

# Mutamento climatico

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

In Climatologia il termine **mutamenti climatici** indica le variazioni a livello più o meno globale del clima della Terra (cambiamento dei valori medi) ovvero variazioni a diverse scale temporali di uno o più parametri ambientali e meteorologici: temperature (media, massima e minima), precipitazioni, nuvolosità, temperature degli oceani, distribuzione e sviluppo di piante e animali. Sono imputabili a cause naturali e alcuni ritengono, negli ultimi 150 anni, anche all'azione dell'uomo le cui influenze sul clima sono ancora in parte materia di dibattito scientifico.

Si utilizza questo termine, in modo meno appropriato, per riferirsi anche soltanto ai cambiamenti climatici che avvengono nel presente, utilizzandolo quindi come sinonimo di riscaldamento globale, ma in realtà esso comprenderebbe in sé anche le fasi di raffreddamento globale e la modifica dei regimi di precipitazione. La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change o UNFCCC) utilizza il termine *mutamenti climatici* solo per riferirsi ai cambiamenti climatici prodotti dall'uomo e quello di *variabilità climatica* per quello generato da cause naturali. In alcuni casi, per riferirsi ai mutamenti climatici di origine antropica si utilizza l'espressione *mutamenti climatici antropogenici*.

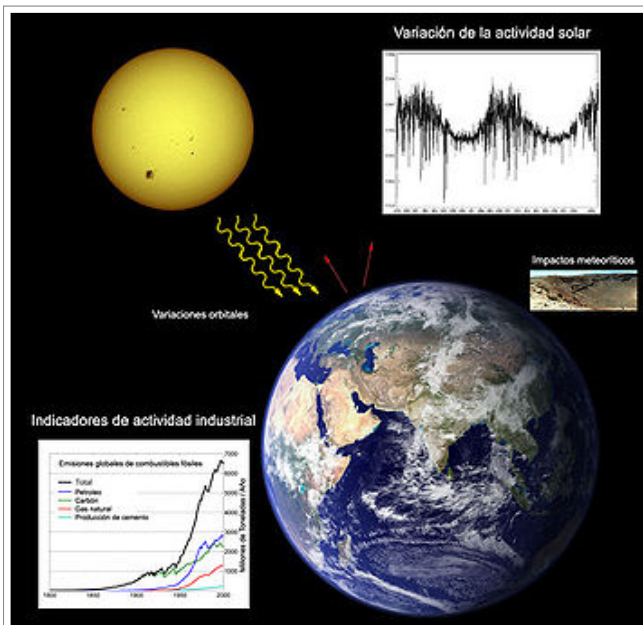
Grazie alla Paleoclimatologia, la scienza che studia il clima passato della Terra, si sa che la storia climatica della Terra attraversa continue fasi di cambiamenti climatici più o meno rapidi e più o meno ciclici, passando da Ere Glaciali ad Ere Interglaciali (considerando milioni di anni), da Periodi glaciali a Periodi interglaciali (considerando migliaia di anni), da momenti di raffreddamento a momenti di riscaldamento (considerando decine e centinaia di anni). Molti dei parametri che influenzano il clima sono in continuo mutamento (attività solare, caratteristiche atmosferiche, parametri interni o esterni al pianeta,...) tanto che il clima non ha mai un carattere statico, ma è sempre alla ricerca di un nuovo equilibrio: la caratteristica del clima è che è sempre in una fase di cambiamento (più o meno lento) passando da momenti più caldi a momenti più freddi. Nello studio dei mutamenti climatici bisogna considerare questioni pertinenti ai più diversi campi scientifici: Meteorologia, Fisica, Oceanografia, Chimica, Astronomia, Geografia, Geologia e Biologia comprendono molti aspetti correlati a questo problema, che può essere quindi considerato squisitamente di ambito multidisciplinare. Le conseguenze sulla comprensione o meno dei problemi correlati ai mutamenti climatici hanno profonde influenze sulla società umana, che deve confrontarsi con essi anche dal punto di vista economico o politico.

In generale nello studio di un cambiamento climatico si evidenziano due distinte fasi: la rilevazione (*detection*) dell'avvenuto mutamento climatico, in genere facendo riferimento all'analisi di serie storiche dei dati atmosferici e che costituiscono dunque le evidenze sperimentali, e l'attribuzione (*attribution*) delle cause di tale mutamento, sulla scorta di studi mirati, che possono essere naturali e/o antropiche.

## Cause dei mutamenti climatici

### Indice

- 1 Cause dei mutamenti climatici
  - 1.1 Influenze esterne
    - 1.1.1 Attività solare
    - 1.1.2 Variazioni orbitali
    - 1.1.3 Impatto di meteoriti
  - 1.2 Influenze interne
    - 1.2.1 Deriva dei continenti
    - 1.2.2 La composizione atmosferica
    - 1.2.3 Le correnti oceaniche
    - 1.2.4 Gli effetti antropogenici
    - 1.2.5 Retroazione, fattori moderatori e fattori moltiplicatori
- 2 Mutamenti climatici nel passato
  - 2.1 Il paradosso del Sole debole
  - 2.2 L'effetto serra nel passato
  - 2.3 I gas serra come regolatori del clima
  - 2.4 Appare la vita sulla Terra
  - 2.5 Le glaciazioni del Pleistocene
  - 2.6 Il minimo di Maunder
- 3 I mutamenti climatici attuali
  - 3.1 Temperatura globale e anomalia termica
- 4 Clima dei pianeti circostanti
- 5 Voci correlate
- 6 Bibliografia
- 7 Altri progetti
- 8 Collegamenti esterni



Schema illustrativo dei principali fattori che provocano i mutamenti climatici terrestri: **variazioni nell'orbita terrestre**; **variazioni nell'attività solare**; **attività dei vulcani e impatti di meteoriti**; **l'uomo**, in particolare con l'attività industriale e l'emissione di gas serra.

Il clima è lo stato medio del tempo atmosferico ad una determinata scala temporale (almeno 30 anni). Su di esso influiscono molti fattori; di conseguenza, le variazioni in questi ultimi provocano i mutamenti climatici. Variazioni nell'attività solare, nella

composizione atmosferica, nella disposizione dei continenti, nelle correnti oceaniche o nell'orbita terrestre può modificare la distribuzione dell'energia e il bilancio radioattivo terrestre, alternando così il clima planetario. Queste influenze possono classificarsi in esterne e interne alla Terra. Quelle esterne sono anche denominate **forzanti** in quanto normalmente effettuano un'azione sistematica sul clima, sebbene vi siano fenomeni di tipo aleatorio quali gli impatti meteoritici. L'influenza antropica sul clima in molti casi è considerata una forzante esterna in quanto la sua influenza è più sistematica che caotica, ma è anche certo che l'uomo appartiene alla biosfera terrestre e si può considerare un'influenza interna secondo quale criterio venga applicato.

Fra le cause interne si riscontrano un gran numero di fenomeni né sistematici né caotici. A questo gruppo appartengono anche i fattori che amplificano o diminuiscono le variazioni in corso. A causa di tutti questi fattori il clima è considerato un sistema complesso. A seconda del tipo dei fattori dominanti, la variazione del clima è sistematica o caotica. Per questo dipende in particolar modo dalla scala temporale a cui si osserva la variazione poiché possono riscontrarsi variazioni regolari di bassa frequenza nascoste in variazioni caotiche di alta frequenza o viceversa.

## Influenze esterne

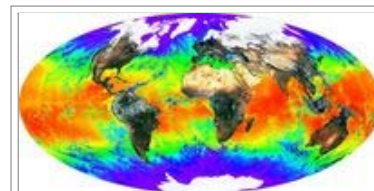
### Attività solare

*Per approfondire, vedi la voce **Ciclo undecennale dell'attività solare**.*

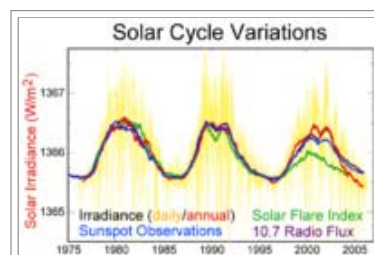
La temperatura media della Terra dipende, in gran misura, dall'attività solare che influisce in minima parte con una variazione del flusso di radiazione emesso dal Sole verso la Terra e soprattutto dalla variazione dei fenomeni climatici terrestri ad esso collegato (variazione dell'annuvolamento, precipitazioni, flusso dei raggi cosmici,...). Da sola la variazione del flusso energetico, che varia lentamente nel tempo, non è considerato un contributo importante per la variabilità climatica. Questo avviene perché il Sole è una stella di tipo G in fase di sequenza principale, risultando quindi molto stabile. Tuttavia il flusso radiativo è il motore dei fenomeni atmosferici poiché apporta all'atmosfera l'energia necessaria perché essi si producano. Quindi piccole variazioni nell'attività solare possono apportare più grandi variazioni in alcuni importanti fenomeni legati al clima (evaporazione degli oceani, copertura nuvolosa, precipitazioni,...).

Per altro, nel lungo periodo le variazioni del flusso radiativo divengono percettibili poiché il Sole aumenta la sua luminosità con una proporzione del 10% ogni 1.000 milioni di anni. Per questo, sulla Terra primitiva che permise la nascita della vita, 3.800 milioni di anni fa, la luminosità solare era del 70% rispetto a quella attuale. Attualmente la costante solare alle soglie dell'atmosfera è di circa 1366W/m<sup>2</sup> con variazioni di appena 0,1% misurate dai satelliti in orbita negli ultimi 40 anni in relazione ai cicli solari.

Le variazioni nel campo magnetico solare e le correlate emissioni di vento solare sono importanti, poiché l'interazione dell'alta atmosfera terrestre con le particelle provenienti dal Sole può generare reazioni chimiche in un senso o nell'altro,



Distribuzione della temperatura sulla superficie terrestre. In rosso le aree a temperatura più elevata, in blu le aree a temperatura meno elevata.



Variazione dell'irraggiamento solare negli ultimi 30 anni (la linea rossa indica la media annuale, quella gialla i valori giornalieri). Su circa 1366 watt totali, l'oscillazione è di pochi watt.

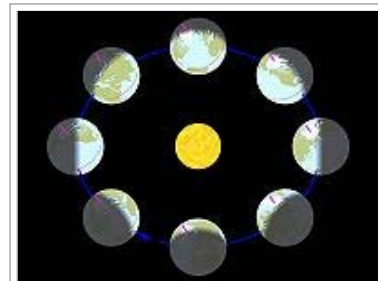
modificando la composizione dell'aria e delle nubi così come la loro formazione.

In generale si sospetta che variazioni dell'attività solare possano aver determinato le variazioni climatiche su scala ultracentenaria nel recente passato evidenziate dai dati climatici indiretti (proxy data)(vedi Minimo di Maunder e Optimun Climatico).

### Variazioni orbitali

 *Per approfondire, vedi la voce **Orbita**.*

Sebbene la luminosità solare si mantenga praticamente costante nei millenni, varia invece l'orbita terrestre. Questa oscilla periodicamente, modificando la quantità media di radiazione che riceve ogni emisfero nel tempo, e queste variazioni provocano le glaciazioni e i periodi interglaciali. Ci sono tre fattori che contribuiscono a modificare le caratteristiche orbitali facendo in modo che l'insolazione media degli emisferi vari sebbene il flusso globale di radiazione rimanga lo stesso. Si tratta della precessione degli equinozi, dell'eccentricità orbitale e dell'obliquità dell'orbita o inclinazione dell'asse terrestre. Tali studi vennero per la prima volta affrontati e parzialmente risolti dal geofisico serbo Milutin Milankovitch e tali cicli orbitali vanno sotto il nome appunto di cicli di Milankovitch. Tali cicli sarebbero in grado di spiegare i cambiamenti climatici globali su scala temporale di 100.000 anni ovvero pari al periodo delle glaciazioni/deglaciazioni in linea con quanto osservato negli studi proxy dei carotaggi antartici.



Schematizzazione dell'orbita terrestre

### Impatto di meteoriti

In alcune occasioni avvengono eventi di tipo catastrofico che cambiano l'aspetto della Terra per sempre. L'ultimo di questi avvenimenti catastrofici avvenne 65 milioni di anni fa. Si tratta degli impatti meteoritici di grande dimensione. È indubbio che tali fenomeni possano provocare un effetto devastante sul clima, liberando grandi quantità di CO<sub>2</sub>, polvere e ceneri nell'atmosfera a causa di incendi in grandi regioni boschive. Si potrebbe quindi relazionare l'evento di Chichulub (nello Yucatan) con il periodo di forti eruzioni dei vulcani dell'India, in quanto questo continente si situa circa agli antipodi rispetto al cratere di impatto. A causa di un impatto sufficiente, l'atmosfera potrebbe cambiare rapidamente, analogamente all'attività geologica del pianeta e alle sue caratteristiche orbitali.

### Influenze interne

#### Deriva dei continenti

 *Per approfondire, vedi la voce **Deriva dei continenti**.*


La Terra ha conosciuto molti cambiamenti a partire dalla sua origine, 4.600 milioni di anni fa. 225 milioni di anni fa tutti i continenti erano uniti a formare la Pangea, e vi era un oceano universale chiamato Panthalassa. Questa disposizione favorì l'aumento delle correnti oceaniche e generò uno scarso scarto termico tra l'Equatore e il Polo. La tettonica a zolle ha separato i continenti e li ha posti nella situazione attuale. L'Oceano Atlantico si è formato a partire da 200 milioni di anni.

La deriva dei continenti è un processo estremamente lento, per cui la posizione dei continenti fissa il comportamento del clima per milioni di anni. Ci sono due aspetti da tenere in considerazione. Da un lato, le latitudini a cui si concentra la massa continentale: se le masse continentali sono situate alle basse latitudini si avranno pochi ghiacciai continentali e, in generale, temperature medie meno estreme. Analogamente, se i continenti sono molto frammentati si avranno zone inferiori di clima continentale.



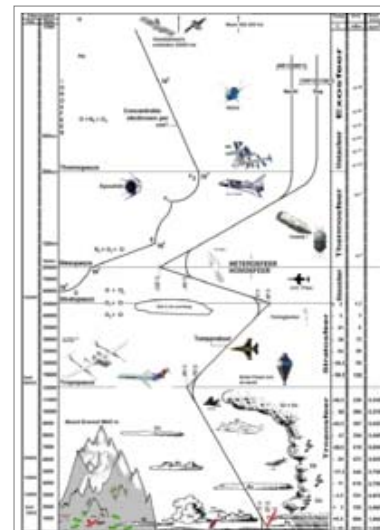
Pangea

#### La composizione atmosferica

 *Per approfondire, vedi la voce **Atmosfera**.*

L'atmosfera primitiva, la cui composizione era simile a quella della nebulosa iniziale, perse i suoi elementi volatili H<sub>2</sub> e He, in un processo denominato degassificazione, e li sostituì con i gas provenienti dalle eruzioni vulcaniche del pianeta, in particolar modo la CO<sub>2</sub>, originando un'atmosfera di seconda generazione e dando vita così ad un primitivo effetto serra naturale. In essa sono importanti gli effetti dei gas serra emessi in modo naturale dai vulcani e dai pozzi termali. D'altra parte, l'ossido di zolfo e gli altri aerosol emessi dai vulcani contribuiscono all'effetto contrario, raffreddando la Terra. A partire dall'equilibrio fra le emissioni si avrà un determinato bilancio radiativo.

Con l'apparizione della vita sulla Terra, la biosfera diventò un fattore importante per il clima. Inizialmente, il gruppo di organismi fotosintetici catturò gran parte della CO<sub>2</sub> dell'atmosfera primitiva e emise una grande quantità di ossigeno. Questo modificò l'atmosfera, permettendo l'apparizione di nuove forme di vita aerobica, favorite dalla nuova composizione dell'aria. Aumentò così il consumo di ossigeno e diminuì il consumo netto di CO<sub>2</sub> fino a raggiungere un equilibrio, l'atmosfera di terza generazione, che permane tuttora. Questo equilibrio fra le emissioni e gli assorbimenti si rende evidente nel ciclo del carbonio, per cui la CO<sub>2</sub> presenta oscillazioni annuali a seconda delle stagioni di crescita delle piante.



Schema dell'atmosfera

## Le correnti oceaniche

 *Per approfondire, vedi la voce **Corrente del Golfo**.*

Le correnti oceaniche, o marine, sono fattori regolatrici del Clima funzionando come moderatrici. L'esempio più noto è la corrente termoalina nell'Oceano Atlantico che, a causa delle differenze di temperatura e salinità, risale fino al nord Atlantico dando vita alla Corrente del Golfo, la quale mitiga le temperature delle coste europee, per poi inabissarsi nelle profondità dell'oceano nel lungo nastro trasportatore oceanico. In particolare la corrente *scettica* sui cambiamenti climatici attuali attribuisce ai cicli oceanici, così come alle variazioni dell'attività solare, la causa ovvero il forzante energetico naturale che sarebbe in grado di spiegarli.

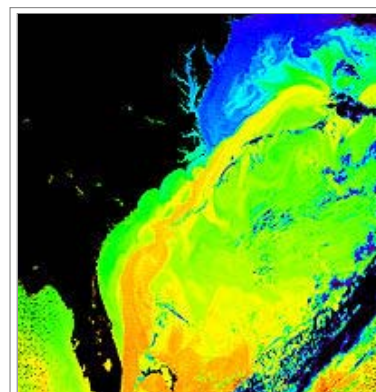
## Gli effetti antropogenici

 *Per approfondire, vedi le voci **Effetto serra** e **Riscaldamento globale**.*

L'uomo è il più recente dei fattori che influenzano l'ambiente e lo è da relativamente poco tempo. La sua influenza iniziò con lo sviluppo dell'agricoltura e la conseguente deforestazione dei boschi per convertirli in terre coltivabili e in pascoli, fino ad arrivare ad oggi a grandi emissioni di gas serra: CO<sub>2</sub> dalle industrie e dai mezzi di trasporto e metano negli allevamenti intensivi e nelle risaie. Secondo la teoria del Global warming, o surriscaldamento climatico, l'uomo attraverso le sue emissioni di gas serra (soprattutto di CO<sub>2</sub> e metano) è responsabile di gran parte del periodo di riscaldamento che sta attraversando oggi la Terra. Altri scienziati ritengono invece sopravvalutato il peso sul clima attribuito all'uomo, ritenendo l'attuale fase di riscaldamento climatico come una fase naturale opposta ai periodi naturali di raffreddamento climatico. Il peso delle attività umane sul clima è ancora oggetto di dibattito scientifico.

## Retroazione, fattori moderatori e fattori moltiplicatori

Molti dei mutamenti climatici importanti sono causati da lievi variazioni provocate dai fattori citati sopra, siano essi forzati sistematiche o accadimenti impreveduti. Questi possono originare un meccanismo che si rafforza autonomamente ("*feedback positivo*"), amplificando l'effetto. Analogamente, la Terra può rispondere con meccanismi moderatori ("*feedback negativo*") o con entrambi i fenomeni che agiscono contemporaneamente. Dal bilancio di tutti gli effetti originerà una variazione più o meno brusca, ma sempre imprevedibile sul lungo periodo in quanto il sistema climatico è un sistema caotico e complesso.



Temperatura dell'acqua nella Corrente del Golfo.

Un esempio di *feedback positivo* è l'*effetto albedo*, un aumento della massa glaciale che incrementa la riflessione della radiazione diretta e, di conseguenza, amplifica il raffreddamento. Può inoltre verificarsi il fenomeno inverso, per cui si amplifica il riscaldamento alla riduzione delle masse glaciali. Un meccanismo analogo avviene per la fusione delle calotte polari, in quanto esse creano un ostacolo alle correnti oceaniche che non possono attraversare le regioni polari. Nel momento in cui inizia ad aprirsi il passo alle correnti, si contribuisce a omogenizzare le temperature e si favorisce la fusione completa di tutta la calotta polare, portando a un maggior riscaldamento al ridursi dell'albedo.

La Terra ha mostrato periodi caldi senza calotte polari e recentemente si è riscontrata una laguna nel Polo Nord durante l'estate boreale, per cui gli scienziati norvegesi predicono che fra 50 anni il Mare Glaciale Artico sarà navigabile in questa stagione. Un pianeta senza calotte polari permette una migliore circolazione delle correnti marine, soprattutto nell'emisfero settentrionale, e diminuisce la differenza di temperatura tra l'Equatore e il Poli.

Inoltre vi sono fattori moderatori dei mutamenti climatici. Uno di essi è l'effetto della biosfera e, più concretamente, degli organismi fotosintetici (fitoplancton, alghe e piante) sull'aumento del diossido di carbonio nell'atmosfera. Si stima che l'incremento di questo gas porterà a un aumento della crescita degli organismi che lo utilizzano, fenomeno provato sperimentalmente in laboratorio. Gli scienziati credono, comunque, che gli organismi siano capaci di assorbirne solo una parte e che l'aumento globale della CO<sub>2</sub> proseguirà.

Ci sono quindi meccanismi di retroazione per cui è difficile chiarire in che senso attuino. Nel caso delle nubi, attualmente si è giunti alla conclusione, mediante osservazioni dallo spazio, che l'effetto totale che esse producono è di raffreddamento; questo studio si riferisce però alle nubi attuali. L'effetto netto futuro e passato è difficile da stabilire in quanto dipende dalla composizione e dalla formazione delle nubi stesse.

## Mutamenti climatici nel passato

 Per approfondire, vedi la voce *Paleoclimatologia*.



La Terra vista dall'Apollo 17.

Gli studi climatici del passato (paleoclima) si effettuano studiando i registri fossili, accumuli di sedimenti nei fondali marini, le inclusioni di aria nei ghiacciai, i segnali erosivi nelle rocce e gli anelli di crescita degli alberi. Sulla base di questi dati si è potuto redigere una storia climatica recente relativamente precisa e una storia climatica preistorica con una precisione più scarsa. Studiando il clima del passato si è potuto notare che la Terra ha attraversato continue fasi di cambiamento del suo clima, fasi più o meno rapide e più o meno cicliche.

Studiando i cambiamenti lenti del clima, che avvengono in milioni di anni, si nota un continuo alternarsi di Ere Glaciali ed Ere Interglaciali ossia milioni di anni più freddi in cui esistono ghiacciai sulla superficie terrestre alternati a milioni di anni più caldi in cui non c'è traccia di ghiacciai sulla Terra.

Studiando i cambiamenti medi del clima, che avvengono in migliaia di anni, si nota l'alternarsi di Periodi glaciali e Periodi Interglaciali, ossia migliaia di anni in cui si ha una grande estensione dei ghiacciai sulla terraferma (vengono ricoperti gran parte dei continenti) alternati a migliaia di anni in cui si ha una piccola estensione dei ghiacci (vengono ricoperti solo le regioni polari).

Studiando i cambiamenti brevi del clima, che avvengono in centinaia o decine di anni, si nota l'alternarsi di momenti di raffreddamento del clima, con un generale abbassamento delle temperature, alternati a momenti di riscaldamento del clima con un generale innalzamento delle temperature.


In base a questa suddivisione del clima terrestre attualmente è in corso l'ultima Era Glaciale iniziata circa 3 milioni di anni fa e ci troviamo in un Periodo interglaciale, ossia in un periodo di piccola estensione dei ghiacciai con un arretramento generale iniziato circa 10 mila anni fa.

Man mano che si retrocede nel tempo i dati si riducono, per cui la climatologia ha necessità di servirsi di modelli di simulazione del clima passato e futuro.

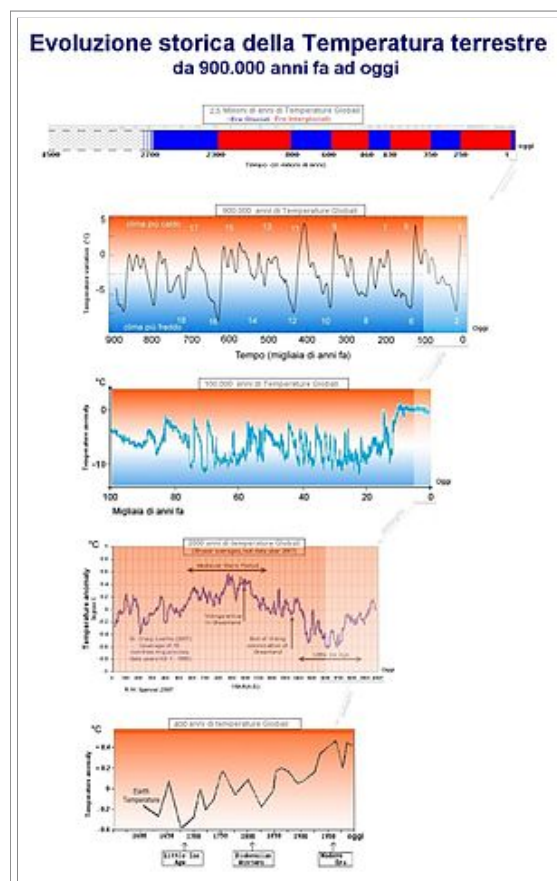
## Il paradosso del Sole debole

A partire dai modelli di evoluzione stellare si può calcolare con relativa precisione la variazione della luminosità solare nel lungo periodo, per cui si sa che, nel primo periodo dell'esistenza della Terra, il Sole emetteva il 70% dell'energia attuale e la temperatura di equilibrio teorica terrestre calcolata era di  $-41$  °C. Ciò nonostante, si hanno prove dell'esistenza degli oceani e della vita da 3.800 milioni di anni, per cui il cosiddetto paradosso del Sole debole, a prima vista del tutto incompatibile con la vita e la presenza di acqua allo stato liquido, si può risolvere ammettendo un'atmosfera la cui concentrazione di CO<sub>2</sub> fosse molto superiore rispetto a quella attuale, cioè quindi con un effetto serra superiore.

## L'effetto serra nel passato

 Per approfondire, vedi la voce *Effetto serra*.

L'atmosfera ha un ruolo determinante sul clima: se non esistesse, la temperatura sulla Terra sarebbe di  $-20$  °C; ma essa si comporta in modo differente in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente. Il Sole, per la sua temperatura di circa 6000 K emette fondamentalmente a 5 μm e l'atmosfera lascia passare la radiazione. La Terra ha una temperatura molto inferiore e riemette parte della radiazione ma a una lunghezza d'onda molto più ampia, di circa 15 μm, per i quali l'atmosfera non è più trasparente, ma opaca. La CO<sub>2</sub> che è attualmente contenuta nell'atmosfera, in una concentrazione di 367 p.p.m., assorbe questa radiazione, così come il vapore acqueo. Il risultato è che l'atmosfera si riscalda e restituisce alla terra parte di questa energia per cui la temperatura superficiale media è di circa 15 °C, valore molto diverso da quello d'equilibrio senza atmosfera. Questo fenomeno è denominato effetto serra e permette la vita



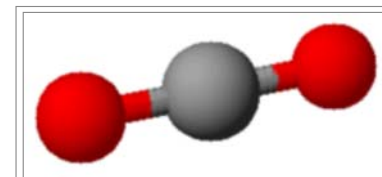
Evoluzione storica della temperatura terrestre come è stata ricostruita dagli studi climatologici. I quattro schemi mostrano sempre più in dettaglio l'evoluzione della temperatura nelle varie epoche.

sulla terra.

Lo studio di quale fosse in passato la composizione dell'atmosfera viene oggi condotto a partire dalle bolle d'aria intrappolate nei ghiacci polari e nei campioni di sedimenti marini; si è così osservato che le concentrazioni di CO<sub>2</sub>, metano ed altri gas serra sono fluttuate nel corso delle ere. Non si conoscono le cause esatte per cui si sono prodotte queste variazioni, sebbene ci siano varie ipotesi di lavoro. Il bilancio è complesso poiché, sebbene si conoscano i fenomeni di assorbimento e di emissione della CO<sub>2</sub>, la loro interazione è difficilmente calcolabile.

## I gas serra come regolatori del clima

I vari gas serra hanno un ruolo importante nel clima poiché attraverso l'effetto serra regolano il flusso di energia trattenuto nell'atmosfera terrestre e contribuiscono a mantenere costanti i parametri climatici reagendo nelle fasi di riscaldamento e raffreddamento climatico. Gli scenari previsti postulano che, mentre il pianeta si riscalda, le calotte polari si fondono e poiché la neve ha un'elevata albedo (cioè riflette verso lo spazio la maggior parte della radiazione che riceve), la diminuzione delle calotte polari comporterà un ulteriore aumento delle temperature. Inoltre, il riscaldamento dei mari comporterà una maggiore evaporazione e poiché il vapore acqueo è anch'esso un gas serra, si produrrà un *effetto amplificatore*. Di contro, un aumento della nuvolosità dovuto alla maggiore evaporazione contribuirà all'aumento dell'albedo e quindi, teoricamente, ad un raffreddamento.



Modello di anidride carbonica

Naturalmente, si potrebbero avere effetti compensatori. La CO<sub>2</sub> gioca un ruolo importante sull'effetto serra: se la temperatura è più elevata, l'assorbimento di anidride carbonica da parte degli oceani a formare carbonati è favorito. Quindi l'effetto serra diminuisce, così come la temperatura. Se la temperatura è bassa, la CO<sub>2</sub> si accumula poiché non si favorisce il suo assorbimento da parte degli oceani.

## Appare la vita sulla Terra

Con l'apparizione delle piante, nella Terra iniziò la fotosintesi. Le piante assorbono CO<sub>2</sub> e emettono O<sub>2</sub>. L'accumulo di quest'ultimo nell'atmosfera favorì l'apparizione degli animali, che lo utilizzano per respirare, emettendo CO<sub>2</sub>. I boschi sono quindi i **polmoni della Terra**; attualmente le foreste tropicali occupano la regione equatoriale del pianeta e tra l'Equatore e il Polo si ha una differenza termica di 50 °C. 65 milioni di anni fa la temperatura era di 8 °C superiore rispetto a quella attuale e la differenza termica tra l'Equatore e il Polo era di pochi gradi.

## Le glaciazioni del Pleistocene

L'uomo apparve circa 3 milioni di anni fa. All'inizio del pleistocene, circa due milioni di anni fa la Terra si trovava in un periodo glaciale, in cui gran parte dei continenti dell'emisfero settentrionale, per esempio l'America del Nord e l'Europa, erano coperte dai ghiacci. In Europa sono state riconosciute quattro fasi glaciali, dalla più antica alla più recente: Donau, Gunz, Mindel, Riss e Wurm, intervallate da altrettanti fasi interglaciali. Il periodo interglaciale in cui viviamo è iniziato circa 15.000 anni fa. Il miglioramento delle condizioni termiche coincise con il passaggio dal periodo Paleolitico a quello Neolitico, circa 5.000 anni fa.

Nel 1941 il matematico e astronomo serbo Milutin Milanković propose la teoria per cui le variazioni orbitali della Terra causarono le glaciazioni del Pleistocene. Calcolò l'insolazione nelle alte latitudini dell'emisfero nord nel passare delle stagioni. La sua tesi afferma che è necessaria l'esistenza di estati fresche, e non di inverni rigidi, perché inizi un periodo glaciale. La sua teoria non fu accettata fino agli inizi degli anni cinquanta, quando Cesare Emiliani, che lavorava in un laboratorio dell'Università di Chicago, presentò la prima dissertazione completa che mostrava l'**avanzata** e la **retrocessione dei ghiacciai** durante le ultime glaciazioni. Questi risultati furono ottenuti analizzando successioni sedimentarie marine, ovvero confrontando il contenuto dell'isotopo pesante dell'ossigeno (<sup>18</sup>O) con l'ossigeno-16 (<sup>16</sup>O) nei microfossili contenuti nei sedimenti.

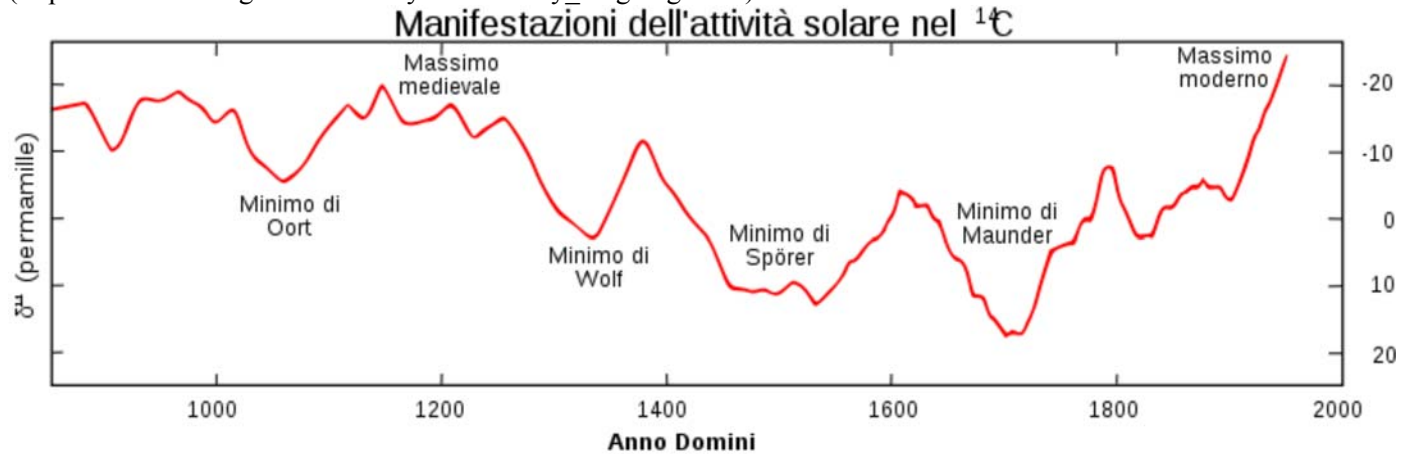
## Il minimo di Maunder

Da quando nel 1610 Galileo mise a punto il telescopio, il Sole e le sue macchie sono state osservate con assiduità. Nel 1851 l'astronomo Heinrich Schwabe osservò che l'attività solare variava secondo un **ciclo di undici anni**, con massimi e minimi. L'astronomo solare E.W. Maunder si accorse che tra il 1645 e il 1715 il Sole interruppe il ciclo undecennale e ci fu un'epoca in cui quasi non ci furono macchie, denominato minimo di Maunder. Il Sole e le stelle passano un terzo della loro vita in periodi analoghi a questo, che corrispondono a minimi di emissione dell'energia e quindi a periodi freddi nel

clima terrestre. Inoltre, in questi periodi le aurore boreali o australi causate dall'attività solare scompaiono o sono rare.

Ci sono stati 6 minimi solari simili a quello di Maunder dal minimo egizio dell'anno 1300 a.C. Questi eventi sono però molto irregolari, con intervalli fra i minimi che variano tra i 180 e i 1100 anni; in media i periodi di scarsa attività solare durano 115 anni circa e si ripetono approssimativamente ogni 600. Attualmente siamo nel **Massimo Moderno**, che iniziò nel 1780 quando riniziò il ciclo di 11 anni. Siamo entrati in un profondo minimo che secondo gli scienziati NASA si prolungherà con i cicli 24 e 25. Con le maggiori attrezzature a nostra disposizione potremo constatare l'influenza del sole sul clima terrestre e sapere se il massimo moderno abbia contribuito al riscaldamento globale. [1]

([http://science.nasa.gov/headlines/y2006/10may\\_longrange.htm](http://science.nasa.gov/headlines/y2006/10may_longrange.htm))



Le variazioni di Carbonio-14 e l'attività solare sono correlate. Questo permette attraverso gli studi di dendrocronologia di ricostruire queste attività e metterle in relazione con i minimi e i massimi di attività solare. Recenti studi dell'attività solare che tengono conto oltre che delle variazioni del Carbonio-14 anche delle variazioni dell'isotopo del berillio ( $^{10}\text{Be}$ ) intrappolato nelle calotte polari, evidenzia come l'aumento di attività solare prodottosi in questi ultimi duecento anni, sia il più spettacolare che si sia registrato negli ultimi novemila anni, vedi grafico Figura 17 [2] (<http://solarphysics.livingreviews.org/Articles/lrsp-2008-3/articlesu13.html#x20-440004.1>)

## I mutamenti climatici attuali

Il mantenimento della temperatura della biosfera terrestre attorno a valori medi adatti alla vita è dovuto principalmente all'azione combinata di cinque fattori:

1. Calore interno del pianeta
2. Irraggiamento solare, che fornisce l'energia per l'effetto serra ed elementi correlati alle variazioni dell'attività solare e delle macchie solari.
3. Effetto delle correnti oceaniche e dell'evaporazione marina (e dei fenomeni ad essa correlati)
4. Presenza dell'atmosfera, che attenua gli sbalzi di temperatura giornalieri e stagionali
5. Effetto serra naturale, che amplifica l'effetto termico dell'irraggiamento solare

La variazione quantitativa di uno o più di questi fattori può causare un riscaldamento globale o raffreddamento globale dell'atmosfera e superficie terrestre. A tali fattori naturali secondo la teoria del Global warming si aggiunge l'influenza dell'uomo che attraverso l'uso di combustibili fossili immette nell'atmosfera grandi quantità di  $\text{CO}_2$  aumentando l'azione dell'effetto serra e generando un surriscaldamento climatico che aumenta il naturale riscaldamento climatico terrestre.

### Temperatura globale e anomalia termica

Si stima che da quando l'uomo misura la temperatura, circa 150 anni fa, essa è aumentata di  $0,5\text{ }^\circ\text{C}$  e si è previsto un aumento di  $1\text{ }^\circ\text{C}$  nel 2020 e di  $2\text{ }^\circ\text{C}$  nel 2050. Ma nonostante queste previsioni la temperatura non sale abbastanza rapidamente per raggiungere tali valori. Nell'ultimo decennio l'anomalia termica pur restando su valori positivi si è radicalmente ridotta rispetto ai 2 decenni passati. In altre parole la fase di riscaldamento si è molto attenuata rispetto ai due decenni passati. Anomalia media dei decenni (tra parentesi il confronto con quello precedente):

1901-1910:  $-0.24\text{ }^\circ\text{C}$

1911-1920:  $-0.23\text{ }^\circ\text{C}$  (**+0.01  $^\circ\text{C}$** )

1921-1930: -0.13 °C (+**0.10** °C)

1931-1940: +0.00 °C (+**0.13** °C)

1941-1950: +0.03 °C (+**0.03** °C)

1951-1960: -0.01 °C (**-0.04** °C)

1961-1970: +0.01 °C (+**0.02** °C)

1971-1980: +0.04 °C (+**0.03** °C)

1981-1990: +0.21 °C (+**0.17** °C)

1991-2000: +0.35 °C (+**0.14** °C)

2001-2008: +0.43 °C (+**0.08** °C) [3] ([ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/annual.land\\_and\\_ocean.90S.90N.df\\_1901-2000mean.dat](ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/annual.land_and_ocean.90S.90N.df_1901-2000mean.dat))

Gli ultimi anni del XX secolo si caratterizzarono per temperature medie che furono le più alte del secolo.

## Clima dei pianeti circostanti

- L'atmosfera di Venere ha una pressione di 94 volte quella terrestre, ed è composta per il 97% da CO<sub>2</sub>. L'assenza di acqua impedì l'estrazione dell'anidride carbonica dall'atmosfera, che si accumulò provocando un intenso effetto serra che aumentò la temperatura superficiale sino a 465 °C, superiore al punto di fusione del piombo. Probabilmente la distanza inferiore dal Sole è stata determinante per produrre nel pianeta le condizioni attuali. Bisogna ricordare che piccoli cambiamenti possono scatenare un meccanismo di retroazione e se questo è sufficientemente ampio si può raggiungere a un livello non controllabile, dominato da alcuni fattori, a dare le condizioni estreme come quelle di Venere.
- L'atmosfera di Marte ha una pressione di solo sei millibar e, sebbene sia composta per il 96% da CO<sub>2</sub>, l'effetto serra è scarso e non può impedire né una oscillazione diurna delle temperature dell'ordine di 55 °C, né le basse temperature superficiali che raggiungono minimi di -86 °C nelle medie latitudini. Pare che nel passato godette di migliori condizioni, per cui vi era acqua liquida sulla superficie come dimostrano la moltitudine di canali e valli erosive; questo fu causato da un aumento della concentrazione del diossido di carbonio nella sua atmosfera, proveniente dalle emissioni dei grandi vulcani marziani che provocarono un processo di degassificazione analogo a quello accaduto sul nostro pianeta. La differenza sostanziale è che il diametro di Marte misura la metà rispetto a quello terrestre, per cui il calore interno era molto inferiore e il pianeta si raffreddò già molto tempo fa. Senza l'attività vulcanica Marte era condannato e la CO<sub>2</sub> sfuggì dall'atmosfera facilmente, a causa anche della ridotta forza di gravità rispetto alla Terra. Inoltre è possibile che qualche processo di tipo minerale assorbisse la CO<sub>2</sub> e, non compensato dalle emissioni vulcaniche, provocasse una sua diminuzione drastica. Il pianeta quindi si raffreddò progressivamente fino a congelare la poca CO<sub>2</sub> rimasta nelle calotte polari odierne.

## Voci correlate

- Clima
- Effetto serra
- Riscaldamento globale
- Oscuramento globale
- Minimo di Maunder
- Conferenza mondiale dei popoli sui cambiamenti climatici e i diritti della madre Terra

## Bibliografia

- National Research Council (U.S.). Committee on the Geologic Record of Biosphere Dynamics, *The Geological Record of Ecological Dynamics*, National Academies Press (U.S.), 2005, ISBN 0-309-09580-8 (online (<http://books.google.com/books?id=4gNzGoih00YC&printsec=frontcover>) )
- Paolo degli Espinosa (a cura di) e Giuseppe Vatinno in "Italia 2020 energia e ambiente dopo Kyoto", Edizioni Ambiente, Milano 2006, ISBN 88-89014-37-7

- Claude Villeneuve e Francois Richard, *Vivere i cambiamenti climatici*, Gruppo Editoriale Muzzio, 2008, ISBN 978-88-96159-01-9

## Altri progetti

- Wikimedia Commons** contiene file multimediali su **Mutamento climatico**

## Collegamenti esterni

- (**EN**) Sito dell'ONU per i mutamenti climatici (<http://www.ipcc.ch>)
- (**EN**) Sito della Commissione Europea sui mutamenti climatici ([http://ec.europa.eu/environment/climat/home\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/home_en.htm))
- (**EN**) Programma per i mutamenti climatici negli Stati Uniti (<http://www.usgcrp.gov>)
- (**EN**) Greenpeace (<http://www.greenpeace.org>)
- (**EN**) WWF (<http://www.panda.org/climate/index.cfm>)
- (**EN**) Climatic Research Unit (Norwich:East Anglia) (<http://www.cru.uea.ac.uk>)
- (**EN**) Extreme city. Climate Change and the transformation of the waterscape. International Design Workshop. Iuav University of Venice (<http://www.iuav.it/extremecity>)
- (**IT**) Il protocollo di Kyoto sulla convenzione sui cambiamenti climatici (pdf) ([http://www.bcp-energia.it/normativa/protocollo\\_kyoto.pdf](http://www.bcp-energia.it/normativa/protocollo_kyoto.pdf))
- (**IT**) ECOsuasion (<http://ecosuasion.wordpress.com>)

Categorie: Ambiente | Terra | Fenomeni climatici | Storia del clima | Mutamenti climatici

---

- Ultima modifica per la pagina: 17:36, 14 set 2010.
- Il testo è disponibile secondo la licenza Creative Commons Attribuzione-Condividi allo stesso modo; possono applicarsi condizioni ulteriori. Vedi le condizioni d'uso per i dettagli. Wikipedia® è un marchio registrato della Wikimedia Foundation, Inc.
- [Politica sulla privacy](#)
- [Informazioni su Wikipedia](#)
- [Avvertenze](#)