio non basta a smaltire tutta l'energia solare in arrivo, **la Terra si scalda**.

Come tutti i corpi scaldandosi emette più calore, e continuerà a scaldarsi fino a quando il calore disperso nello spazio bilancerà l'energia proveniente dal Sole.

**UN NUOVO EQUILIBRIO, MA CON TEMPERATURE PIÙ ALTE.**

## COSA INTENDIAMO QUANDO PARLIAMO DI CAMBIAMENTO CLIMATICO?

Il clima è un **sistema complesso**, molto **variabile**, **caotico**,  
con numerosi **feedback positivi**.

### SISTEMA COMPLESSO

*“Mi piace particolarmente questa definizione: un sistema complesso può comportarsi a lungo nello stesso modo, rimanendo in quello che potremmo chiamare uno stato di equilibrio, per poi passare a uno dei tantissimi diversi comportamenti che è capace di avere.”*

Giorgio Parisi, Premio Nobel per la Fisica,  
in “Le simmetrie nascoste”, 2026.

**DEFINIZIONE CHE SI ADATTA PERFETTAMENTE AL  
SISTEMA CLIMA**

La **variabilità del clima** tra un anno e l'altro fa sì che **i cambiamenti del clima si vedono su periodi di decenni, secoli e millenni.**

## METEO vs. CLIMA

Il meteo descrive le condizioni atmosferiche a breve termine, ore o giorni.

Il clima descrive le condizioni dell'atmosfera, e anche degli oceani, dei suoli, della criosfera e della biosfera sul lungo periodo.

**Caotico** significa che piccole perturbazioni possono portare a conseguenze grandi (**non linearità**), amplificate dai cosiddetti **feedback positivi**.

**FEEDBACK POSITIVO:** nel contesto del riscaldamento globale, meccanismo per il quale un incremento di temperatura comporta fenomeni che a loro volta causano un ulteriore riscaldamento.

## **FEEDBACK POSITIVO: ESEMPI SIGNIFICATIVI**

**Un aumento della temperatura causa un maggior rilascio di CO<sub>2</sub> dai suoli, perché l'attività metabolica di microrganismi, radici e fauna sotterranea, che libera CO<sub>2</sub>, aumenta con la temperatura; più CO<sub>2</sub> interagisce maggiormente con le radiazioni infrarosse emesse dalla Terra, aumentando ulteriormente la temperatura:**

***feedback positivo.***

**Un aumento della temperatura riduce la solubilità della CO<sub>2</sub> nell'acqua, riducendo la capacità degli oceani di assorbirla e, via via che la temperatura dell'acqua aumenta, invertendo l'assorbimento in emissione in atmosfera.**

**Più CO<sub>2</sub> in atmosfera aumenta ulteriormente la temperatura:**

***feedback positivo.***

L'aumento di temperatura incrementa l'evaporazione dell'acqua: c'è **più vapore acqueo** in atmosfera (+1°C comporta +7% di umidità).

Il vapore acqueo è un gas serra:  
***feedback positivo.***

La **fusione del ghiaccio** marino, delle calotte polari (ghiaccio continentale) e dei ghiacciai a causa del riscaldamento modifica l'**albedo**, la capacità della Terra di riflettere la radiazione solare.

Il mare e il suolo sono più scuri del ghiaccio, il pianeta assorbe più radiazione solare:

***feedback positivo.***

Il **permafrost** (terreno perennemente ghiacciato) contiene enormi quantità di materia organica, oltre che di metano (altro gas serra) intrappolato a basse temperature ed alte pressioni in molecole di acqua: gli **idrati di metano**.

La fusione del **permafrost** a causa dell'aumento delle temperature provoca la decomposizione degli idrati, e permette ai microrganismi di agire sulla materia organica. L'esito è un rilascio di metano e CO<sub>2</sub> nell'atmosfera:  
**feedback positivo.**

Immense quantità di **idrati di metano si trovano nei fondali oceanici**, a profondità superiori a 500 metri, pronti a decomporsi se la temperatura aumenta, con il metano che in parte viene emesso in atmosfera:

**feedback positivo.**

**Durante la degradazione delle rocce è possibile che la CO<sub>2</sub> venga sia rilasciata che assorbita.**

**La quantità di CO<sub>2</sub> rilasciata dalle rocce soggette ad alterazione aumenta con la temperatura:**

***feedback positivo.***

## **PARTICOLARMENTE COMPLESSO È IL RUOLO DELLE NUBI**

**Le nubi da una parte riflettono radiazione solare entrante, dall'altra trattengono radiazione infrarossa emessa dalla Terra.**

**L'analisi degli ultimi 24 anni di osservazioni satellitari ha accertato che il riscaldamento globale riduce la copertura nuvolosa, l'effetto risultante è una maggiore insolazione:**

**un *forte feedback positivo*, che spiega la maggior parte della riduzione dell'albedo terrestre degli ultimi 24 anni.**

## **UN FEEDBACK CONTROINTUITIVO:**

# **LA CO<sub>2</sub> DIVIENE UN GAS SERRA PIÙ POTENTE VIA VIA CHE LA TERRA SI SCALDA PER L' AUMENTO DELLA CO<sub>2</sub>**

(He et al., 2023)

La CO<sub>2</sub> – come tutti gli altri gas serra – assorbe ed emette calore sotto forma di radiazioni infrarosse. Con l'aumento della CO<sub>2</sub> aumenta la temperatura, e quindi l'energia media della stessa CO<sub>2</sub>.

Con l'aumento della temperatura l'intervallo delle frequenze di assorbimento/emissione delle radiazioni infrarosse si allarga, la CO<sub>2</sub> assorbe/emette più radiazioni infrarosse.

Ciò provoca un ulteriore riscaldamento nella bassa atmosfera (troposfera) .

Allo stesso tempo aumenta l'emissione di calore verso lo spazio nell'alta atmosfera (stratosfera), che si raffredda perché perde più calore.

La **maggiore differenza di temperatura tra troposfera e stratosfera** che si misura è legata a un aumento della capacità forzante della stessa CO<sub>2</sub> nei confronti del riscaldamento climatico con l'aumentare della sua concentrazione.

***“The more anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions raise the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, the more serious the consequences will be.”*** — H. Jesse Smith, editor di Science, nel sommario all'articolo di He et al. (2023).

**NEL PASSATO I MUTAMENTI DEL CLIMA SONO  
AVVENUTI SU SCALE TEMPORALI DI  
MIGLIAIA E DECINE DI MIGLIAIA DI ANNI(°)**

**ESEMPIO: transizione da una fase glaciale  
a una interglaciale**

**Una lieve variazione nell'orbita della Terra o nell'inclinazione dell'asse di rotazione – per perturbazioni gravitazionali dagli altri pianeti – può portare ad una maggiore insolazione dell'emisfero Nord, seguita da un aumento di temperatura.**

**Feedback positivi come quelli appena descritti possono provocare il passaggio da una **fase glaciale** a una **interglaciale**.**

**Fenomeni inversi possono portare da una fase interglaciale a una glaciale.**

---

(°) Tranne eventi come l'impatto di un asteroide.

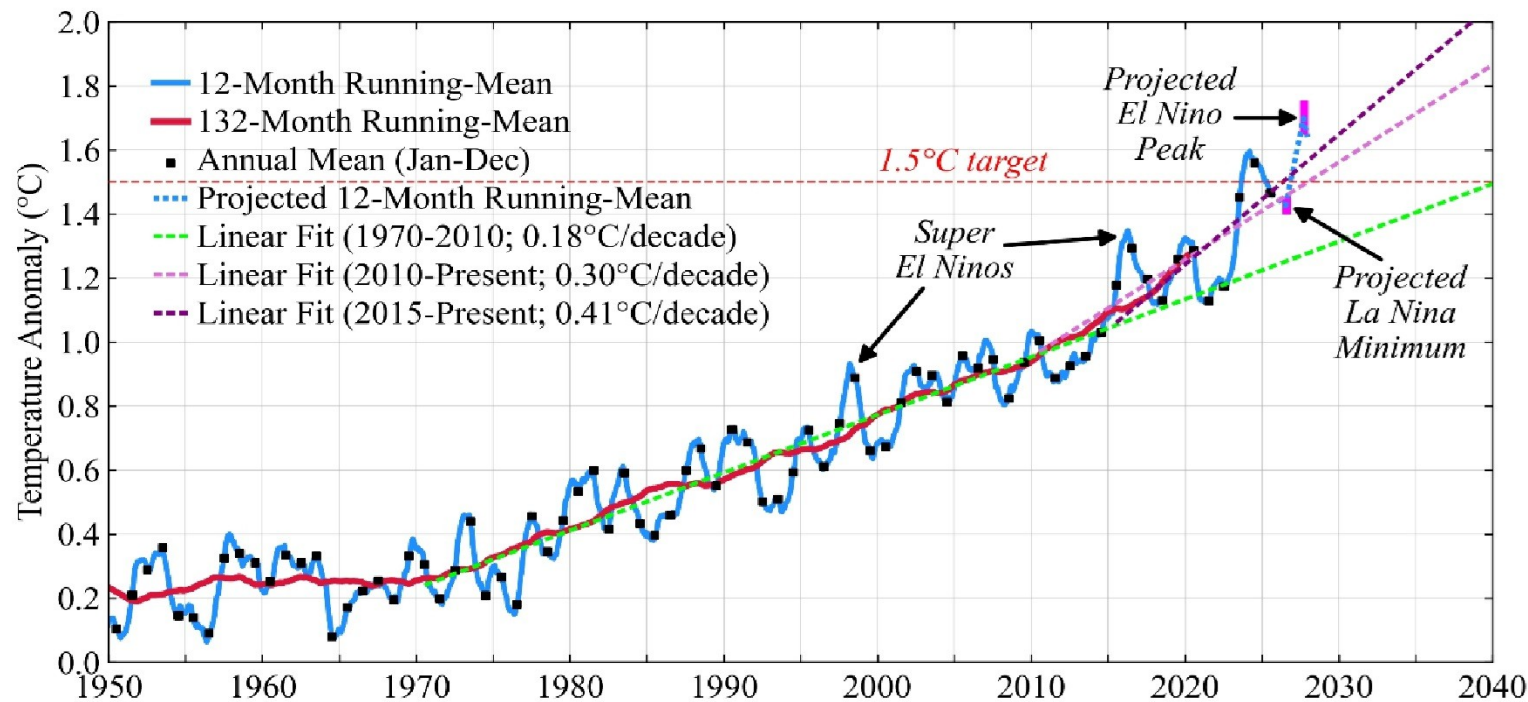
**Qual è la differenza con l'attuale riscaldamento del nostro pianeta?**

**Quello che nel passato avveniva in migliaia di anni, oggi sta avvenendo in decenni.**

**Questa rapidità si spiega solo con l'enorme quantità di gas serra, principalmente CO<sub>2</sub>, emessi dall'umanità in tempi brevissimi rispetto alle dinamiche naturali della Terra.**

**Un vero e proprio *shock* climatico, mai prima esperito dal nostro pianeta.**

# IL GLOBAL WARMING STA ACCELERANDO



Global surface temperature (relative to 1880-1920 base period).

Fonte: Hansen, 2026

**Nel periodo 1970-2010 l'incremento è di 0,18 °C/decade.**

**Nel periodo 2010-2025 l'incremento è di 0,30 °C/decade.**

**Il 2025 è il terzo anno più caldo mai registrato, poco inferiore al 2023.**

**Il 2024 è il più caldo con + 1,55°C rispetto all'epoca preindustriale.**

**È da oltre 100.000 anni che non c'erano temperature così alte.**

**MA UN INCREMENTO MEDIO DI 0,30°C IN DIECI ANNI,  
OVVERO 0,03°C IN UN ANNO, NON È INSIGNIFICANTE?**

**Purtroppo non è così, questi centesimi di grado contano.**  
L'energia mediamente accumulata in un anno dal nostro pianeta, che provoca questo (in apparenza insignificante) incremento della sua temperatura media globale, è **oltre 30 volte il consumo energetico mondiale!**

**Più del 90% di questa gigantesca quantità di energia si accumula nei mari, ed è combustibile per l'innesco di cicloni come Harry.**

**Dagli anni '80 del secolo scorso le temperature superficiali dei mari sono aumentate di 0,6°C su scala globale, i mari europei +1,0°C, il Mediterraneo +1,3°C.**

**Quantità spaventose di energia disponibile per perturbazioni sempre più estreme.**

# IL RUOLO DEGLI AEROSOL

Gli aerosol – particelle solide o liquide sospese in atmosfera, di origine sia naturale che antropica – hanno un **effetto sia diretto che indiretto sulla temperatura del pianeta.**

## **EFFETTO DIRETTO (RIFLESSIONE E ASSORBIMENTO)**

La maggior parte degli aerosol, come **i solfati** che **si originano dalla emissione di ossidi di zolfo**, riflette la radiazione solare nello spazio, riducendo l'energia che raggiunge la superficie terrestre (effetto di raffreddamento). Alcuni tipi, come il *black carbon* (fuliggine), assorbono la radiazione solare (effetto di riscaldamento).

## **EFFETTO INDIRETTO (INFLUENZA SULLA NUVOLOSITÀ)**

Agiscono come nuclei di condensazione, formando nubi chiare che aumentano la riflessione della radiazione solare (raffreddamento).

Gli aerosol agiscono complessivamente come **fattore di raffreddamento** che contrasta il riscaldamento causato dai gas serra.

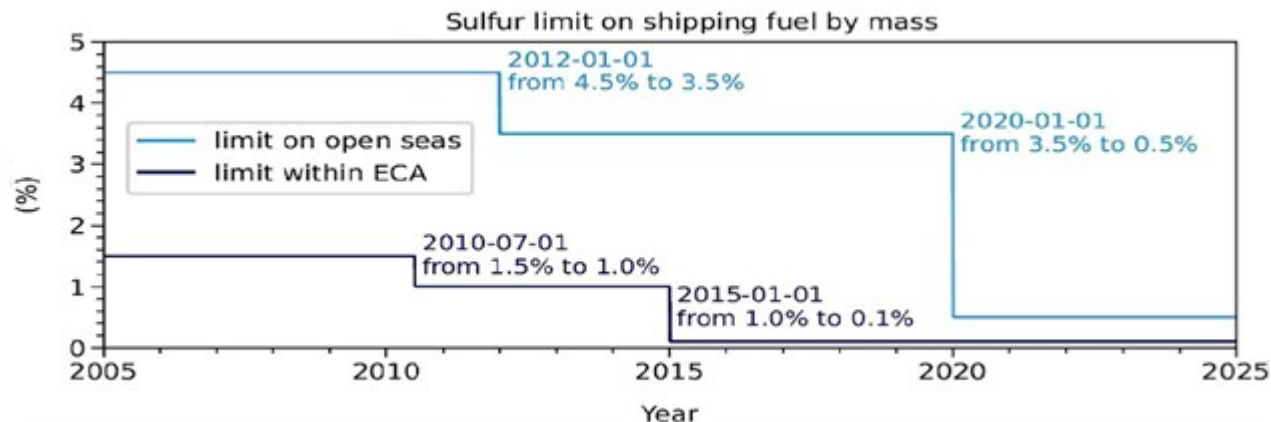
# LA NON LINEARITÀ DEL RUOLO DEGLI AEROSOL SULLE NUBI

L'effetto forzante negativo degli aerosol è **non lineare**.

L'aerosol emesso in aria pulita ha un effetto forzante maggiore rispetto a quello emesso in aria inquinata, agendo come nuclei di condensazione di nubi chiare, che riflettono la radiazione solare.

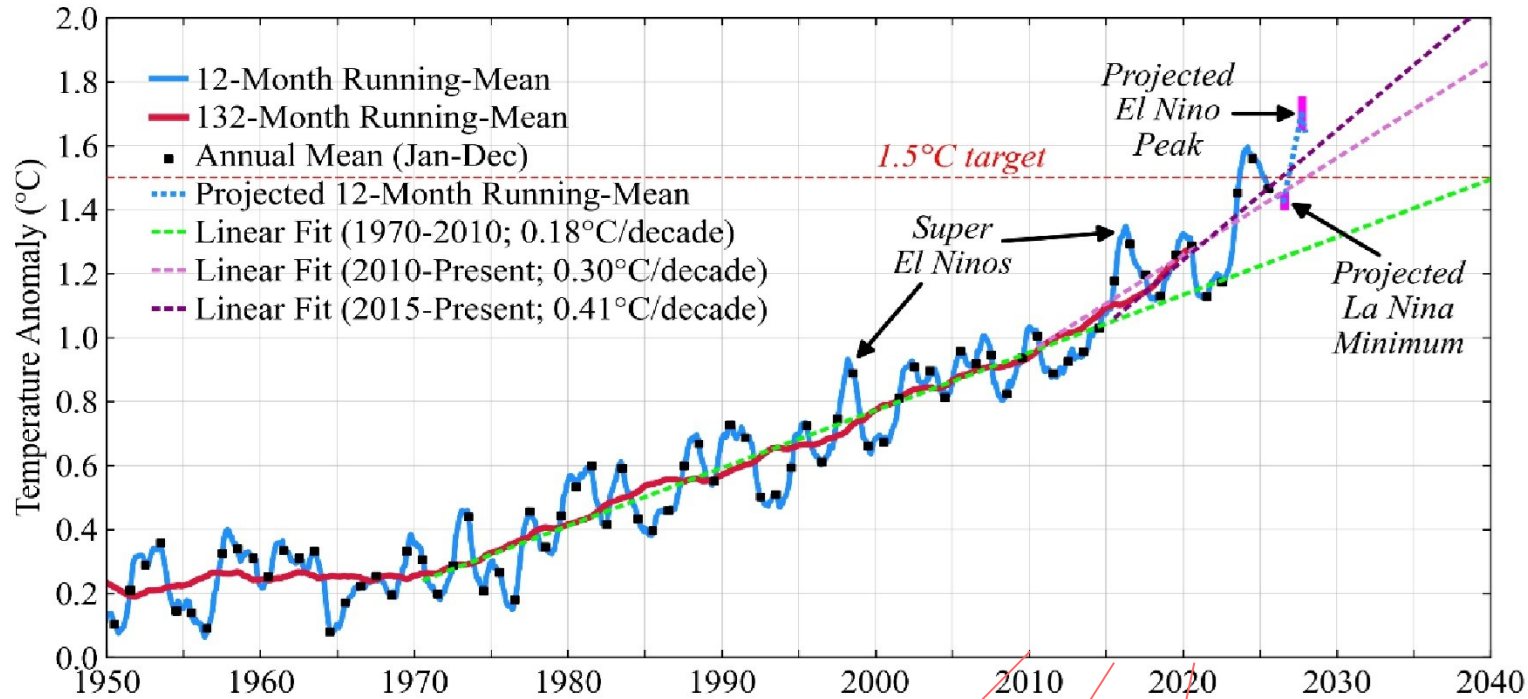
**L'effetto forzante negativo degli aerosol risulta essere un ordine di grandezza più alto di quello proposto dall'IPCC.**

**LA RIDUZIONE DEGLI AEROSOL (SOPRATTUTTO IN MARE APERTO) DAL TRAFFICO NAVALE HA AVUTO COME EFFETTO UN'ACCELERAZIONE DEL RISCALDAMENTO GLOBALE**

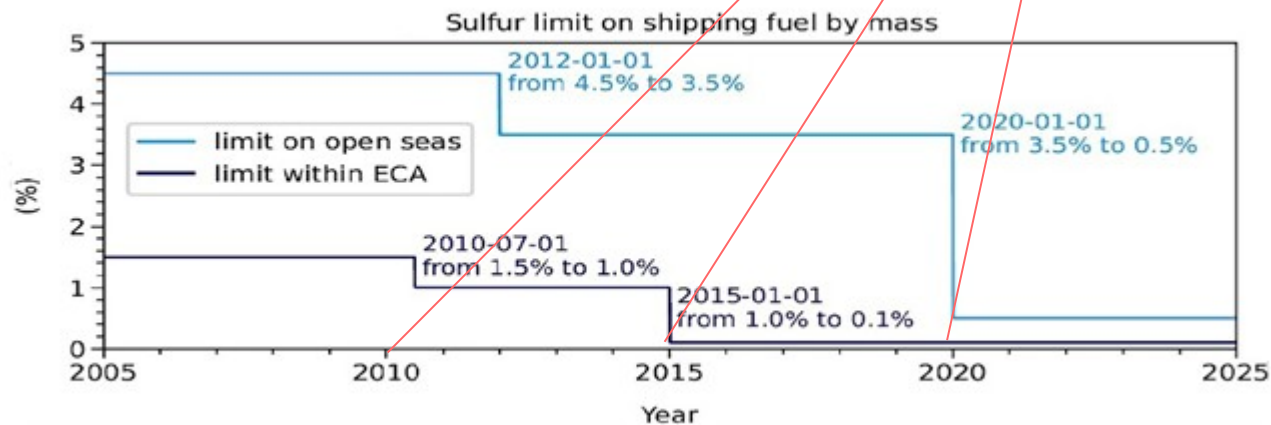


**ECA:** Emission Control Area (near coasts in Northern Europe, North America, the U.S. Caribbean region and Hawaii) – limiti introdotti dalla *International Maritime Organization (IMO)*

# ACCELERAZIONE DEL RISCALDAMENTO GLOBALE E RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI ZOLFO DALLE NAVI



Global surface temperature (relative to 1880-1920 base period).



# TEMPI DI PERMANENZA IN ATMOSFERA

L'aerosol ha una vita breve in atmosfera, da pochi giorni a poche settimane, con l'eccezione di quello che si origina dalle grandi eruzioni vulcaniche (che emettono quantità importanti di ossidi di zolfo che si trasformano in solfati), con l'aerosol che raggiunge l'alta atmosfera (stratosfera) e può influenzare il clima globale, con un calo delle temperature che può durare mesi, fino a qualche anno.

Le singole molecole di CO<sub>2</sub> che vengono scambiate tra atmosfera, oceano, suolo e biosfera (ciclo del carbonio) rimangono in aria 4-5 anni, ma **l'eccesso di CO<sub>2</sub> causato dalle attività umane persiste in atmosfera per secoli e millenni.**

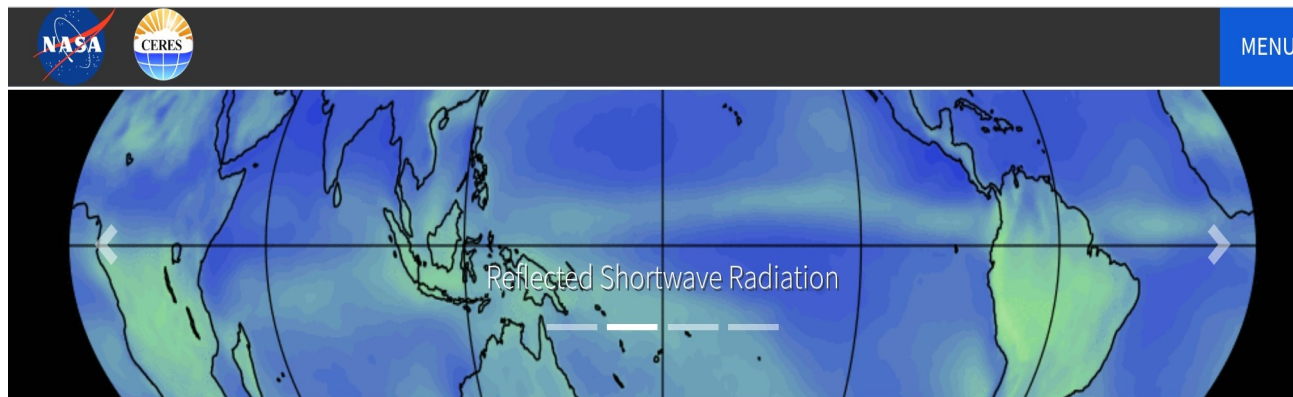
Il metano, altro gas serra, ha una **capacità di intrappolare calore 80-85 volte superiore alla CO<sub>2</sub>.**

Rispetto alla CO<sub>2</sub> ha una **permanenza in atmosfera** relativamente breve, stimata in **circa 10-15 anni.**

# LE OSSERVAZIONI SATELLITARI CONSENTONO LA MISURA DI GRANDEZZE CHE SAREBBE STATO IMPENSABILE MISURARE SOLO QUACHE DECENNIO FA

Il sistema CERES (*Clouds and Earth's Radiant Energy System*) della NASA fornisce tra le più spettacolari osservazioni che è possibile fare con le moderne tecniche di rilevazione.

**L'AMMINISTRAZIONE TRUMP HA TAGLIATO I FINANZIAMENTI ED OSTACOLA ATTIVITÀ DI RICERCA E MONITORAGGIO SUL CLIMA, CON DANNI INCALCOLABILI SULLO SVILUPPO DELLE CONOSCENZE IN UN MOMENTO CRUCIALE DELLA EVOLUZIONE CLIMATICA**

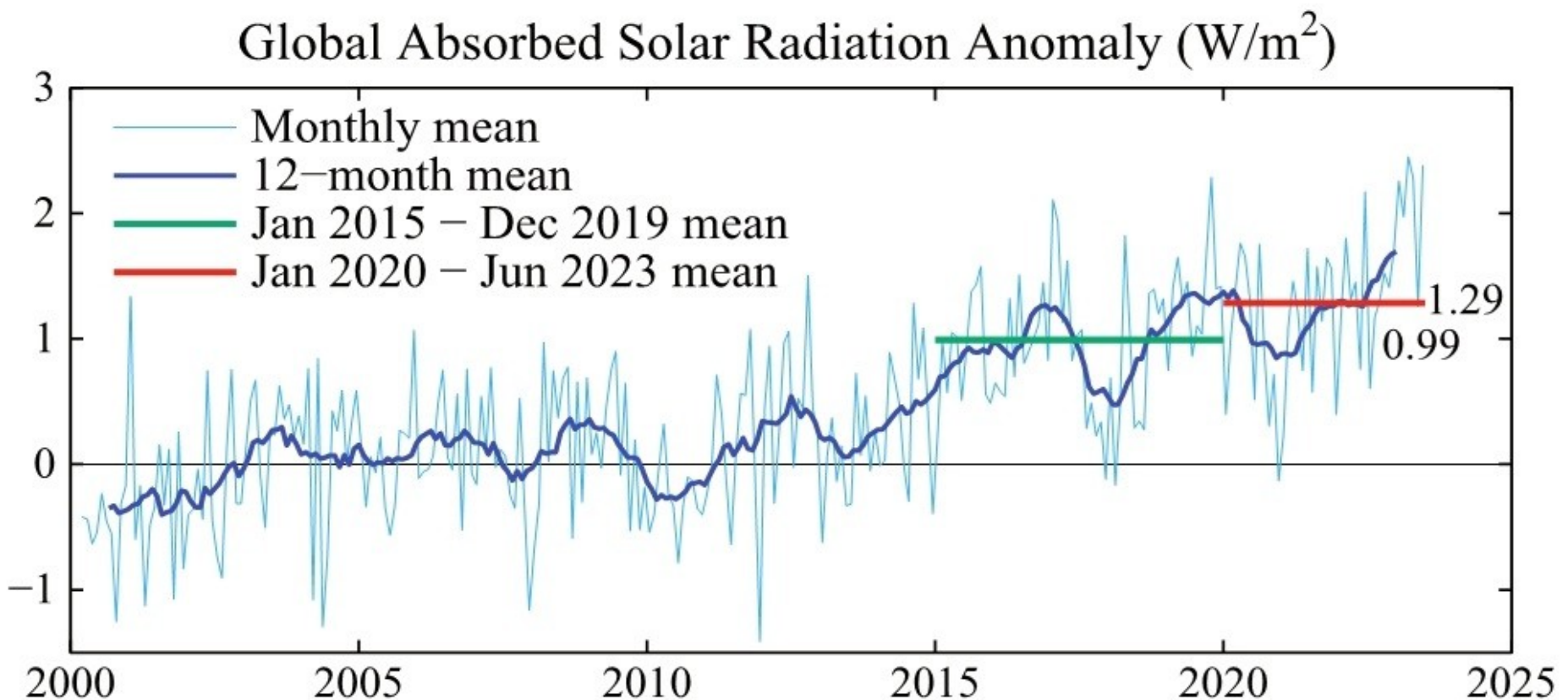


Due to the lapse in federal government funding, NASA is not updating this website.  
We sincerely regret this inconvenience.

# UN ESEMPIO DELLE ENORMI POSSIBILITÀ OFFERTE DAL SISTEMA DI MISURA CERES DELLA NASA:

## IL BILANCIO ENERGETICO DEL PIANETA TERRA

LE MISURE MOSTRANO COME LA RADIAZIONE SOLARE  
ASSORBITA STIA AUMENTANDO



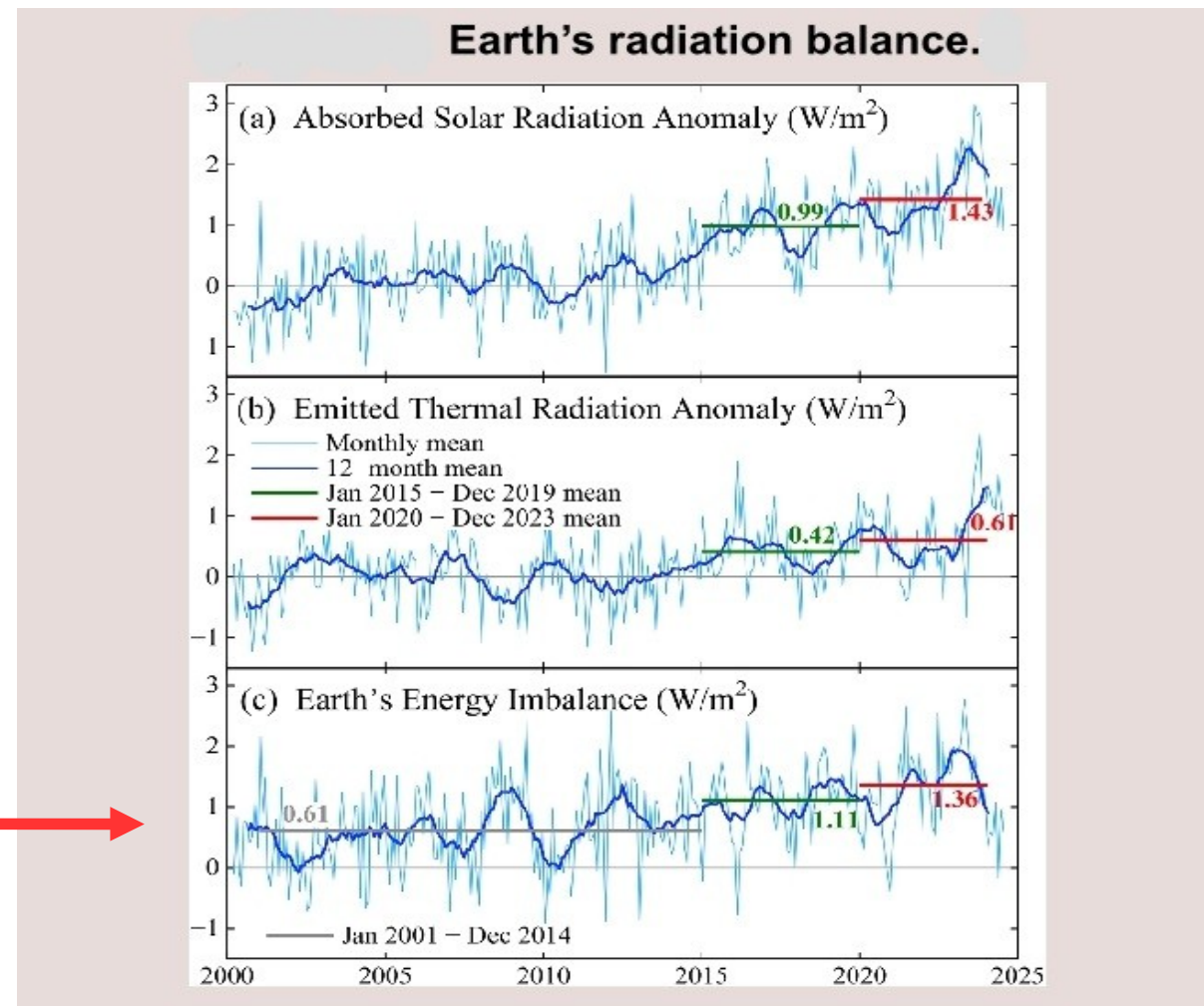
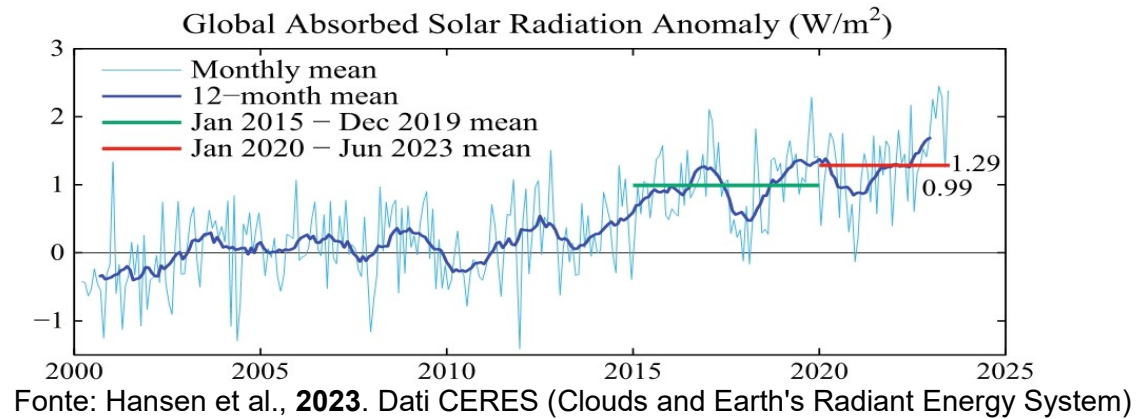
**LA MISURA DELL'ENERGIA  
ASSORBITA E DI QUELLA  
EMESSA CONSENTE DI  
CALCOLARE PER  
DIFFERENZA LO  
SQUILIBRIO ENERGETICO  
IN CUI SI TROVA IL  
NOSTRO PIANETA.**

Lo squilibrio energetico è difficile da misurare, in quanto è la differenza tra due quantità grandi rispetto all'entità dello squilibrio.

La terra emette grosso modo  $240 \text{ W/m}^2$  (media sull'intera superficie del pianeta).

**SQUILIBRIO ENERGETICO** →

**ATTENZIONE: 1.36 (c) non è la differenza tra 1.43 (a) e 0.61 (b) !**





## 2. LA CRISI CLIMATICA È ANCORA NEL VASO DI PANDORA

L'umanità per 11.700 anni ha vissuto in un'epoca interglaciale denominata **Olocene** (che significa "del tutto recente"), una *comfort zone* caratterizzata da climi ideali per la prosperità dell'umanità.

**In questo periodo la Terra è stata in equilibrio:** energia del sole bilanciata dal calore disperso verso lo spazio.

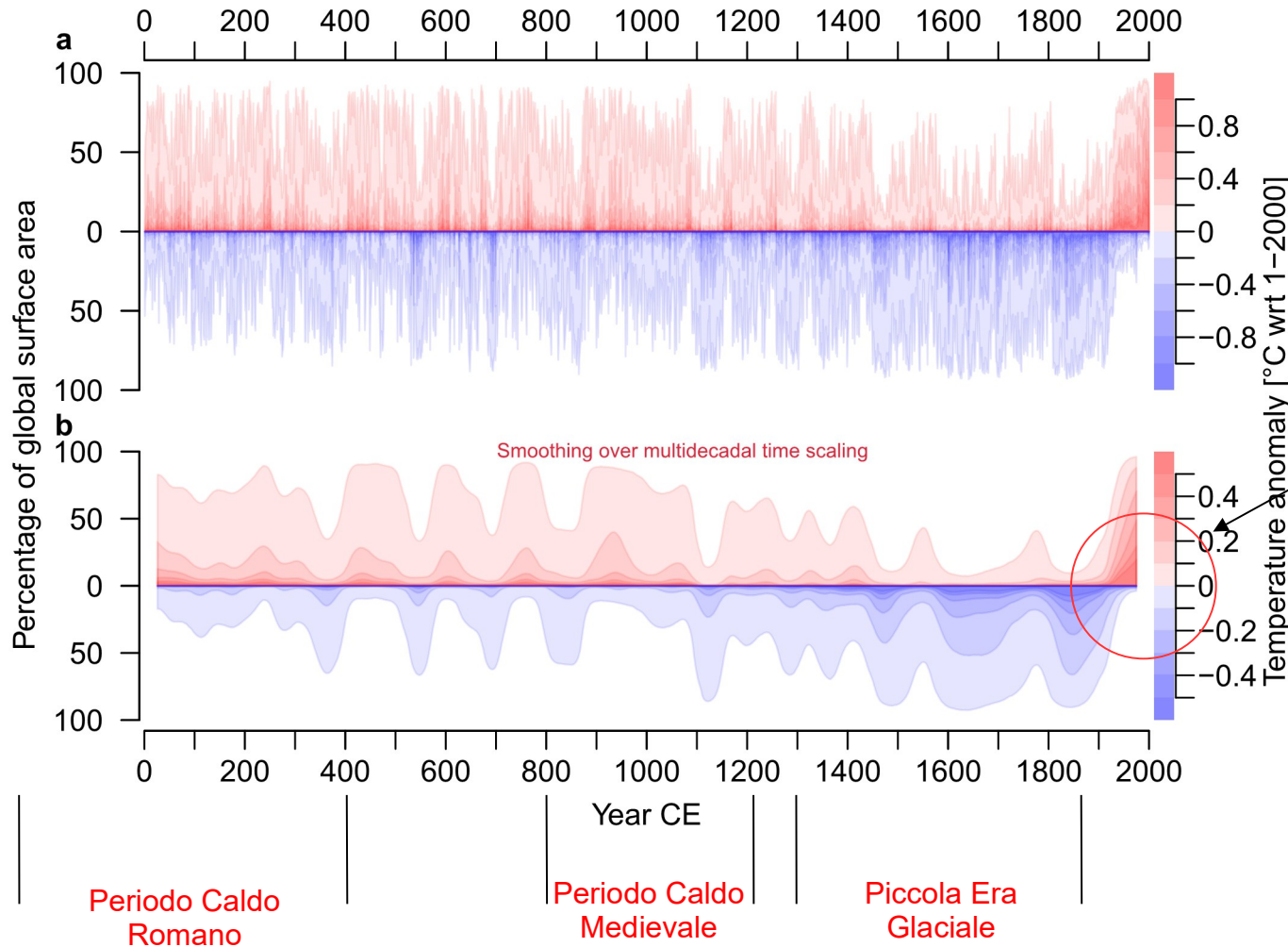
**Temperatura media globale, sul lungo periodo, stabile.**

Il clima ha avuto importanti variazioni nell'Olocene, come ad esempio il **Periodo Caldo Romano tra il 250 a.C. e il 400 d.C.**, o la **Piccola Era Glaciale tra il 1300 e il 1850.**

**Questi fenomeni non sono stati a scala globale,** contrariamente a quanto viene affermato da chi sostiene che l'attuale riscaldamento globale sia uno dei tanti fenomeni naturali verificatisi nell'Olocene prima dell'era industriale.

# DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA GLOBALE DALL'ANNO 1 ALL'ANNO 2000

Lo *smoothing* multidecennale consente di vedere la prevalenza di aree calde nel Periodo Caldo Romano e nel Periodo Caldo Medievale, e di aree fredde nella Piccola Era Glaciale.



Unico periodo con aumento coerente di temperatura a livello globale.

La conclusione dell'articolo di Neukom et al., pubblicato su Nature nel 2019, da cui è tratta la figura della slide precedente, è:

**“Forse il risultato più eclatante mostrato qui è l'*eccezionale coerenza spazio-temporale durante il riscaldamento del XX secolo*. Questo risultato fornisce ulteriore prova della *natura senza precedenti del riscaldamento globale antropogenico nel contesto degli ultimi 2000 anni*.”**



**Prima dell'era industriale le variazioni climatiche nell'Olocene erano dovuti a fenomeni naturali come l'ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*), l'*Atlantic Multidecadal Oscillation* (AMO), modulazioni dell'attività solare, eruzioni vulcaniche (se si esclude un piccolo contributo umano stimato in circa 20 ppm di CO<sub>2</sub>).**

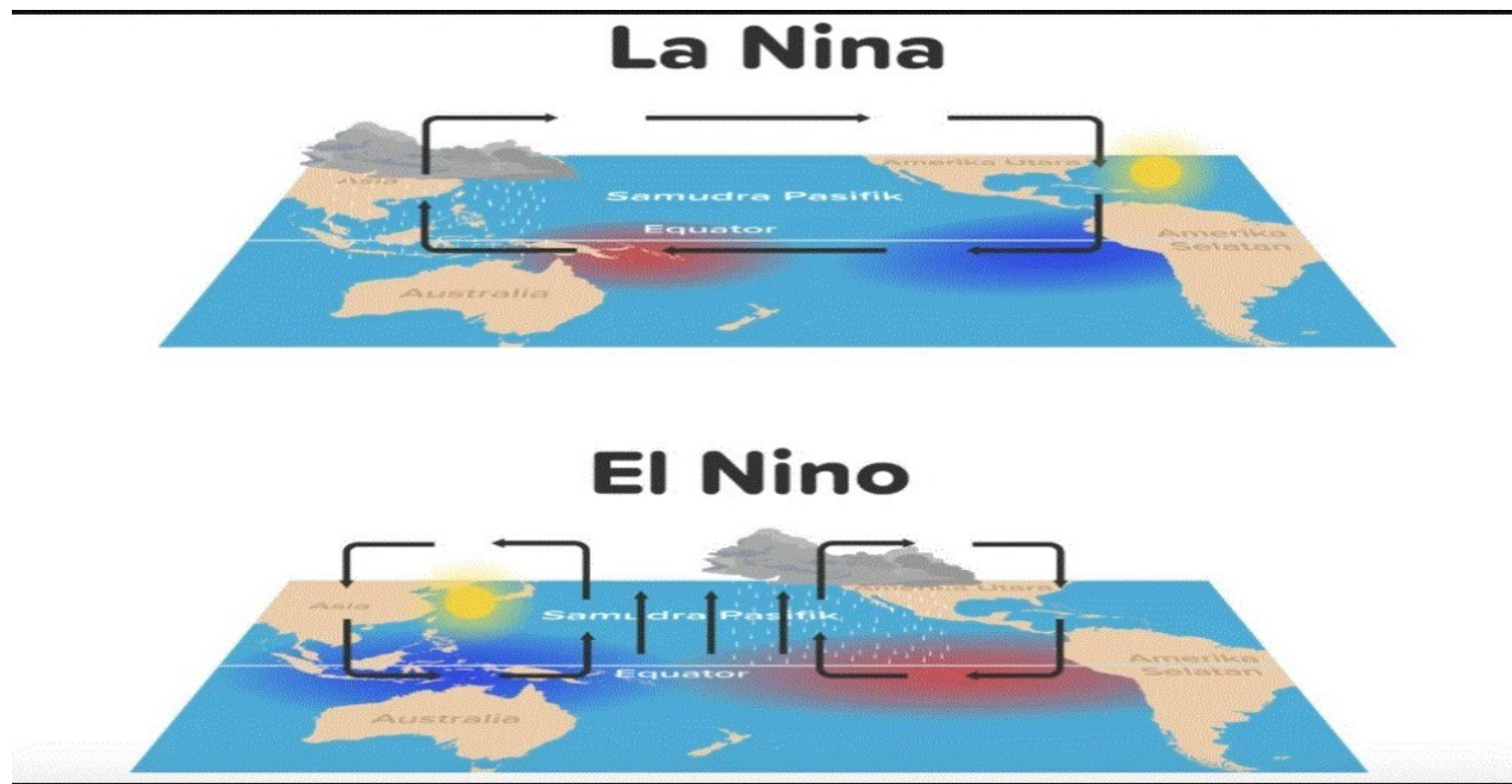
# ENSO (*EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION*)

Ciclo climatico naturale che alterna fasi calde (*El Niño*) e fredde (*La Niña*) nel Pacifico equatoriale, **influenzando il meteo mondiale**.

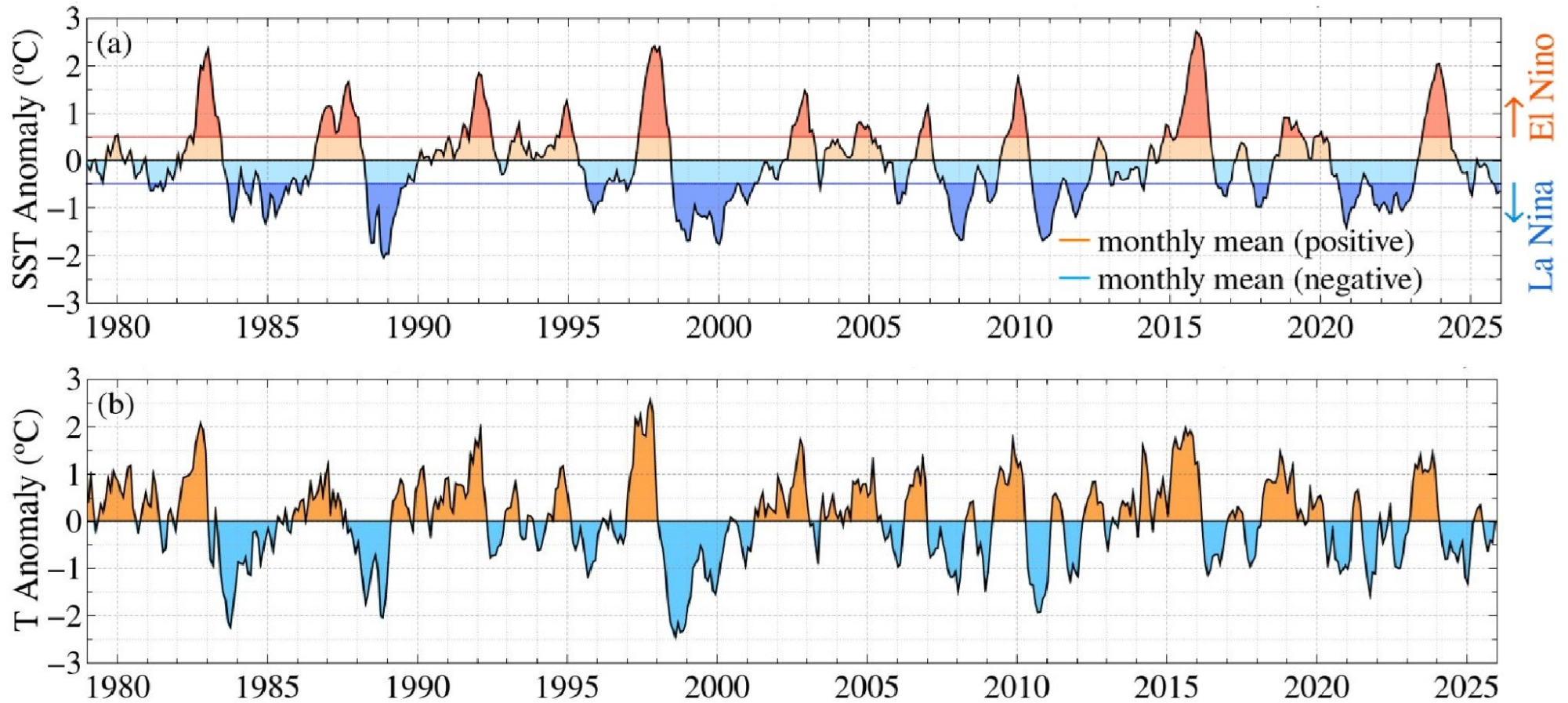
Non è un evento fisso, ma un'oscillazione tra El Niño, La Niña e fasi neutre, con una periodicità di 2-7 anni.

Normalmente i venti alisei spingono acqua calda verso l'Asia.

Durante El Niño, questi venti si indeboliscono o invertono, facendo sì che l'acqua calda si accumuli verso le coste del Sud America, impedendo la risalita di acqua fredda profonda (*upwelling*).



**Effetti dell'ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*): siccità in Asia/Australia e forti piogge in Sud America, inverni più miti negli USA, effetti sui monsoni indiani e variazione della temperatura media globale.**

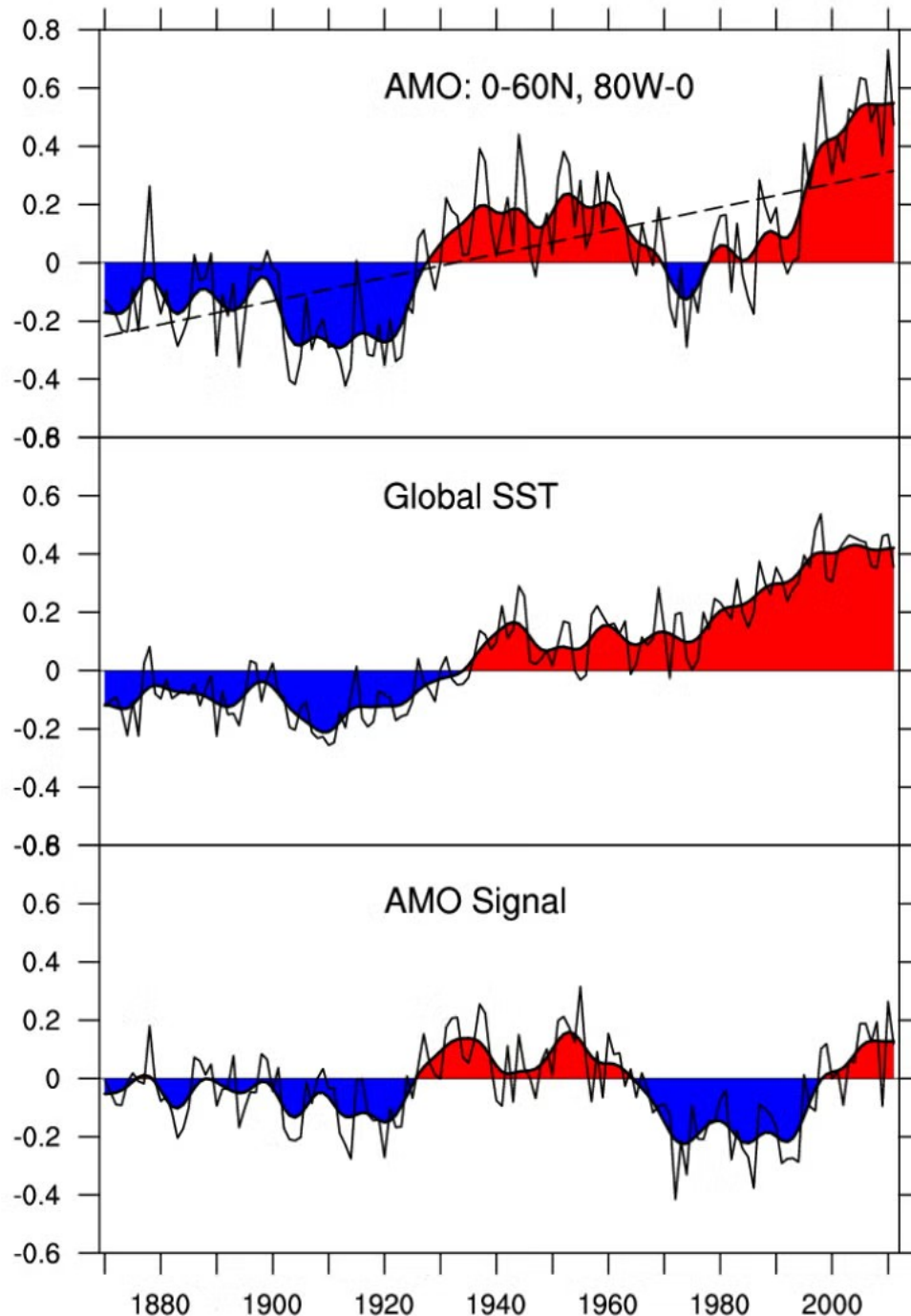


**(a) Nino3.4 SST, and (b) equatorial upper ocean (300 m) heat anomaly (°C) 180-100W.**

Fonte: Hansen, 2026.

**L'indice Nino3.4 SST (*Sea Surface Temperature*) rappresenta la temperatura superficiale del mare nella regione del Pacifico equatoriale centrale definita come Niño 3.4, situata tra 5°N-5°S e 170°W-120°W**

## Atlantic Multi-Decadal Oscillation: 1870-2011



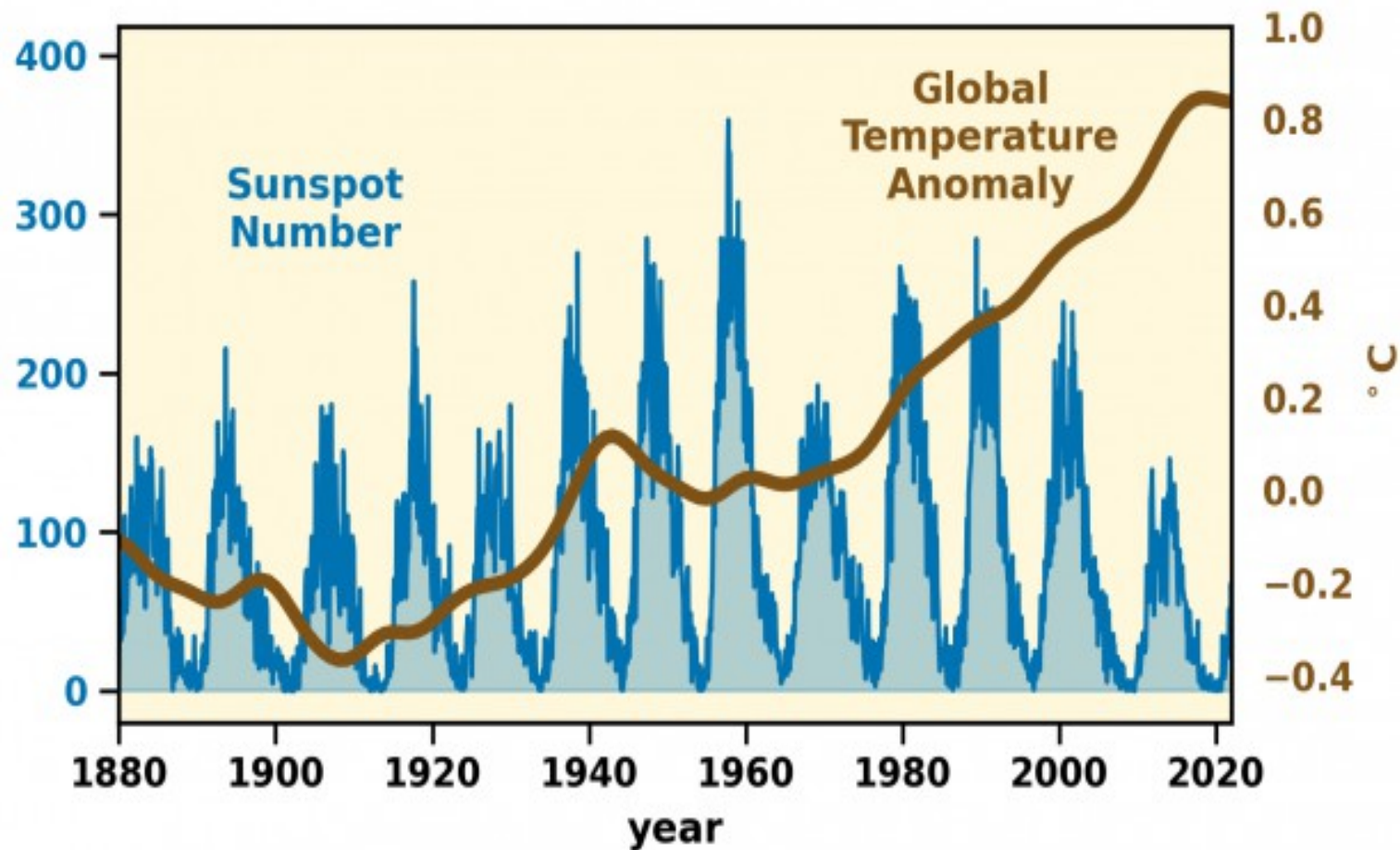
## **ATLANTIC MULTIDECADAL OSCILLATION (AMO)**

**Ciclo naturale a lungo termine che descrive le variazioni della temperatura superficiale del mare (SST) nel Nord Atlantico, alternando fasi calde e fredde ogni 60-80 anni. Influenza il clima europeo e la frequenza degli uragani.**

**AMO Signal** si ottiene dalla **AMO** (misura della **SST** mediata sull'area 0°-60°N latitudine, 80°W-0° longitudine) "detrrendizzata" della **Global SST** (temperatura media superficiale del mare a livello globale).

## VARIAZIONE DELL'ATTIVITÀ SOLARE

Consiste nelle fluttuazioni periodiche del campo magnetico del Sole, che si manifestano visibilmente attraverso il numero di macchie solari, brillamenti ed espulsioni di massa coronale (CME). Questo dinamismo segue un ritmo regolare noto come ciclo solare undecennale, che influisce sulla meteorologia e sulle tecnologie terrestri.



## ERUZIONI VULCANICHE

**I vulcani durante un'eruzione emettono nell'alta atmosfera ossidi di zolfo che si trasformano in aerosol, che riflette parte della radiazione solare in arrivo.**

**Nel lontano passato l'attività vulcanica, favorita dalla deriva dei continenti, ha rilasciato enormi quantità di CO<sub>2</sub> innescando processi di riscaldamento globale.**

**Attualmente le emissioni di CO<sub>2</sub> dei vulcani sono trascurabili rispetto a quelle antropiche.**

---

**Tutti questi fenomeni nell'Olocene hanno comportato importanti variazioni del clima.**

**Nulla a che vedere con la crisi climatica attuale, che ci ha portato**

**definitivamente fuori dall'Olocene.**

## 14 MILIONI DI ANNI FA LE CONCENTRAZIONI DI CO<sub>2</sub> ERANO SIMILI A QUELLE ATTUALI

Le stime di temperatura condotte dai paleoclimatologi indicano che 14 milioni di anni fa la Terra era di circa **4,5°C più calda** che nell'Olocene (cioè in epoca preindustriale).

Attualmente siamo a **+1,5°C**, quindi anche se le concentrazioni di CO<sub>2</sub> non aumentassero, **+3°C sarebbero ancora “nel vaso di Pandora”**: molta parte della crisi climatica dovrebbe esplicitarsi.

**Noi siamo messi peggio, perché le concentrazioni in atmosfera di CO<sub>2</sub> continuano a crescere.**

**Molta parte della crisi climatica è ancora “nel vaso di Pandora”, sia che le concentrazioni di CO<sub>2</sub> aumentino o meno.**

**Quanto tempo impiegherà a uscire del tutto dal vaso?**

**MOLTO APPROSSIMATIVAMENTE:**

**Circa un terzo della risposta si palesa in tempi dell'ordine dei decenni (**breve termine**).**

**Un altro terzo in periodi dell'ordine dei secoli (**medio termine**).**

**Il rimanente terzo impiega millenni per esplicitarsi integralmente (**lungo termine**), in quanto coinvolge fenomeni lenti come la fusione dei ghiacci delle calotte polari.**

## CHE SIGNIFICA TUTTO CIÒ?

**Noi siamo i primi umani ad avere questa concentrazione, siamo comparsi “solo” due-trecentomila anni fa.**

**L'Artico 14 milioni di anni fa era privo di ghiacci. Nel Polo Sud i ghiacci erano molto più ridotti del presente.**

**Il livello dei mari era più alto di parecchi metri:**  
**si stima che la fusione dei ghiacci della Groenlandia porti a un innalzamento del livello del mare di 7 metri, cui si aggiungerebbe la quota proveniente dalla fusione di tutta o parte la calotta antartica.**

**NEL PASSATO QUESTE TRANSIZIONI SI SONO  
VERIFICATE SU SCALE TEMPORALI DI  
MIGLIAIA DI ANNI.**

**È IL CASO DI PREOCCUPARSI?**

**Sì**, perché l'attuale velocità di cambiamento è  
decine di volte più grande che nel passato.

**Il rischio è che si inneschino in tempi brevi –  
dell'ordine dei decenni – dei**

**punti di non ritorno.**



### **3. PUNTO DI NON RITORNO: RISCHIO NON A MISURA D'UOMO**

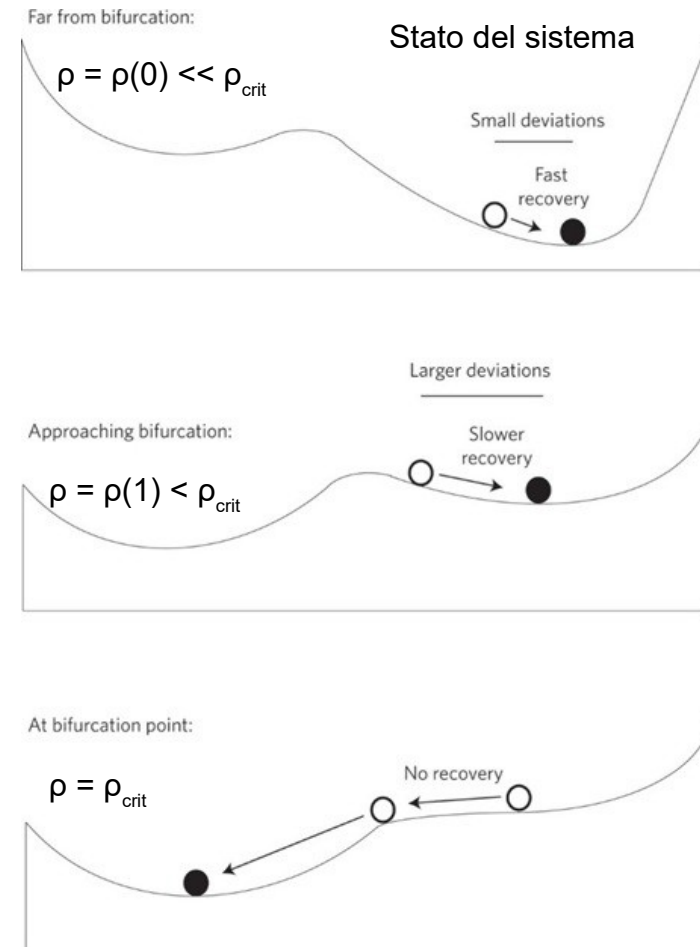
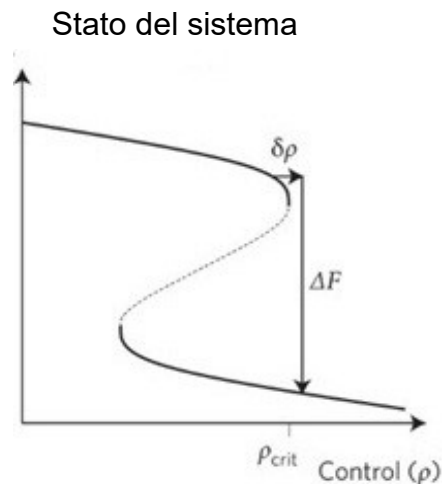
# PUNTI DI NON RITORNO (*TIPPING POINTS*)

Cos'è un *tipping point*?

È una **soglia critica** in prossimità della quale un piccolo cambiamento porta a un effetto profondo, rapido e spesso irreversibile: anche se le cause iniziali dovessero cessare, la trasformazione rimane e non è possibile tornare indietro.

In sistemi complessi, caotici e fortemente non lineari come il clima, vi sono dei parametri caratterizzati da *valori critici* detti anche *valori soglia*. Allorché i valori dei parametri si avvicinano ai valori critici il sistema presenta delle instabilità che, in prossimità o superato il valore soglia, possono comportare un drastico cambiamento dello stato del sistema.

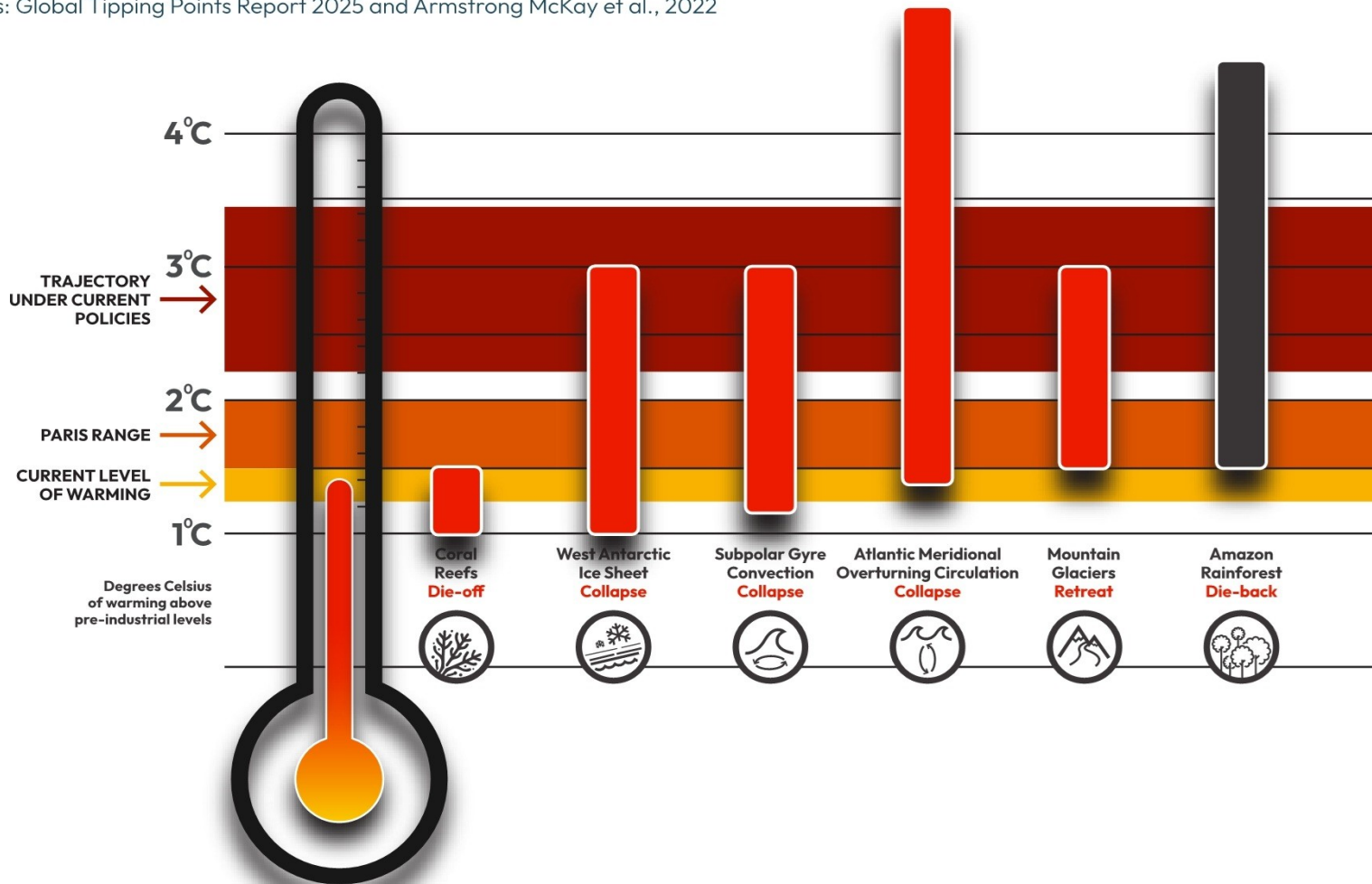
Quello che si cerca di fare è individuare degli indicatori (***early-warning signals*** – ***EWS***) che segnalano quando il sistema complesso è vicino a una fase di instabilità. Anche in questo caso si individuano dei valori critici di questi indicatori che rivelano l'approssimarsi dell'instabilità del sistema.



# I PUNTI DI NON RITORNO (*TIPPING POINTS*) CLIMATICI

## Risks of Earth system tipping points increase with global warming

Sources: Global Tipping Points Report 2025 and Armstrong McKay et al., 2022



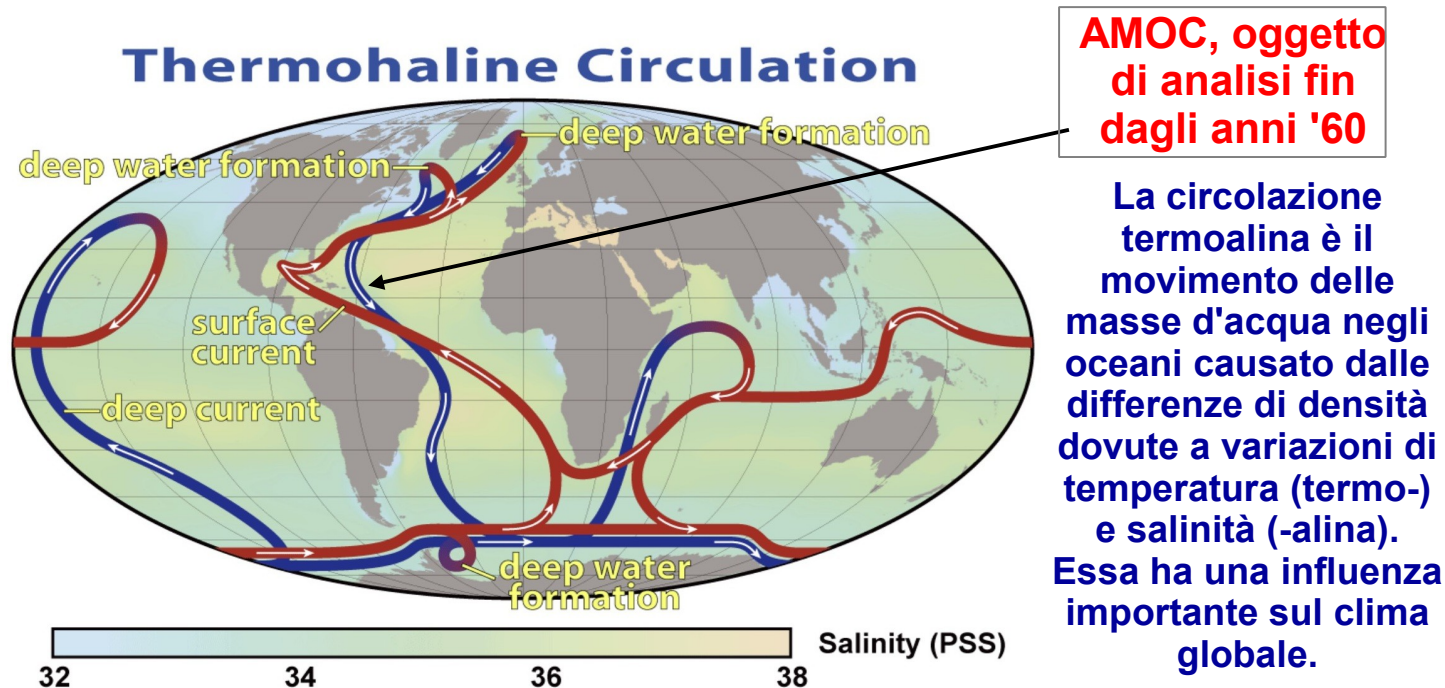
Fonte: Lenton et al., 2025

# IL COLLASSO DELL'AMOC

## *(Atlantic Meridional Overturning Circulation)*

L'AMOC è una corrente che spazza da nord a sud tutto l'Oceano Atlantico, caratterizzata da un flusso di acqua calda da Sud a Nord negli strati superiori, e da un flusso inverso di acqua fredda in profondità.

**L'AMOC trasporta immense quantità di calore** – 50 volte i consumi energetici di tutta l'umanità! – dall'emisfero Sud all'emisfero Nord. È questa corrente che rende temperato il clima dell'area euroatlantica.



# **UNO DEGLI EFFETTI PIÙ DRAMMATICI DEL RISCALDAMENTO GLOBALE È IL FORTE RALLENTAMENTO O ADDIRITTURA IL COLLASSO DELL'AMOC.**

**Contrariamente agli ultimi rapporti IPCC (2021, 2022), che indicano questi come eventi non molto probabili in tempi brevi, valutazioni più recenti lanciano l'allarme.**

**Uno stop dell'AMOC implica un drammatico abbassamento delle temperature nell'Europa Nord-Occidentale.**

**Il risultato sarà una estremizzazione del freddo nel Nord-Atlantico, inclusa l'Europa Nord-Occidentale, e del caldo altrove.**

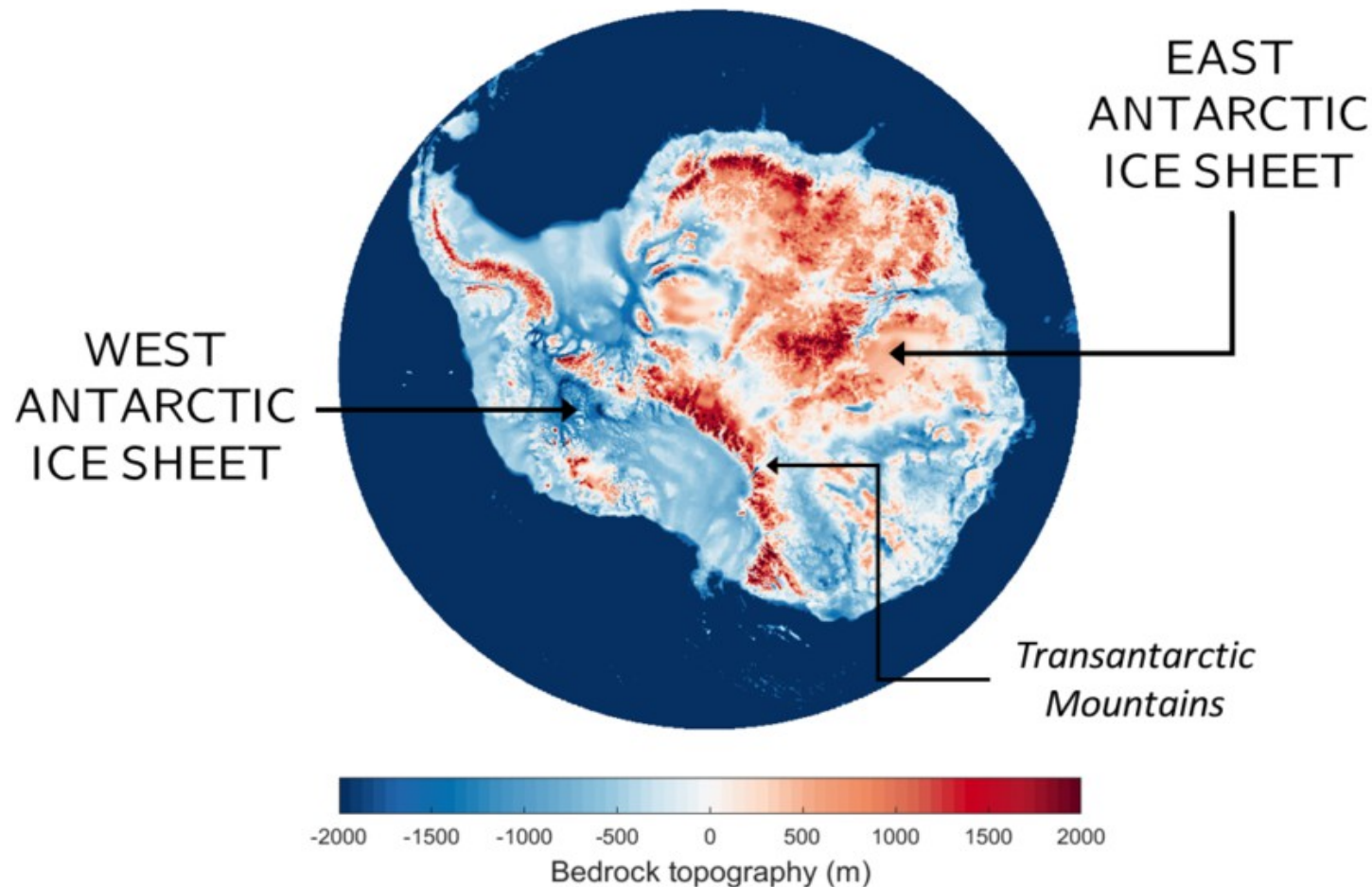
**Un'altra conseguenza è lo spostamento verso Sud delle zone di pioggia tropicali, con impatti sull'agricoltura oltre che sulla foresta amazzonica.**

**Allo stesso tempo ci sarebbe un forte aumento in frequenza e intensità degli eventi estremi.**

# IL COLLASSO DEL *WEST ANTARCTICA*

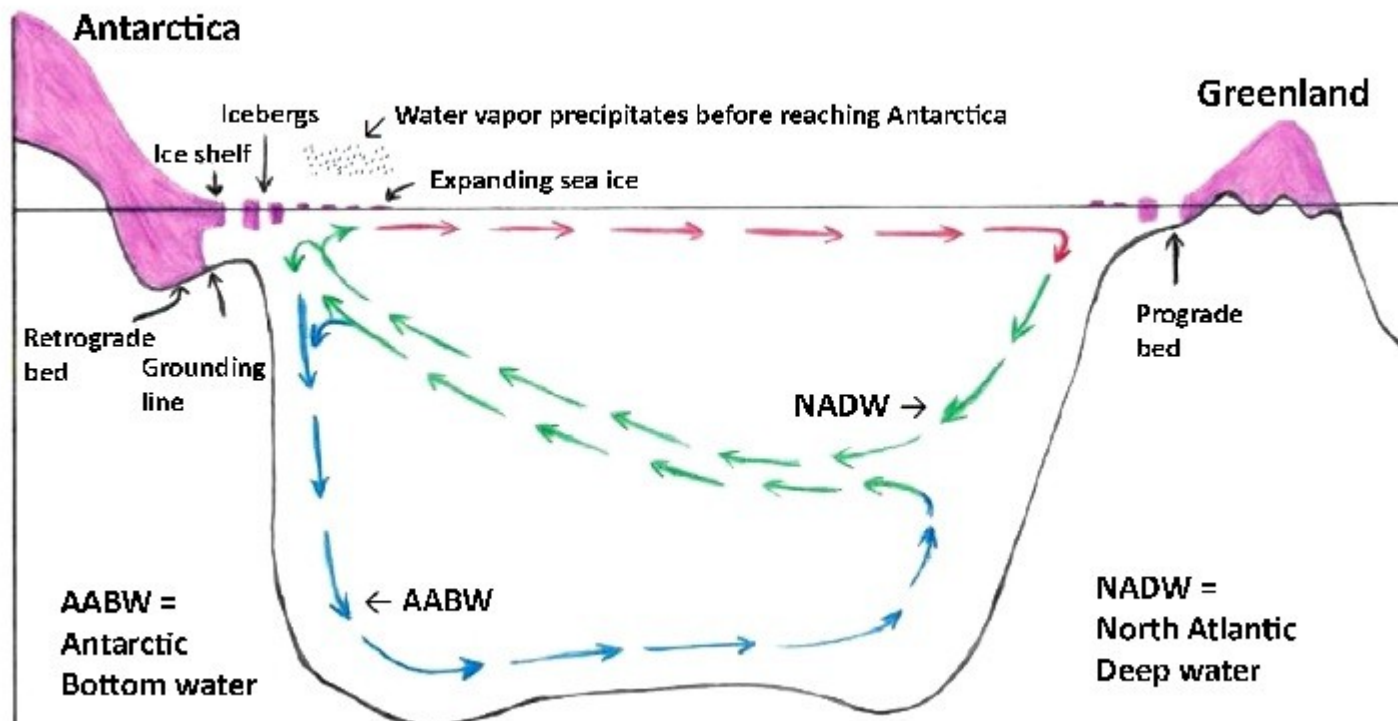
La calotta glaciale dell'Antartide occidentale (*West Antarctica*), per la peculiare conformazione orografica del sostrato su cui poggia, è particolarmente vulnerabile al riscaldamento delle acque marine.

Attualmente sta subendo una **fusione accelerata a causa del riscaldamento dell'Oceano Australe.**



# L'INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEL MARE

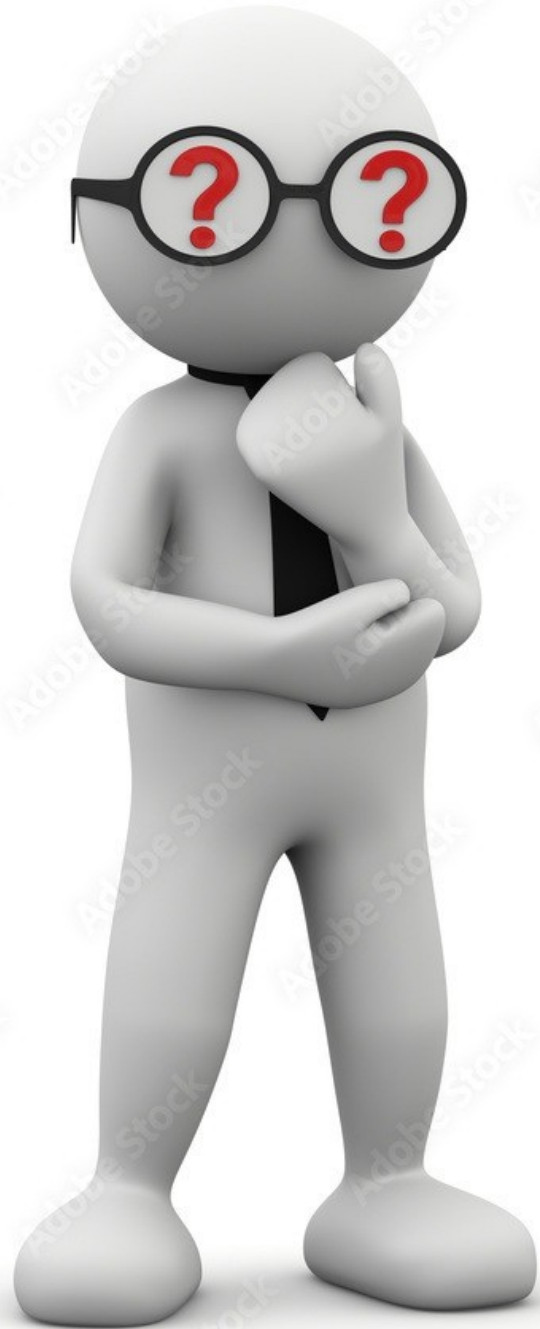
Il calore che rimarrebbe nell'emisfero Sud a causa del collasso dell'AMOC riscalderebbe ulteriormente l'Oceano Antartico, causando una **accelerazione della fusione della calotta, già instabile, del *West Antarctica***.  
Le proiezioni indicano un possibile **innalzamento del livello del mare fino a 5 metri** in caso di scioglimento totale



**L'effetto potrebbe essere un innalzamento del livello del mare dell'ordine dei metri nell'arco di 50 - 150 anni.**

**L'innalzamento medio di un centimetro espone all'inondazione delle coste circa sei milioni di persone.**

**È possibile che i nostri nipoti in alcuni decenni si trovino in un pianeta soggetto a una drastica riduzione delle terre emerse, con centinaia di milioni di persone costrette a spostarsi, e intere città – ad es. New Orleans, Miami, New York, Houston, Bangkok, Mumbai, Shanghai, Venezia – a rischio inondazione.**



## **APPENDICE: CONSIDERAZIONI TRANS-SCIENTIFICHE**

# LA SITUAZIONE USA

**A fine luglio 2025 è uscito il rapporto *A Critical Review of Impacts of Greenhouse Gas Emissions on the U.S. Climate*, del US Department of Energy (DOE). Sul sito del DOE c'è scritto:**

***“Among the key findings, the report concludes that carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)-induced warming appears to be less damaging economically than commonly believed, and that aggressive mitigation strategies could be more harmful than beneficial. Additionally, the report finds that U.S. policy actions are expected to have undetectably small direct impacts on the global climate and any effects will emerge only with long delays.”***

**Poco importa se scienziati citati nel rapporto hanno dichiarato che la loro ricerca è stata utilizzata impropriamente e manipolata: il documento ha l'obiettivo di favorire la deregolamentazione dei gas serra, assecondando lo slogan di Trump “*drill baby drill*”.**

**INOLTRE**

Nel febbraio 2026 l'EPA (*Environmental Protection Agency* degli USA) ha ufficialmente **eliminato l'*Endangerment finding* del 2009**, il presupposto scientifico e legale secondo cui i gas serra costituiscono una minaccia per la salute pubblica.

A gennaio 2025, nel primo giorno di mandato, Trump ha firmato l'ordine esecutivo per il **ritiro degli Stati Uniti dagli accordi di Parigi del 2015 sul clima**, diventato effettivo il 27 gennaio 2026.

A gennaio 2026, l'amministrazione USA ha annunciato l'intenzione di **ritirarsi anche dalla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC)**, il trattato del 1992 che è alla base di tutta la diplomazia climatica globale.

Il *budget* dell'EPA per l'anno fiscale 2026 riflette un **drastico ridimensionamento dell'agenzia**, con una riduzione del finanziamento e del personale con un taglio previsto di oltre 1.200 posizioni a tempo pieno.

L'amministrazione USA ha introdotto nuovi pilastri strategici volti a stabilire la *energy dominance* ovvero una strategia per consolidare gli Stati Uniti come il **principale produttore ed esportatore mondiale di petrolio e gas naturale**.

# A LIVELLO GLOBALE

**LA SITUAZIONE GEOPOLITICA ATTUALE CON LE SUE  
TURBOLENZE AGGIUNGE ULTERIORE INCERTEZZA**

**In prospettiva appare inevitabile ragionare su scenari  
caratterizzati da consumi energetici crescenti – si pensi  
alla fame di energia per lo sviluppo e utilizzo  
dell'intelligenza artificiale (IA).**

**E ALLORA ?**

**LE SFIDE SONO DUE, UNA A BREVE-MEDIO TERMINE,  
L'ALTRA A MEDIO-LUNGO TERMINE:**

- 1) Evitare l'eccessivo indebolimento e il collasso dell'AMOC (punto di non ritorno): **breve-medio termine.****
- 2) Depotenziare quanto della crisi climatica “è ancora nel vaso di Pandora” e si esplicherebbe nei prossimi secoli e millenni: **medio-lungo termine.****

**In questo contesto occorre:**

- A) Decarbonizzare nel più breve tempo possibile**
- B) Guadagnare tempo**

# A) Decarbonizzare nel più breve tempo possibile

## CONSIDERATO CHE:

- I consumi energetici mondiali cresceranno, trainati dall'espansione tecnologica – IA in primis – e dalla crescita economica
- L'ipotesi di uno sviluppo globale centrato su pratiche diffuse di efficienza e risparmio energetico è tramontata.

**SEMBRA IMPOSSIBILE DECARBONIZZARE  
RAPIDAMENTE A LIVELLO GLOBALE SENZA  
RICORRERE ALL'ENERGIA NUCLEARE DA FISSIONE E  
– IN PROSPETTIVA – DA FUSIONE.**

## **B) Guadagnare tempo**

### **DECARBONIZZARE NON BASTA:**

- c'è il rischio incombente del punto di non ritorno**
- molta crisi climatica è ancora nel vaso di Pandora**

**C'è il rischio concreto che il collasso dell'AMOC, o quanto meno un suo forte indebolimento, si verifichi nel breve periodo.**

**È essenziale guadagnare una manciata di anni.**

# GEOINGEGNERIA CLIMATICA?

Per guadagnare tempo, e a fronte dell'inseverirsi degli impatti climatici, un'ipotesi è ricorrere a tecniche di **geoingegneria climatica** per ridurre in qualche modo la radiazione solare che raggiunge la Terra, allo scopo di controbilanciare il crescente riscaldamento prodotto dall'effetto serra.

Alcune ipotesi su cui si sta ragionando:

- spargimento di aerosol o di suoi precursori nell'alta atmosfera per riflettere la radiazione solare
- spargimento di aerosol nella bassa atmosfera per favorire la formazioni di nubi chiare che riflettono la radiazione solare

**IL PROBLEMA SONO GLI EFFETTI COLLATERALI INDESIDERATI**

(Cirillo, 2023)

# Inoltre bisogna depotenziare la crisi climatica ancora nel vaso di Pandora

Nel medio-lungo periodo è necessario riportare la forzante climatica ai livelli dell'epoca preindustriale

(CO<sub>2</sub> in atmosfera oggi: **oltre 420 ppm**. Nell'Olocene: **280 ppm**).

**Bisogna implementare a costi accessibili a scala globale tecniche di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> presente in atmosfera .**

# E L'ITALIA?

**ALL'ITALIA NON RESTA CHE PERSEGUIRE UNA STRATEGIA DI ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO DEL CLIMA, COSA CHE AL MOMENTO FA POCO E MALE, SOPRATTUTTO A LIVELLO CENTRALE (Cirillo, 2025a)**

Le strategie di adattamento presentano una differenza cruciale da quelle di mitigazione (riduzione delle emissioni di gas serra): per funzionare non sono necessarie faticose – e, a quanto pare, inefficaci – negoziazioni internazionali, indispensabili per decarbonizzare a livello globale (altrimenti si ottiene poco o niente).

**Basta volerlo fare seriamente.**

**INOLTRE – SUL VERSANTE MITIGAZIONE – È NECESSARIO:**

- ammodernare le infrastrutture elettriche per rendere possibile un **uso intensivo di fonti energetiche rinnovabili**, anche per una maggiore sicurezza energetica (questo vale per tutta Europa)
- superare gli ostacoli burocratici per l'installazione di nuovi impianti di energia rinnovabile **rispettando l'ambiente e il paesaggio**
- sbloccare le situazioni di *empasse* in cui si trovano le **Comunità Energetiche Rinnovabili** e favorirne la diffusione

## PER APPROFONDIRE

Cirillo, M. C. (2023) *Dialogo dell'anima del mondo con un tecnofilo*. FOCSIV.

<https://www.focsiv.it/dialogo-dellanima-del-mondo-con-un-tecnofilo/>

Cirillo, M. C. (2025a) *Defend Italy, dalle aggressioni del Climate Change*. Ambiente e non solo.

<https://ambientenonsolo.com/defend-italy-dalle-aggressioni-del-climate-change/>

Cirillo, M. C. (2025b) *Crisi climatica e punto di non ritorno. Il dilemma*. Ambiente e non solo.

<https://ambientenonsolo.com/crisi-climatica-e-punto-di-non-ritorno-il-dilemma/>

Cirillo M. C. (2026) *La crisi climatica è ancora nel vaso di Pandora*. Ambiente e non solo.

<https://ambientenonsolo.com/la-crisi-climatica-e-ancora-nel-vaso-di-pandora/>

Hansen, J. E., et al. (2023) *Global warming in the pipeline*. Oxford Open Climate Change, Volume 3, Issue 1, 2023, kgad008, <https://academic.oup.com/oocc/article/3/1/kgad008/7335889>

Hansen, J. E., et al. (2025) *Global Warming Has Accelerated: Are the United Nations and the Public Well-Informed?* Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 67:1, 6-44.

<https://doi.org/10.1080/00139157.2025.2434494>

Hansen, J. E., et al. (2026) *Another El Nino Already? What Can We Learn from It?*

<https://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2026/ElNino.2026.02.06.pdf>

He, H. et al. (2023) *State dependence of CO<sub>2</sub> forcing and its implications for climate sensitivity*. Science, 30 Nov 2023, Vol 382, Issue 6674, pp. 1051-1056. <https://doi.org/10.1126/science.abq6872>

IPCC (2021, 2022) Rapporti dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) relativi al VI ciclo di valutazione, 2021-2022. <https://ipccitalia.cmcc.it/ar6-sesto-rapporto-di-valutazione/>

Lenton, T. M., et al. (2025) *Global Tipping Points Report 2025*. University of Exeter, Exeter, UK. ©The Global Tipping Points Report 2025, University of Exeter, UK. <https://global-tipping-points.org/>

Neukom, R., et al. (2019) *No evidence for globally coherent warm and cold periods over the pre-industrial Common Era*, Nature 571, 550-554. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1401-2>

**GRAZIE DELL'ATTENZIONE**