

IL CLIMA GLOBALE CAMBIA (PARTE 1) Cosa sappiamo dei cambiamenti climatici naturali

di Ernesto Pedrocchi*, Adalberto Porrino**

Vengono delineati i più significativi fattori "naturali" che influenzano i cambiamenti climatici del nostro pianeta per poter apprezzare la grande complessità del fenomeno clima. Sulla base dei dati forniti dai più accreditati centri di ricerca, viene elaborata una prima analisi dell'attuale situazione climatica

* Professore emerito di Energetica al Politecnico di Milano

** Adalberto Porrino (è stato ricercatore presso Enel Ricerca e CESI s.p.a.)

La rivoluzione industriale in atto ormai da tre secoli, resa possibile anche dall'utilizzo massiccio delle fonti energetiche fossili, ha costituito per l'umanità un sostanziale aumento dello sviluppo e del benessere. Il progresso tecnologico e scientifico ha inciso in modo impressionante sul processo di antropizzazione del pianeta descrivibile da una accelerazione della interazione tra le attività umane e la natura.

L'inquinamento dell'aria, delle acque e dei terreni è uno di questi aspetti che l'umanità sta affrontando e che deve riuscire a controllare pur non rinunciando al benessere acquisito e permettendo anche ai paesi in via di sviluppo di migliorarlo significativamente.

L'interazione tra le emissioni antropiche di CO₂ e il clima del pianeta è l'aspetto che al momento sta ricevendo la massima attenzione. Nella Parte 2 di questo contributo tratteremo questo tema.

Attraverso importanti iniziative a livello regolatorio internazionale, l'umanità si sta responsabilizzando per fare fronte ai possibili rischi legati all'aumento della CO₂ in atmosfera.



Il contesto regolatorio internazionale

IPCC (International Panel on Climate Change) fu creata nel 1988 dalla WMO (World Meteorological Organization) e da UNEP (Programma Ambientale delle Nazioni Unite) e successivamente approvata dalla Assemblea Generale delle Nazioni Unite. IPCC produce rapporti che contribuiscono alla attività di UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change, Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici) che rappresenta il principale trattato internazionale sui cambiamenti climatici.

Il trattato UNFCCC fu aperto alle ratifiche il 9 maggio 1992 ed entrò in vigore il **21 marzo 1994**. L'obiettivo dichiarato di UNFCCC è quello di "raggiungere la stabilizzazione delle concentrazioni dei gas serra in atmosfera a un livello abbastanza basso per prevenire interferenze antropogeniche dannose per il sistema climatico".

COP, la "conferenza delle parti" è l'organismo supremo, al quale partecipano tutti gli Stati aderenti a UNFCCC, e che ogni anno verifica l'implementazione degli accordi e decide quali strumenti adottare per raggiungere gli obiettivi indicati da UNFCCC.

Cambiamenti climatici

Il clima globale riguarda tutto il pianeta ed è ovviamente l'insieme di tanti climi locali. La variabile principale per caratterizzarlo è la temperatura globale media di superficie Tgm riferita a uno strato fra 1,50 e 2,00 m dal suolo ove viene misurata con termometri. La Tgm influisce su due variabili globali essenziali che sono la copertura niveo-glaciale e il livello del mare. Al crescere della Tgm la copertura niveo-glaciale diminuisce e il livello del mare cresce sia per lo scioglimento di neve e ghiaccio sia, in minor misura, per la dilatazione termica dell'acqua liquida superficiale.

Se le prime misure strumentali di Tgm risalgono al 1650 e si devono alla rete del Cimento fondata da Galileo, avvicinandosi al tempo recente la rete di rilevamento della Tgm è divenuta sempre più affidabile arrivando a coprire una buona parte del pianeta verso il 1850.

Attualmente la rete di rilevazione è molto estesa. Dal 1956 esistono anche rilevamenti a livello atmosferico con palloni sonda e dal 1979 con satelliti che pure permettono di risalire alla Tgm.

L'andamento del valore medio sull'anno della Tgm, a partire dal 1850 fino al 2019, è rappresentato in figura 1, in termini di "anomalia", ovvero di scostamento rispetto a un valore di temperatura dato, corrispondente al valore medio del periodo 1979-2008 (trenta anni).

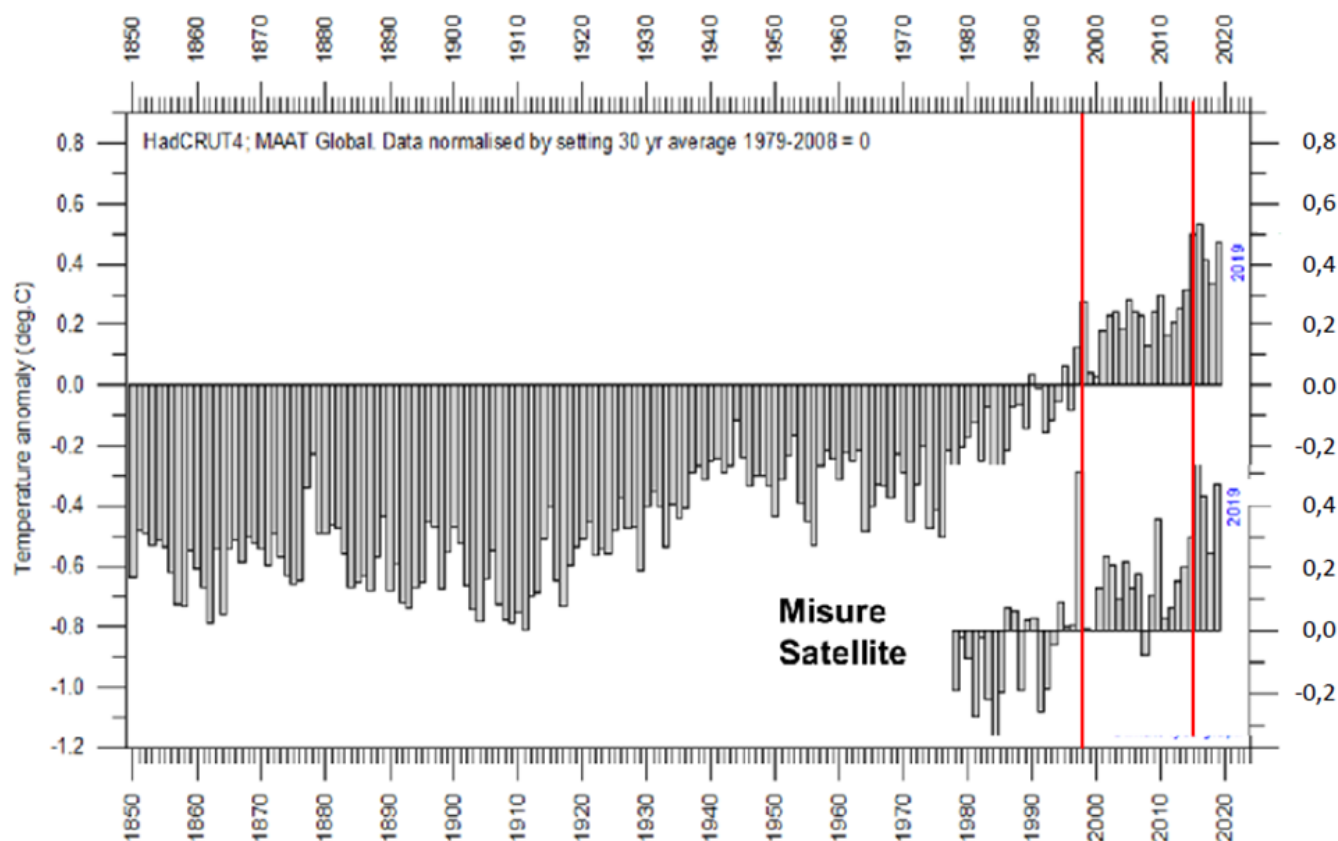


Figura 1 - Anomalie della Tgm dal 1850 a tutto il 2019 (come valore di riferimento si è assunto la media tra 1979 e 2008. (Fonte Hadley Centre Climatic Research Unit Temperature). Nella parte bassa a destra sono riportate le misure dai satelliti disponibili dal 1979 (fonte UAH MSU), le linee rosse rappresentano anni in cui recentemente c'è stato un forte fenomeno di El Niño (si veda a pagina 12 dell'articolo).

Si rileva un periodo di Tgm abbastanza stabile dal 1850 al 1910 con una leggera tendenza al raffreddamento e con una evidente variabilità interannuale, poi un netto aumento fino a circa il 1943, quindi un periodo di lieve diminuzione fino al 1975, seguito da un aumento fino al 2019, ancora con evidente variabilità interannuale.

L'andamento negli ultimi 20 anni, sembrerebbe indicare una stabilizzazione, salvo gli effetti di El Niño (si veda a pagina 12 e successive), attorno a un valore di anomalia di 0,3 °C corrispondente a un aumento di circa 0,9 °C dal 1850.

Per il passato ante 1850 esistono alcune serie di dati a livello locale utili a conoscere il clima su limitate aree, in generale in Europa, mentre si utilizzano vari segni, o **proxy data**, di tipo geofisico e biologico lasciati dal clima che cambia e che servono a ricostruire approssimativamente la Tgm fin da tempi più remoti

I dati "proxy" per la ricostruzione del clima nelle ere passate

Le temperature globali medie del pianeta, e le concentrazioni di CO₂ in atmosfera, lasciano vari segni sulla Terra tramite le concentrazioni isotopiche di ossigeno, idrogeno, berillio e carbonio e con l'aspetto e la composizione delle stratificazioni del terreno. Questi segni vengono rilevati più comunemente nelle carote di ghiaccio ottenute con trivellazioni dei ghiacciai artici (fra cui quelli della Groenlandia), antartici e delle regioni coperte spesso da ghiaccio, ma anche nelle stalagmiti e nei terreni alluvionali e nelle rocce metamorfiche.

Questi segni consentono di ricostruire e collocare nel tempo le Tgm, le concentrazioni di CO₂ e dei pulviscoli in atmosfera, con tanto migliore approssimazione quanto più si è vicini al periodo attuale.

La Tgm intende rappresentare in modo "oggettivo" il clima dell'intero pianeta. Il nostro pianeta è per più del 70% coperto dal mare e solo il 30% è Terra ferma. Di questa, solo una frazione pari a non più del 10% è antropizzata con una densità abitativa significativa, mentre il resto è coperto da deserti, foreste tropicali, tundre, zone montagnose o coltri glaciali. Quindi meno del 3% della totale superficie terrestre è significativamente antropizzata.

Essendo il clima globale la composizione di tanti climi locali, quelli delle zone fortemente antropizzate contribuiscono alla formazione del clima globale, ma occupando queste una frazione esigua della superficie totale del pianeta il loro contributo è modesto. È inoltre da segnalare che la produzione di energia per la copertura del fabbisogno energetico è meno di 1/10000 dell'energia inviata dal Sole sulla Terra e che circa il 15% è prodotto con le fonti rinnovabili. Assume invece una dimensione globale la emissione antropica della CO₂ che viene immessa in atmosfera per l'uso di combustibili fossili e questo fatto contribuisce a influenzare il clima globale essendo essa un "gas serra", ovvero un gas che contribuisce in qualche misura all'innalzamento della Tgm per effetto serra. Approfondiremo questo argomento nella seconda parte di questo articolo che verrà pubblicata nel prossimo numero di questa rivista.

Il complesso dei fenomeni che influenzano il clima

Il bilancio energetico del pianeta Terra, che è la base del clima terrestre, è molto difficile da conoscere con precisione, una schematizzazione presentata da IPCC (AR5) è evidenziata in figura 2 e può fornire solo un'idea dei vari contributi in gioco come peraltro evidente anche dai campi di variazione segnati nella figura stessa.

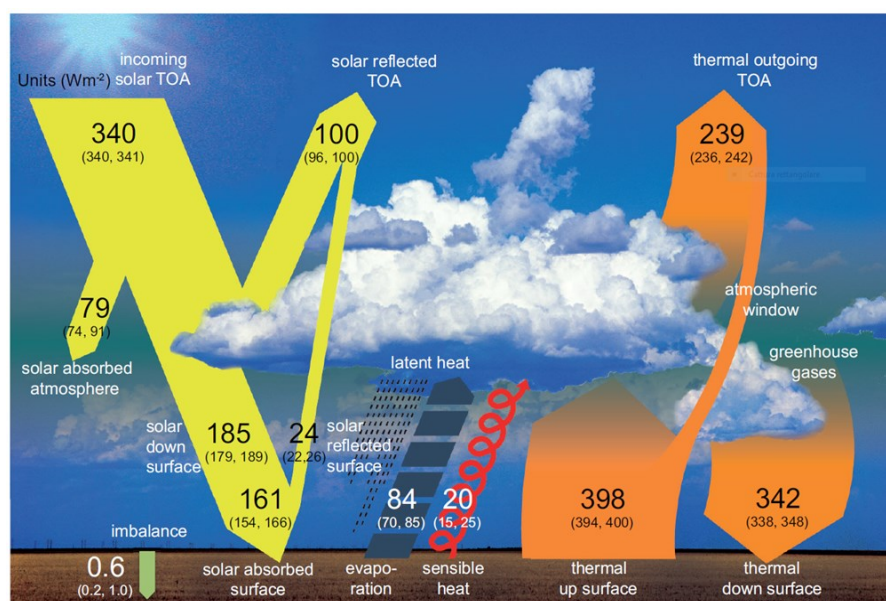


Figura 2. Bilancio energetico totale medio annuale della Terra. I flussi sono indicati in W m⁻² (Fonte).

Si tratta del bilancio di un sistema che può essere schematizzato da tre "casse": lo Spazio, la Terra e l'Atmosfera terrestre. Il bilancio segue i principi della contabilità. In ciascuna "cassa" le entrate e le uscite hanno una variabilità nel tempo, ma, salvo in periodi con forte variazione climatica, le uscite sono pari alle entrate.

Vi sono due ordini di variabilità. Ogni variazione di input radiativo o convettivo nel sistema, o di risposta del sistema, può provocare un cambiamento della Tgm. L'effetto serra, del quale scriveremo più diffusamente nella Parte 2 di questo articolo, rappresenta, con la copertura nuvolosa, il fenomeno più rilevante della risposta della cassa atmosferica all'irraggiamento solare.

Nella presente Parte dell'articolo vengono trattati gli effetti sul clima:

delle variazioni della radiazione solare incidente (cause astronomiche e cause endogene alla attività solare),

della concentrazione di pulviscolo nell'atmosfera di origine vulcanica o d'altra fonte,

di altri fenomeni legati agli oceani come i cicli PDO – "Pacific Decadal Oscillation" e AMO "Atlantic Multidecadal Oscillation, la cui causa è ancora incerta e potrebbe essere di origine endogena.

Fluttuazioni della radiazione solare per cause astronomiche

Per la trattazione di questo paragrafo, faremo ampio riferimento a [IPCC AR4 Full Report capitolo 6 "Paleoclimate"](#).

Esiste una forte evidenza del fatto che le glaciazioni e interglaciazioni si sono alternate con grande regolarità per circa gli ultimi 3 milioni di anni e che queste siano legate a variazioni regolari e periodiche che descrivono il movimento della Terra su sé stessa e attorno al Sole. La figura 3 illustra schematicamente le cause astronomiche che influenzano la radiazione solare incidente sulla Terra.

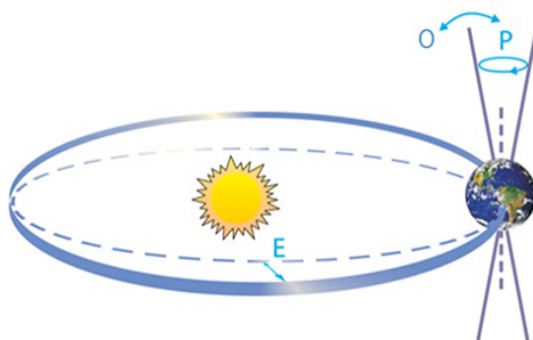


Figura 3

P – Precessione (degli equinozi), ciclo della direzione dell'asse di rotazione della Terra attorno all'asse perpendicolare al piano dell'eclittica.

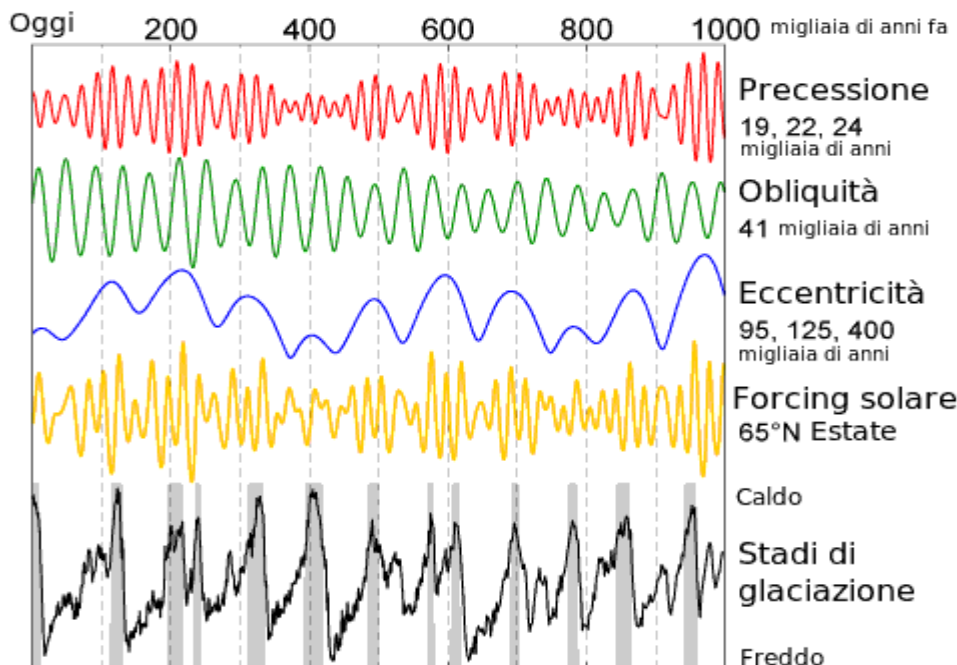
O – Obliquità, il ciclo dell'asse di rotazione terrestre con riferimento al piano dell'orbita della Terra attorno al Sole, varia tra 22,05° e 24,5°;

E - Eccentricità dell'orbita terrestre (pari al rapporto tra la distanza tra i due fuochi e la lunghezza dell'asse maggiore dell'ellisse). La forma dell'orbita terrestre varia da quasi circolare (bassa eccentricità: 0,005) a discretamente ellittica (alta eccentricità: 0,058) e ha un'eccentricità media di 0,028. Il Sole sta in uno dei fuochi dell'ellisse.

Questi cicli hanno periodicità dell'ordine di migliaia d'anni e hanno effetti in base alla loro evoluzione reciproca. La precessione e l'obliquità modificano l'ammontare della radiazione solare ricevuta alle diverse latitudini nelle differenti stagioni (senza però influenzare significativamente la media annuale della radiazione ricevuta mentre l'eccentricità può giocare un ruolo importante a livello di tutto il globo (BOX, alla pagina seguente).

I CICLI DI MILANKOVICH

Precessione, obliquità e eccentricità, hanno un andamento ciclico modulato da armoniche. La seguente figura (fonte Wikipedia) illustra gli andamenti nel tempo di questi componenti su una scala di migliaia di anni con una comparazione con stadi di glaciazione, nell'ultimo milione di anni



La **precessione** modula il ciclo dell'insolazione stagionale con periodicità di circa 19 e 23 migliaia di anni.

L'**obliquità** varia tra 22,05° e 24,50° con una forte quasi periodicità di 41 migliaia di anni. Essa ha effetti opposti tra elevate e basse latitudini, e pertanto non influenza la media totale di insolazione del pianeta.

L'**eccentricità** ha una doppia periodicità di 400 e 100 migliaia di anni circa. Dal momento che la distanza dal Sole varia tra valori compresi tra il 2 e il 50 per mille, essa ha un impatto limitato sulla insolazione media annuale. Nonostante questo, i cambiamenti dell'eccentricità, modulano gli effetti stagionali e latitudinali indotti da precessione e obliquità

Forcing solare. Nel loro insieme, le variazioni periodiche di Precessione, Obliquità e Eccentricità influiscono sulla potenza specifica di radiazione solare che raggiunge la Terra, in modo asimmetrico rispetto ai poli terrestri. L'emisfero nord, che ha una estensione delle terre emerse molto maggiore dell'emisfero sud, dove predominano i mari che hanno una grande capacità termica pronta, reagisce più rapidamente alle variazioni della radiazione solare. Convenzionalmente per rappresentare questo effetto ci si riferisce alla potenza specifica che incide al 65° parallelo nord.

Il ciclo delle glaciazioni

A dispetto del fatto che la sola variazione della radiazione solare sulla Terra dovuta alla eccentricità sia estremamente contenuta, il ciclo delle glaciazioni dimostra di essere essenzialmente legato alle due periodicità principali della eccentricità, pari a 400 e 100 mila anni. Le altre componenti della variabilità astronomica della radiazione solare (obliquità e precessione) hanno una influenza più rilevante sull'irraggiamento della Terra alle diverse latitudini senza però effetti sull'irraggiamento totale del pianeta. La maggiore insolazione in una zona è compensata da minor insolazione, di pari entità, in un'altra zona del pianeta.

Evidenze glaciologiche e geologiche, ottenute con i carotaggi e la valutazione dei relativi *proxi*, mostrano la assoluta stabilità dei cicli climatici glaciali in un arco temporale di milioni di anni. Le modalità con cui i fattori astronomici influiscono sulla radiazione solare, che è la principale forzante del clima terrestre, sono estremamente complesse. Per dare ragione di questa complessità è istruttivo menzionare, ad esempio, che, secondo la teoria di Milankovitch, le glaciazioni sarebbero

innescate da valori minimi di insolazione estiva, nell'intorno del 65° parallelo nord che permettono all'innervamento di persistere tutto l'anno e quindi di accumularsi per formare depositi glaciali. Ad esempio l'incipit dell'ultima era glaciale, circa 116000 anni fa, corrisponde a un Soleggiamento a metà giugno di circa 40W/m² inferiore a quello odierno.

L'uscita dalla glaciazione è associata ad una concomitanza di fattori orbitali che aumentano la forzante solare, ma perché si arrivi effettivamente all'uscita pare debba intervenire anche un fattore terrestre che faciliti lo scioglimento delle estese coltri glaciali presenti. Fra le ipotesi vi è quella enunciata da *Ellis e Palmer (2016)* che hanno parlato di un feed-back polvere/albedo. In pratica i ghiacciai ridurrebbero il loro albedo per effetto della polvere che su di essi si deposita dopo essersi sollevata dalle grandi aree periglaciali prive di vegetazione e dunque esposte all'erosione eolica. Un minore albedo dei ghiacciai comporterebbe il maggiore assorbimento di radiazione solare con stimolo ai processi di fusione dei ghiacci. Si tenga conto per inciso che la scarsa copertura vegetale dianzi evidenziata è frutto sia del clima rigido delle aree che circondano gli estesissimi ghiacciai sia della bassa concentrazione atmosferica di CO₂ che limita sensibilmente lo sviluppo delle piante ^{1,2,3}.

Le ultime glaciazioni e i relativi periodi interglaciali sono mostrati nel diagramma della seguente figura 4 che copre gli ultimi 420.000 anni. Come si può rilevare la differenza di Tgm tra il massimo nelle interglaciazioni e il minimo nelle glaciazioni è dell'ordine di 10°C

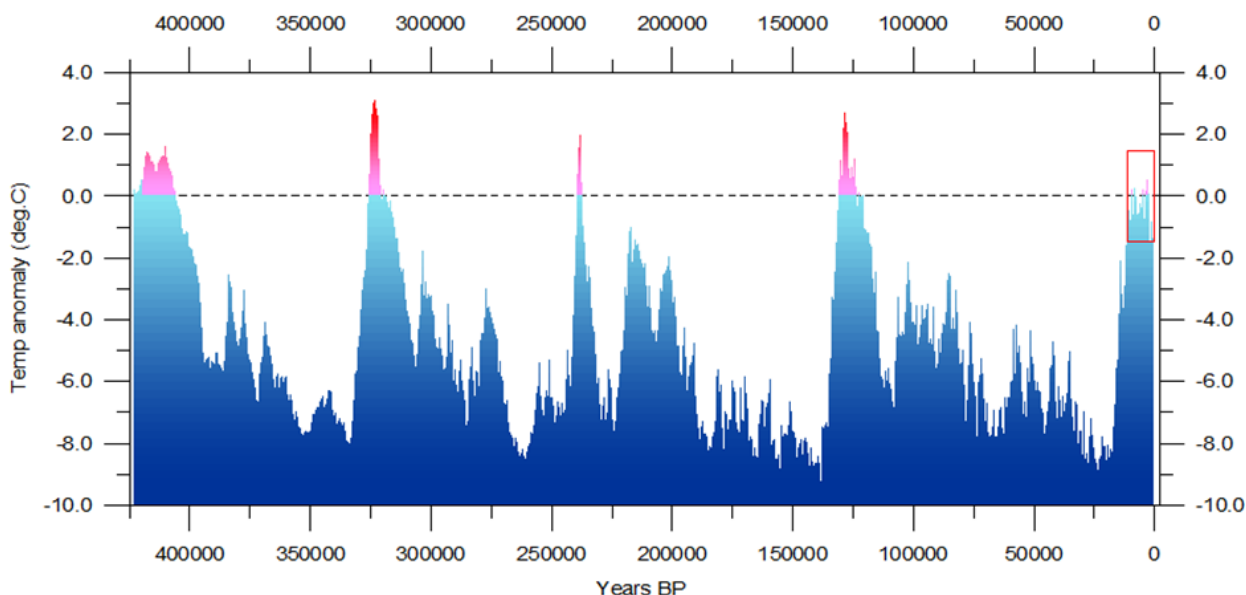


Figura 4. Tgm negli ultimi 420.000 anni ricostruita in base ai carotaggi a Vostok in Antartide (*Petit et al. 2001*). Il diagramma mostra quattro glaciazioni e quattro interglaciazioni. La linea orizzontale tratteggiata indica la Tgm attuale. (Fonte diagramma "Climate4you").



Figura 5. Livello del mare nel golfo di Orosei in Sardegna "Fonte Antonielli F., e Silenzi S., (2007). Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane. Quaderni della Società Geologica Italiana, 2, 29

Olocene, il periodo "interglaciale" nel quale viviamo

IPCC a questo riguardo fa la seguente affermazione (FAQ 6.1 pagina 449 [IPCC AR4 Full Report capitolo 6](#))

"Simulazioni con il modello climatico confermano che una nuova era glaciale può avviarsi per davvero in questo modo e, contemporaneamente, semplici modelli concettuali basati sui cicli orbitali, sono stati usati ex post per confermare con successo gli inizi delle passate glaciazioni. La prossima grande riduzione di insolazione estiva nell'emisfero nord simile a quelle che avviarono le passate ere glaciali, dovrebbe iniziare tra 30000 anni".

Se non si tratta di un refuso, questa affermazione è sorprendente dal momento che un periodo interglaciale così lungo non è mai stato documentato con rilievi glaciometrici (vedi ad esempio i cicli glaciali e interglaciali intercorsi nell'ultimo milione di anni, rappresentati nel BOX 3). Tra l'altro, se fosse così, il nostro olocene dovrebbe durare 41000 anni (gli 11000 anni trascorsi + 30000 ulteriori), una durata che vale quasi la metà di una intera glaciazione.

Esistono altre previsioni sulla fine del nostro periodo interglaciale.

Come esempio, riportiamo in estrema sintesi quanto scritto nella referenza <https://judithcurry.com/2017/04/30/nature-unbound-iii-holocene-climate-variability-part-c/>

Nell'olocene, il ciclo della precessione e quello dell'obliquità sono all'incirca allineati così che la massima obliquità e il massimo di insolazione nell'emisfero nord sono all'incirca coincidenti all'inizio del periodo interglaciale circa 10000 anni fa.

Il confronto tra l'andamento delle temperature rilevato con *prox* glaciali in Antartide a partire da 800.000 anni fa (EPICA Dome Ice Core) ha mostrato con impressionante evidenza che la forzante astronomica "Obliquità" è significativamente in fase con le temperature ricostruite tramite i *prox* (figura 6).

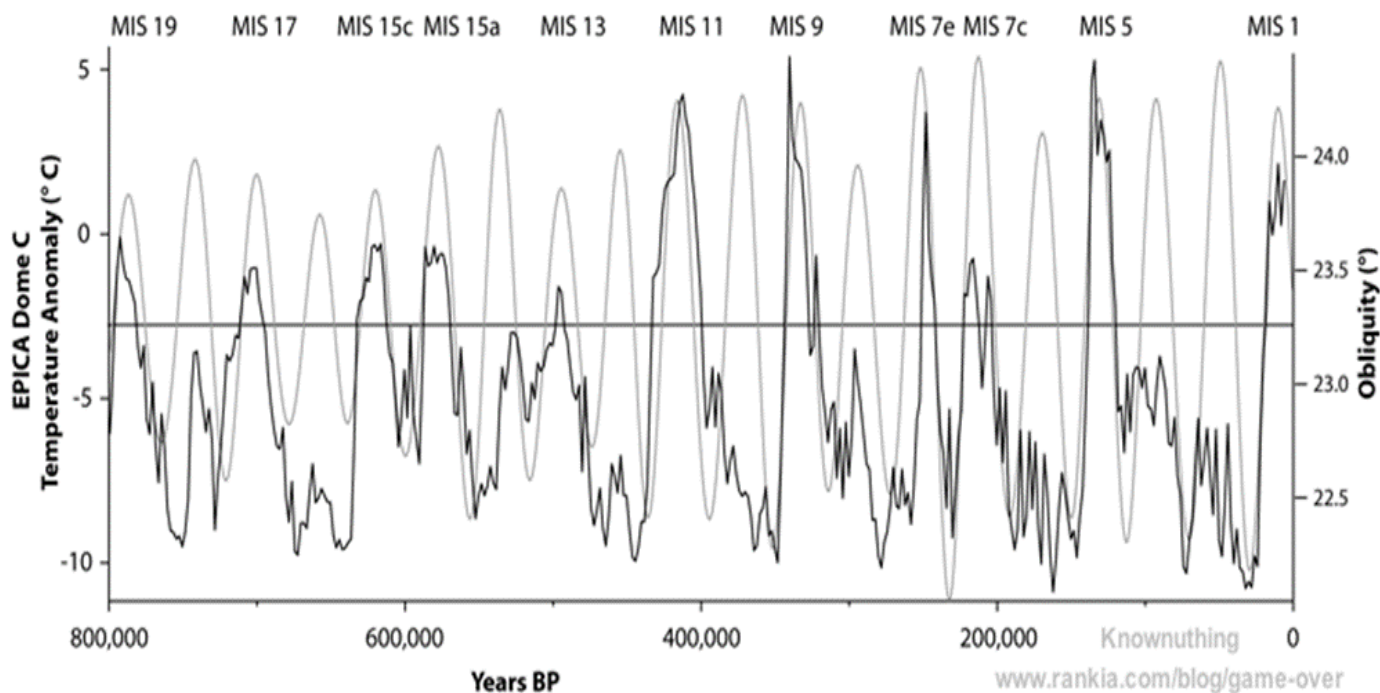


Figura. 6 - Linea scura: Andamento delle anomalie delle temperature ricostruite da carotaggi in Antartide, nella stazione europea EPICA C, a partire da 800.000 anni or sono . Linea grigia: andamento dell'obliquità dell'asse terrestre. "La caduta della obliquità pone sempre termine ai periodi interglaciali".

Nella figura 7 viene rappresentato l'andamento delle temperature dell'olocene sovrapposto alla forzante obliquità.

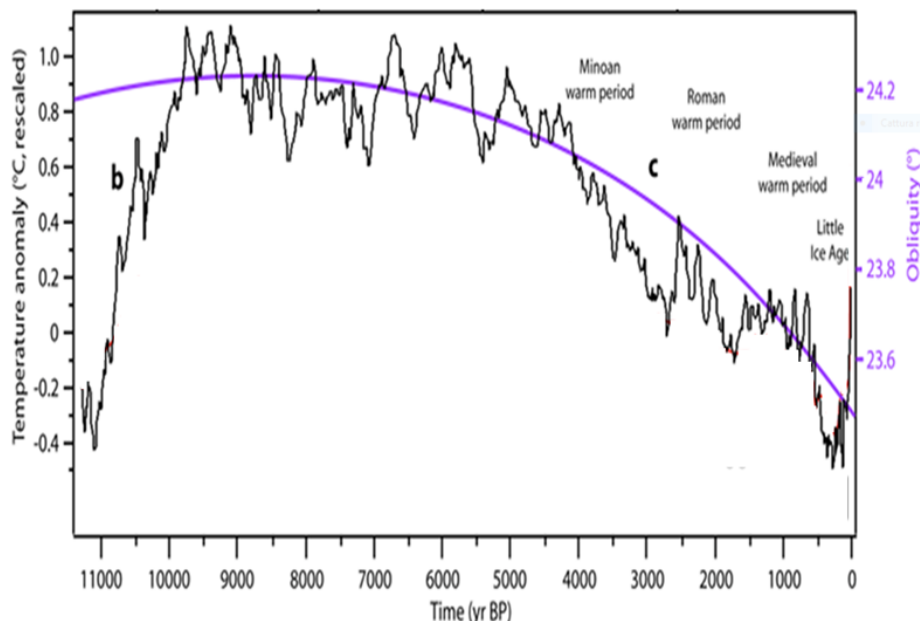


Figura 7 - Linea nera: ricostruzione dell'andamento della Tgm negli ultimi 11000 anni (Olocene) secondo [Marcott et al., 2013](#). Linea viola; andamento della forzante "obliquità".

Se focalizziamo la nostra attenzione sulla parte più recente del grafico, ovvero sull'anomalia di temperatura a partire dalla fine della cosiddetta Piccola Glaciazione (*Little Ice Age*) e dall'innalzamento della Tgm negli ultimi 100 anni mostrato nella figura 1, vediamo che si tratta di un andamento fortemente antagonista a quello della obliquità. La forzante *obliquità* riuscirà a salvarci dal Global Warming?

Effetto sul clima globale di alcuni fenomeni naturali di periodo più breve rispetto a quelli astronomici

Abbiamo visto in precedenza che i fattori astronomici orbitali Sole-Terra sono quelli che determinano le maggiori transizioni climatiche di lungo periodo, come quelle tra periodi glaciali e interglaciali.

Per una corretta valutazione della possibile interferenza antropica sul clima (che è iniziata meno di due secoli orsono) occorre tenere presenti i concorrenti fenomeni naturali di più breve periodo.

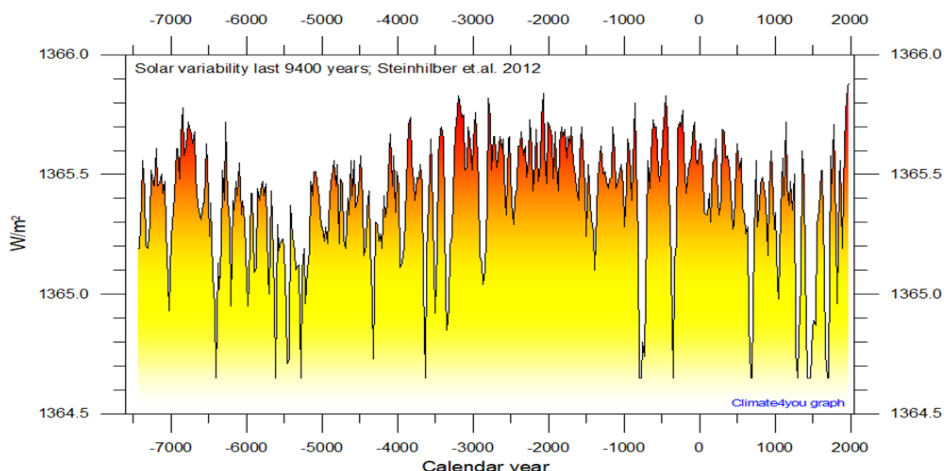
I più importanti di questi sono:

- le variazioni della irradianza solare,
- il ciclo delle macchie solari,
- il vulcanismo
- le correnti oceaniche denominate PDO (*Pacific Decadal Oscillation*, indice della variabilità climatica del Pacifico di cui fanno parte i cicli ENSO (*El Niño* e *La Niña Southern oscillation*) e AMO (*Atlantic Multidecadal Oscillation*) che potrebbero essere di origine geotermica.

Le variazioni dell'irradianza solare

Il flusso di energia solare che giunge sulla Terra (detto anche irradianza solare), stimato da *Steinhilber et al.* a partire da circa 10.500 anni fa (all'incirca dalla fine dell'ultima glaciazione) è mostrato in *Figura 8*.

Figura 8 - Irradianza solare negli ultimi 10500 anni secondo Steinhilber et al. 2012. Fonte diagramma "Climate4you"



Guardando attentamente i valori della scala della figura 8, risulta che la variazione massima è dell'ordine di 0,1%. Questa, come tale, risulterebbe probabilmente poco influente sul clima terrestre. In valore assoluto l'ordine di grandezza della differenza, tra il 1750 ed ora, dell'irradianza solare è di 1,3 W/m². Questo numero è riferito alla proiezione della Terra perpendicolare alla radiazione solare; per ricondurlo all'intera superficie della Terra bisogna dividerlo per 4 e si ricava 0,325W/m². Questo è nettamente più alto del valore di 0,05 W/m² proposto da IPCC (AR5 2013) e non è del tutto trascurabile rispetto al valore di 1,6 W/m² assegnato dall'IPCC nel 2013 per tutti gli effetti riconosciuti come *drivers* del clima dal 1750 al 2013. In effetti il Sole subisce continui mutamenti endogeni che, pur influenzando poco l'energia emessa, comportano effetti elettromagnetici e particellari (vento solare) che possono causare variazioni climatiche sulla Terra per ora non chiaramente spiegati.

Il ciclo delle macchie solari

L'esistenza delle macchie solari è nota da millenni: sono zone scure sulla superficie solare circondate da aree molto luminose dette facule che compensano largamente la ridotta emissione delle macchie poco luminose. Dal 1700 si è intuito prima e chiarito poi il meccanismo dei cicli delle macchie solari. Con misure molto attendibili relative agli ultimi 35 anni si evidenzia che l'intensità della radiazione solare risulta in buon accordo con l'andamento delle macchie solari: più macchie solari ci sono, maggiore è l'irradianza (*figura 9*).

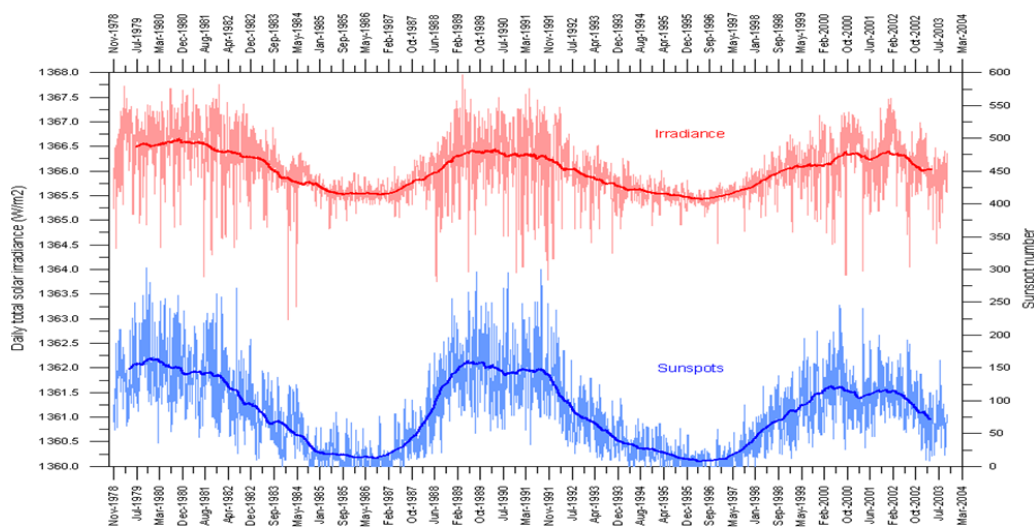


Figura 9 - Irradianza solare e macchie solari dal 1979. Le linee sottili indicano i valori giornalieri mentre le linee grosse indicano i valori medi annuali. NOAA's National Geophysical Data Center; NGDC. Elaborazione "Climate4you"

Nella seguente figura 10 è invece rappresentata la ricostruzione del flusso solare dal 1600 al 2014, la linea sottile indica i valori annuali, mentre la linea grossa indica la media su 11 anni. Risulta evidente una ciclicità riconducibile ai cicli delle macchie solari e si può constatare, con un confronto con gli andamenti di temperatura delle figure 9 e 10, che, tutte le volte che le macchie solari aumentano e in concomitanza i relativi cicli si intensificano (accrescendo la loro frequenza), la Tgm tende ad aumentare e viceversa. Si vede infatti un minimo accentuato del numero di macchie solari e una rarefazione dei cicli in corrispondenza al periodo freddo della piccola glaciazione (XVII secolo. *Minimo di Maunder*), un altro minimo in corrispondenza del periodo freddo all'inizio del 1800 (*minimo di Dalton*), mentre è evidente un aumento delle macchie solari con cicli di breve durata in concomitanza con il periodo caldo tra il 1910 e il 1945.

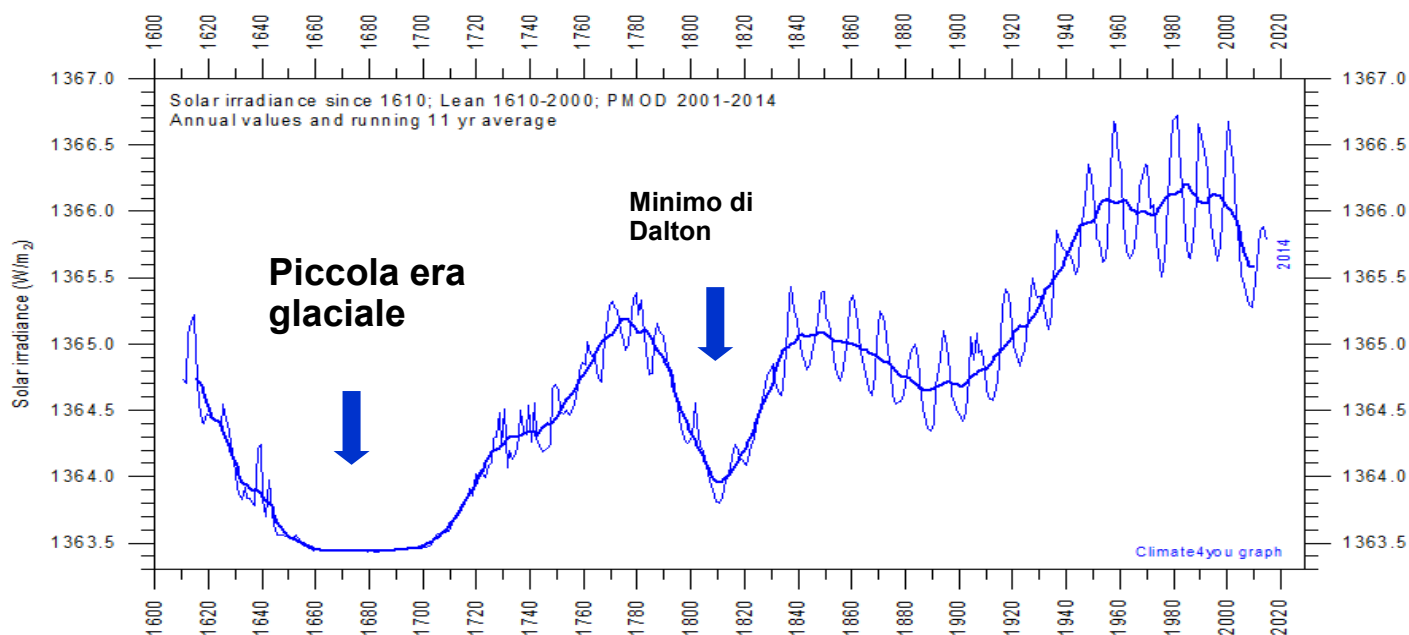


Figura 10

Ci sono molto probabilmente sistemi di amplificazione dell'influenza dell'attività solare sul clima terrestre per ora non chiaramente spiegati. Uno possibile, ma per ora non sicuro, potrebbe trovarsi nell'ipotesi proposta da H. Svensmark, secondo cui la riduzione del vento solare, associata alla riduzione delle macchie solari, porta a un aumento della copertura nuvolosa sulla Terra. In base a questa ipotesi la catena di azione sarebbe la seguente: *meno macchie solari > Sole meno attivo > diminuzione del campo magnetico solare > aumento del flusso di raggi cosmici > aumento della copertura delle nubi a bassa quota > clima più freddo.* A conferma di questa ipotesi sta il legame stretto, rilevato nel periodo tra 8340 e 7900 anni fa, in una stalagmite in Oman, tra la concentrazione di C^{14} , indicatore del flusso di raggi cosmici, e quella di O^{18} , indicatore indiretto del clima terrestre riportato nella Figura 12.

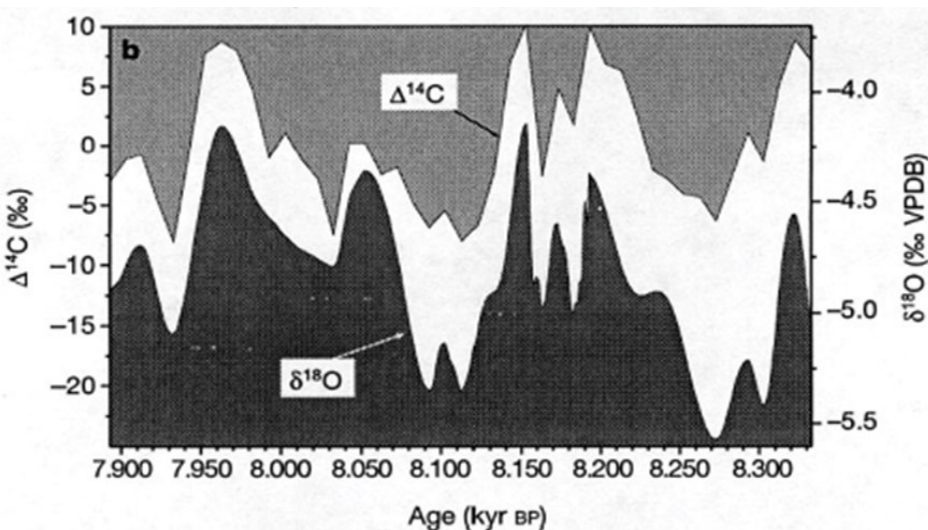


Figura 11 - Legame tra O^{18} (proxi del clima) e C^{14} (indicatore del flusso di raggi cosmici) in una stalagmite in Oman tra 8350 e 7900 anni fa. Fonte U. Neff et Alii

Influenza dell'attività vulcanica

Le eruzioni vulcaniche, sia quelle sotto gli oceani poco evidenti ma molto influenti, sia quelle sulla Terra ferma, possono avere un ruolo importante sul clima globale. Il periodo dal 535 al 550 dC è passato alla storia come un periodo molto freddo con condizioni meteorologiche estremamente anomale che causò una grave carestia (il Sole appariva oscurato come durante un'eclisse), recentemente si è capito che ciò avvenne a causa di un'eruzione vulcanica in Islanda avvenuta tra il 535 e il 536. In figura 12 è presentato l'andamento della temperatura terrestre e dell'irradianza solare, in corrispondenza di gravi eruzioni vulcaniche, in particolare l'eruzione del vulcano Tambora nel 1815 che causò nel 1816 una significativa riduzione della temperatura nell'emisfero nord tanto da essere rimasto nelle cronache come "anno senza estate".

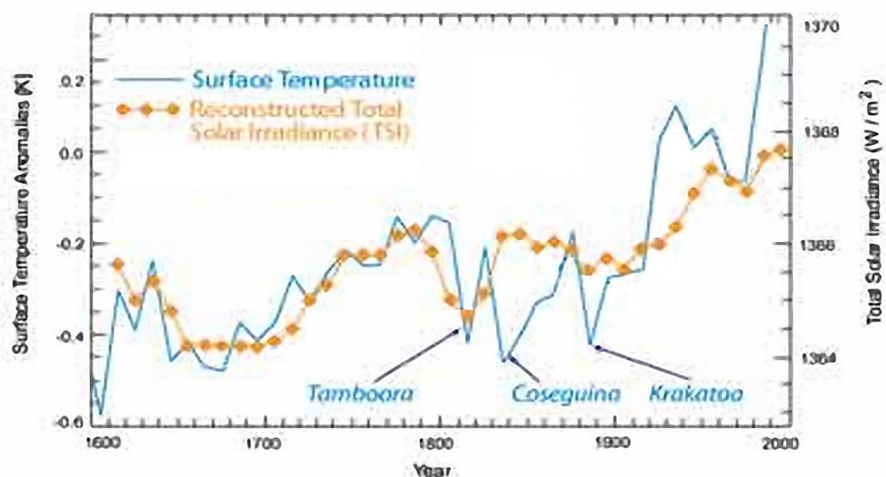


Figura 12 - Andamento dell'irradianza solare e della temperatura superficiale sulla Terra negli ultimi 400 anni (sono evidenziate alcune anomalie dovute a forti eruzioni vulcaniche) - Fonte J. Esper, E.R. Cook, and F.H. Schweingruber (2002)

Più recentemente, nel 1991, l'eruzione del vulcano Pinatubo portò a una significativa riduzione della Tgm come risulta dalla figura 13.

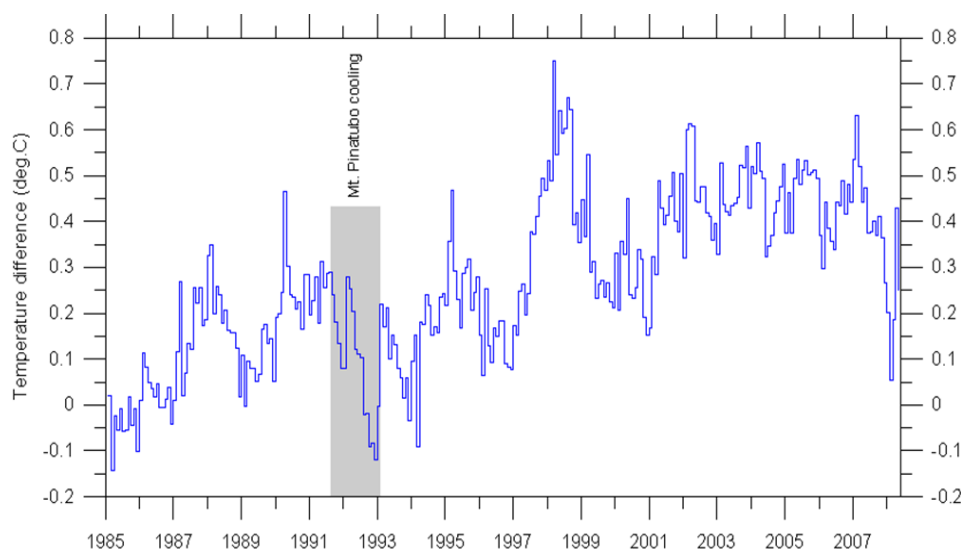


Figura 13 - Effetto della eruzione del vulcano Pinatubo (giugno 1991) sulla Tgm durata fino alla fine del 1992. Fonte HadCRUT global monthly temperatures

Influenza delle correnti marine

Il ciclo PDO (*Pacific Decadal Oscillation*) è una variazione del clima dell'Oceano Pacifico con una ciclicità abbastanza regolare con periodo dell'ordine di decine di anni in cui sono evidenti anche i fenomeni di El Niño (fig. 14). Le cause del ciclo PDO non sono conosciute, però si nota una ciclicità correlata con l'andamento della Tgm.

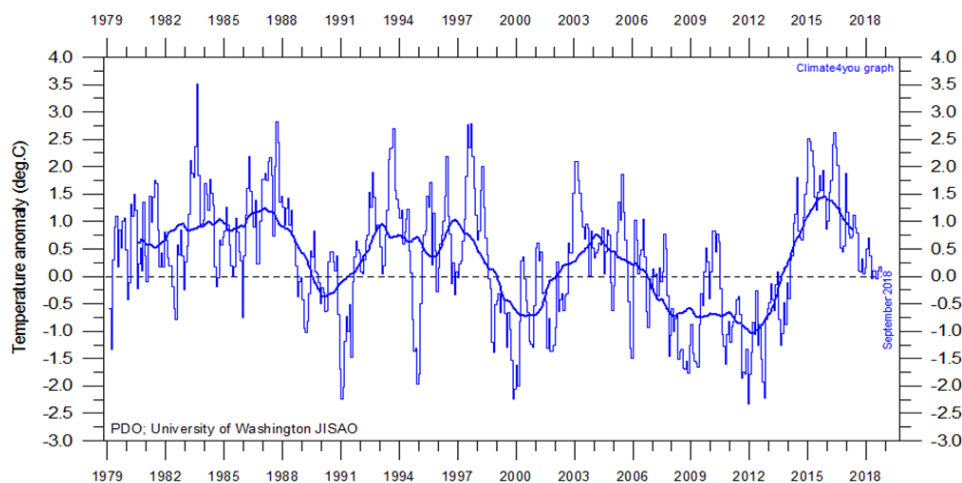


Figura 14 PDO variazione della T dell'Oceano Pacifico.
Fonte University of Washington JISAO

El Niño e la Niña

El Niño è un evento naturale noto da migliaia di anni che si verifica nella zona centro meridionale del Pacifico. Esso pare sia associato ad un flusso superficiale di acqua calda che in alcuni periodi, senza particolare regolarità, si riversa contro la costa occidentale del Sud America, sviluppando enormi formazioni nuvolose che pervadono tutta la troposfera sia verso sud che verso nord. Questo comporta sensibili modifiche delle temperature e della piovosità in varie parti della Terra e lascia il suo segno anche sulla Tgm e sulla concentrazione di CO₂ nell'atmosfera.

El Niño è di solito, ma non sempre, seguito dall'evento "La Niña" che comporta invece nelle stesse zone un raffreddamento del clima. Il ciclo complessivo di El Niño e La Niña è denominato ENSO (El Niño Southern Oscillation). Nella figura 14 sono evidenziati dal 1958 ad ora:

- nella parte bassa l'indice Oceanic Niño Index (ONI) un indice di temperatura in °C descrittivo del ciclo ENSO con evidenziati episodi di caldo (El Niño, se ONI > +0.5°C; linea rossa tratteggiata) e episodi di freddo (La Niña se ONI < -0.5°C; linea blu tratteggiata); si può notare una notevole variabilità sia nella tempistica che nell'intensità dei fenomeni,
- nella parte alta la concentrazione di CO₂ in atmosfera.

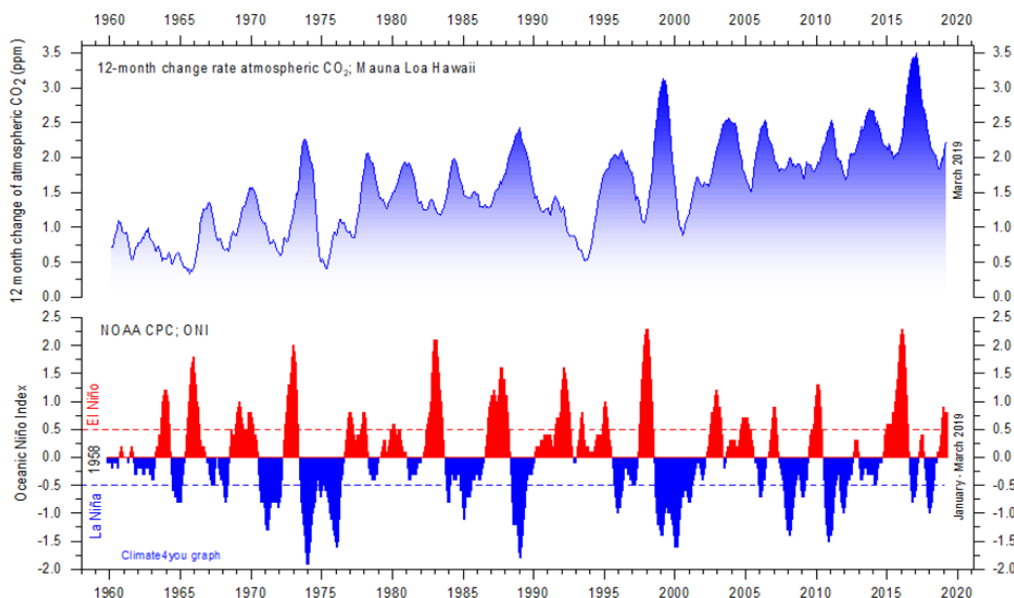


Figura 15 Diagramma in alto: Variazione annuale della concentrazione di CO₂ in atmosfera a Mauna Loa. Diagramma in basso: Indice Oceanic Niño Index (ONI) descrittivo del ciclo ENSO con evidenziati episodi di caldo (El Niño se ONI > +0.5°C; linea rossa tratteggiata) e episodi di freddo (La Niña se ONI < -0.5°C; linea blu tratteggiata).

E' evidente uno stretto legame tra i due andamenti, con la variazione annuale della concentrazione di CO₂ in atmosfera che segue, sempre con un ritardo di poco più di un anno, gli eventi del ciclo ENSO. La spiegazione più probabile è il fenomeno di degasazione degli oceani conseguente l'aumento della temperatura.

Le cause di El Nino non sono ancora pienamente conosciute e questo limita sensibilmente la prevedibilità del fenomeno. In genere si ritiene che questo fenomeno sia spiegabile da cambiamenti di direzione dei venti superficiali sul Pacifico. Altri ritengono invece che i quantitativi di energia associati a El Nino siano così ingenti da non essere giustificabili con il solo effetto dello spostamento da ovest a est dell'acqua superficiale riscaldata dal Sole e pensano che alcuni vulcani sottomarini siano la prima vera causa del fenomeno. In maggior dettaglio si tratterebbe di una catena di vulcani sottomarini posti nel Pacifico di fronte all'istmo panamense, sopra le isole Galapagos, che a seguito di eruzioni riscalderebbero la corrente fredda di Humboldt proveniente dall'Antartide che lambisce tutta la costa occidentale del sud America prima di indirizzarsi verso ovest e poi ritornare verso est.

Anche nell'Oceano Atlantico è attiva una imponente circolazione oceanica (AMOC) che condiziona significativamente il clima del Nord America e dell'Europa lasciando una rilevante impronta anche sul clima globale. Anche per questa corrente è stato istituito un indice (AMO) legato alla temperatura superficiale del Nord Atlantico. Esso è rappresentato in figura 16 dove si presentano due versioni di questo indice in buon accordo tra loro.

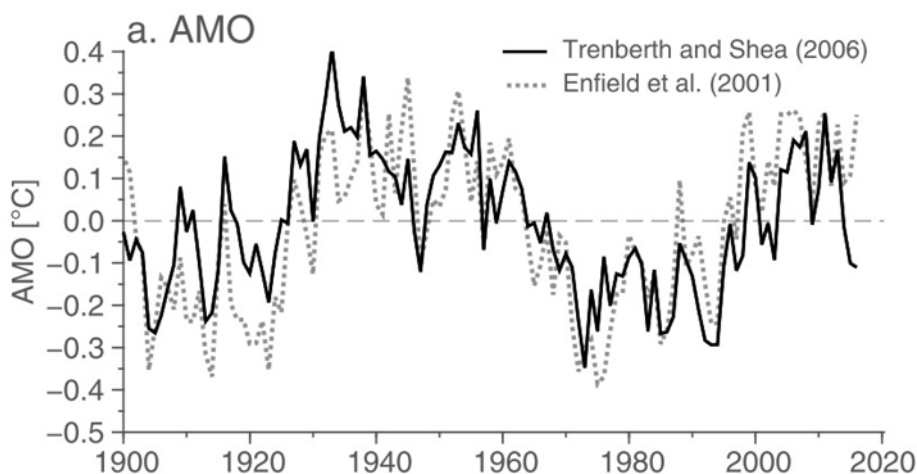


Figura 16 - Indice AMO in °C descritto attraverso l'Indice di Trenberth e Shea (2006) e l'indice di Enfield et al. (2006) in funzione degli anni (1900-2017).

Conclusione

In questa prima parte, si è cercato di delineare quali siano i più significativi fattori "natural" che influenzano i cambiamenti climatici del nostro pianeta e di farne apprezzare la grande complessità.

Nella seconda parte, tratteremo l'influenza dell'effetto serra sul clima, che, pur essendo anche esso un fenomeno naturale (senza il quale non ci sarebbe vita sulla Terra) può subire una perturbazione antropica dovuta all'utilizzo dei combustibili fossili e alla conseguente emissione di CO₂ in atmosfera.

*Ernesto Pedrocchi (Professore emerito di Energetica al Politecnico di Milano)
Adalberto Porrino (è stato ricercatore presso Enel Ricerca e CESI s.p.a.)*

Note

1. Ralph Ellis, Michael Palmer: *Modulation of ice ages via precession and dust-albedo feedbacks*
2. Peter Deneen: *How Dust From Receding Glaciers Is Affecting the Climate*
3. Gary Shaffer and Fabrice Lambert: *In and out of glacial extremes by way of dust-climate feedbacks*

Bibliografia

Ernesto Pedrocchi: "IL CLIMA GLOBALE CAMBIA. QUANTA COLPA HA L'UOMO?" Società Editrice ESCULAPIO (*in uscita la nuova edizione*).