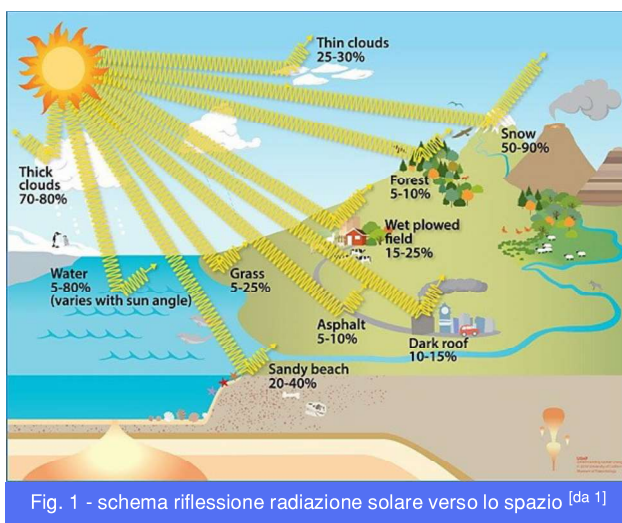


SULLE CAUSE (E LE NON CAUSE) DEL GLOBAL WARMING

di Guido Lovati - CAI-ONC-ASE
sez. di Vimercate
Società Meteorologica Italiana,

Noi tutti che frequentiamo le Alpi siamo diretti testimoni delle conseguenze del riscaldamento climatico in atto, con il ritiro dei ghiacciai su quote sempre più elevate e in molti casi la loro scomparsa nel giro di pochi anni: questo è un effetto assolutamente evidente ai nostri occhi, le cui cause non ci sono altrettanto evidenti. Alcuni sostengono che questo riscaldamento che stiamo registrando ormai da decenni possa essere causato da un *aumento temporaneo della radiazione solare che arriva sulla nostra Terra*, o da altre cause “esterne”, piuttosto che come conseguenza diretta dell’attività industriale dell’uomo. Apparentemente ciò potrebbe sembrare ragionevole o possibile. Ma vediamo come stanno in realtà le cose. La radiazione solare ha certamente una significativa influenza sul budget energetico del nostro pianeta: quella che attraverso l’atmosfera raggiunge la superficie della Terra e ne viene assorbita è comunque una porzione di quanto ci arriva dal Sole, poiché essa viene in parte riflessa verso lo spazio dalle nubi, sia quelle alte, sia quelle basse, dagli aerosol presenti nell’atmosfera (da inquinamento o da eruzioni vulcaniche) ma anche, in qualche misura, dalla superficie stessa del terreno, più o meno riflettente (vedi Fig. 1) [1]: è noto che, se le superfici scure (come l’asfalto di una strada, ma anche un bosco) la assorbono quasi tutta, al contrario le superfici chiare, come la neve, la riflettono in grandissima parte (è l’effetto “albedo”). Per questo motivo, la fusione della superficie di ghiaccio e neve dell’Oceano Artico, dove la radiazione solare raggiunge in aree sempre più vaste l’acqua del mare (scura) invece della sua superficie gelata o innevata (di colore bianco), ha innescato un feedback “positivo” (ovvero

che si sta auto-alimentando), provocando quindi l’accelerazione del riscaldamento delle aree alle più alte latitudini (nonostante il fatto che queste ricevano la radiazione in arrivo con un angolo d’incidenza mediamente più basso rispetto alle altre zone più lontane dai poli) / si veda anche la Fig. 7.



La radiazione solare (TSI) che raggiunge la Terra si misura in W/m^2 , *quella che raggiunge l’atmosfera esterna* vale in media $1361 W/m^2$, di questa energia la quota che arriva alla superficie terrestre è circa il 70% [2]; le misure della TSI, fatte dal 1978, mostrano minime oscillazioni, entro 0.1% ; valori relativi ai periodi precedenti sono invece stimati dalle osservazioni delle macchie solari (dal 1610) e dai radioisotopi nell’atmosfera, archiviati nelle bollicine d’aria contenute nelle carote di ghiaccio dell’Antartide e negli anelli di crescita degli alberi [3].

Mi è stato richiesto di fornire dati sul fatto che l’effetto di Global Warming (cioè Riscaldamento Cli-

matico Globale, in atto in tutto il nostro pianeta Terra) *non possa essere spiegato con cause diverse dall'aumento dei gas serra, come in effetti è*, a causa dell'immissione di CO₂ di origine antropica (da combustibili fossili – in atto dall'inizio della “rivoluzione industriale”) nell'atmosfera, ***cosa che ovviamente è nostro urgente compito attuale contribuire a mitigare***. Vi sono alcuni (pochi, purtroppo anche alcuni scienziati, che influenzano persone che non vogliono credere alle evidenze, ma piuttosto cercano sempre qualcosa che starebbe “dietro” alla realtà delle cose) che ritengono che vi siano *invece* cause “esterne” di tipo astronomico, caratterizzate da oscillazioni periodiche piuttosto regolari, cosa che rende più facile la ricerca di correlazioni. Spero che l'analisi che propongo possa fornire elementi per confutare tali credenze infondate.

Vediamo quindi quali potrebbero in teoria essere queste cause, tutte di tipo astronomico: ad ogni voce della lista è associato il numero corrispondente al relativo ciclo in anni (per una causa che varia nel tempo, un ciclo rappresenta gli anni che intercorrono tra due momenti nei quali tale causa raggiunge un livello massimo oppure minimo) ^[4]:

- a. variazioni della radiazione solare, ovvero dell'energia che la Terra riceve dal Sole (ciclo di Schwabe, 11 anni)
- b. precessione dell'asse terrestre (20ka)
- c. variazioni nella obliquità della rotazione terrestre rispetto al piano dell'eclittica (40.7ka)
- d. variazioni dell'eccentricità dell'orbita terrestre (100ka)
- e. rotazione del sistema solare attorno al centro della galassia (200Ma)
- f. rotazione della nostra galassia attorno al centro mega-galattico (1300Ma)

Alla ricerca della verifica di un rapporto di causa-effetto, per prima cosa dobbiamo oggi escludere le cause che hanno un ciclo troppo lungo, per questo motivo logicamente non relazionabili con il *veloce aumento della temperatura* che stiamo misurando da vari decenni; dobbiamo infatti riconoscere come i cambiamenti che stiamo registrando in queste ultime decine di anni, appunto

per la loro velocità, **NON** possono essere certamente correlabili con cicli - estremamente lunghi - di variazione di cause “esterne”. Tutto ciò senza disconoscere che tali cause hanno per certo influito sulle molte variazioni del clima succedutesi nel corso della storia della Terra: tra l'altro, per effetto della causa (b.) dovremmo essere circa alla metà di un periodo “freddo”... In conclusione, *solo la causa (a.) potrebbe (eventualmente) essere considerata in questa analisi, dato il suo breve ciclo*.

Ma prima di addentrarci nella discussione può essere utile ricordare alcuni fatti indiscutibili:

- √ attualmente siamo in un periodo caldo interglaciale, detto **Holocene**, iniziato circa **10.000 anni fa**, dopo l'ultima glaciazione;
- √ durante tale periodo vi sono state varie e significative fluttuazioni delle temperature, sia verso l'alto (10.000-5.000 anni fa) sia verso il basso (in varie occasioni negli ultimi 5.000 anni); il periodo con la più importante riduzione delle temperature è quello noto come **LIA (Little Ice Age – Piccola Era Glaciale)** nella quale, pur con differenze regionali, si è registrato un evidente aumento dell'estensione delle aree glaciali (**le morene che vediamo nelle nostre valli alpine, lasciate dai ghiacciai in ritiro verso le quote più alte dopo la LIA, ne sono la diretta testimonianza**); la durata della LIA non è facilmente definibile, lo si può fare sulla base delle anomalie di temperatura ($-\Delta T$) nell'emisfero Nord rispetto al livello medio 1961-1990 ^[5]. A soglie di anomalia negativa più o meno grandi possono corrispondere periodi di inizio/fine della LIA più o meno lunghi nel tempo: le date di inizio/fine della LIA sono posizionabili **tra il 1300/1450 e il 1850/1900**:
 - la fase più fredda della LIA (LIA1) ($\Delta T = -0,55$ K dalla media 1961-90 nell'emisfero nord) è databile per un periodo di quasi 20 anni poco prima dell'anno 1700
 - un periodo più lungo (LIA2) (considerando una $\Delta T = -0,37$ K) è invece databile tra prima del **1600** e il 1750
 - un ulteriore periodo ancora più lungo (LIA3)

(considerando una $\Delta T = -0,25$ K) va dal **1450** al 1920

- la ricostruzione delle temperature è possibile attraverso la concentrazione degli isotopi C14 e Be10 nei tronchi degli alberi e nelle carote di ghiaccio.

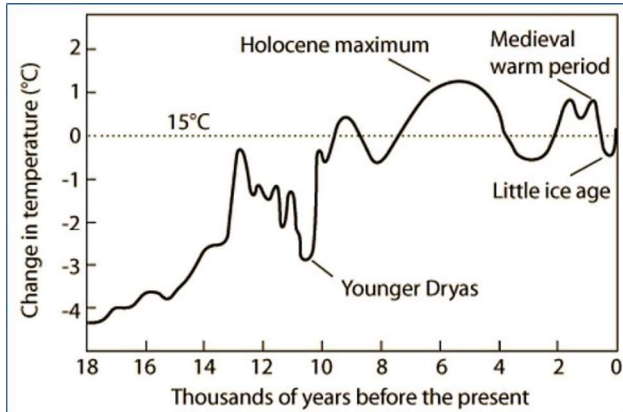


Fig. 2 - andamento della temperatura negli ultimi 18.000 anni - dall'era glaciale al presente [da 6]

La Fig. 2 mostra l'andamento delle temperature medie negli ultimi 18.000 anni [6], che comprendono il periodo dell'Holocene: vi riconosciamo forti fluttuazioni, ma sempre registrate su tempi lunghissimi.

√ La radiazione solare in arrivo sulla Terra, a parte il noto ciclo di 11 anni, ha avuto negli ultimi 700 anni un lungo periodo di fortissima riduzione, detto **Minimo di Maunder**, nel quale le macchie solari (rilevate tramite telescopio) sono state vicine a zero/mese: ciò è databile con certezza (grazie a Galilei), **tra il 1637 e il 1719** [5] [7];

- è qui utile notare che durante il Minimo di Maunder la riduzione della radiazione solare in arrivo sulla Terra è stata di solo 1 W/m², da confrontarsi con i 1361 W/m² di periodi "normali", ovvero di meno di 0,1% [8]
- vi sono stati altri periodi successivi di minore attività solare, ma meno consistenti, in particolare quello nel primo quarto del 1800 [7] [8].

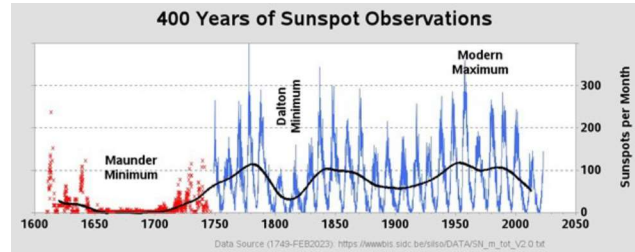


Fig. 3 - osservazione delle macchie solari per anno dal 1610 [da 7]

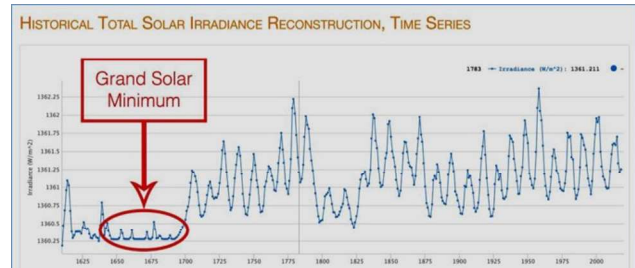


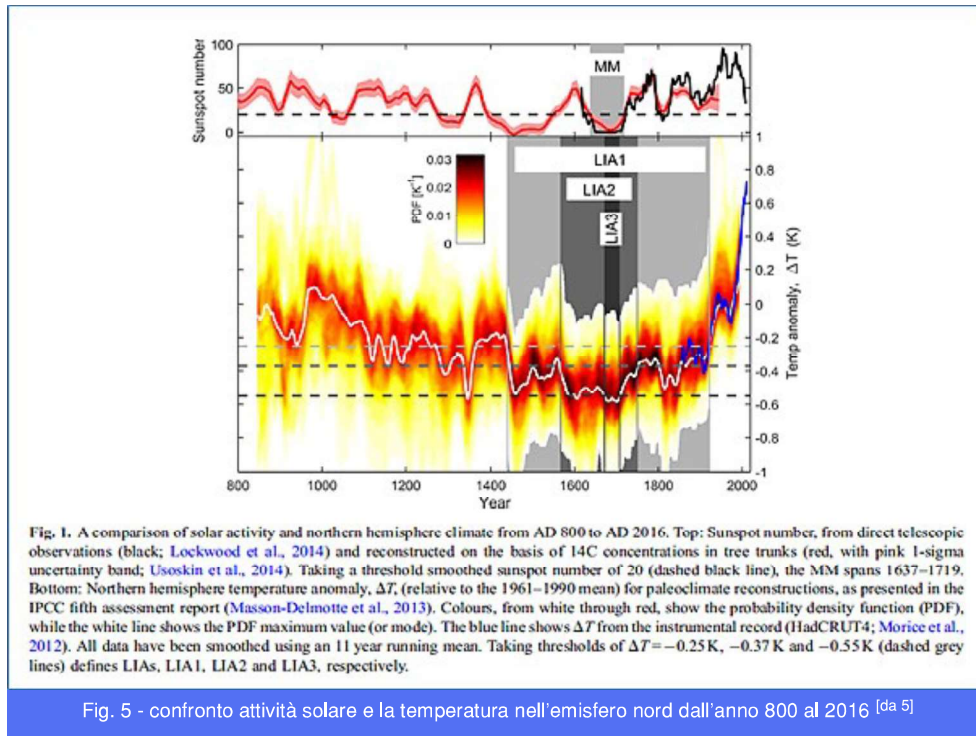
Fig. 4 - Ricostruzione delle misure della radiazione solare dal 1610', con il Minimo di Maunder [da 8]

E' innegabile che variazioni della radiazione solare che raggiunge la superficie della Terra possano produrre qualche effetto sul clima del nostro pianeta. Vediamo però un punto molto interessante: è spesso indicato, citato molto nella stampa divulgativa non specializzata, ma anche in alcune pubblicazioni di fisica solare, che vi sarebbe una relazione diretta tra la LIA e il Minimo di Maunder: secondo queste posizioni, *la LIA sarebbe quindi stata effetto della riduzione dell'attività solare in quel periodo. Ma se davvero vi fosse un rapporto di causa-effetto, la causa dovrebbe essere temporalmente situata "prima" dell'effetto:* invece non è stato così, dato che **la LIA inizia ben prima** (tra il 1350 e il 1450) **degli anni del Minimo di Maunder** (1637-1719)!

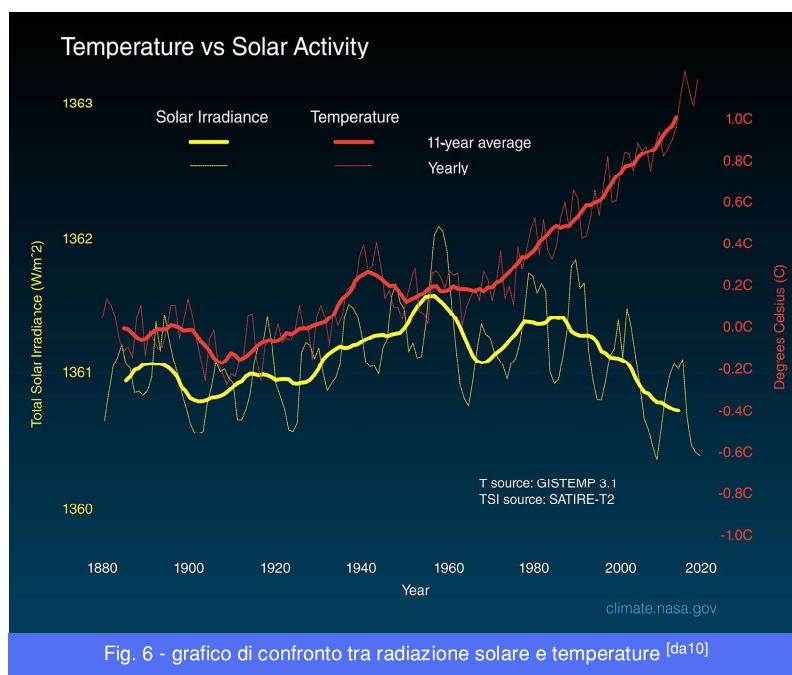
A mio parere, fa molta chiarezza in merito l'ottimo articolo pubblicato nel 2017 da M Owens et al. sul *Journal of Space Weather and Space Climate* [5] La Fig. 5 è tratta da tale articolo: è piuttosto complessa, ma in sintesi possiamo vedere come confronta l'andamento delle macchie solari con le anomalie di temperatura per l'emisfero Nord, evidenziando il periodo della LIA, con i tre intervalli temporali, sulla base dei valori di anomalia negativa in precedenza discussi. Owens fa poi notare come alle fasi più fredde della LIA sia possibile

associare significativi eventi singoli e periodi di intensa attività vulcanica, che hanno ridotto la trasparenza dell'atmosfera terrestre (tra l'altro, ragionando sulla CO₂ immessa nell'atmosfera, le eruzioni vulcaniche ne immettono molta di meno, dell'ordine delle 100 volte, delle attività umane [9].

Se è vero che è impossibile concludere che una associazione temporale di eventi possa di per sé implicare un rapporto di causa-effetto (quando agiscono cause molteplici), una tale associazione temporale nemmeno esiste tra le date che definiscono il Minimo di attività solare e la LIA.



Tornando ai nostri tempi, vediamo ora di confrontare due curve relative agli ultimi 140 anni e vediamo se sono in accordo l'una con l'altra.



Il grafico ^[10] presenta le variazioni della Radiazione Solare Totale (TSI – watt/m²) ricevuta dalla superficie terrestre, misurata dal 1880 ad oggi, da confrontare con le variazioni della temperatura misurata alla superficie della Terra (le fonti per entrambi i dati sono indicate). Le linee sottili sono i dati annuali, mentre le linee spesse rappresentano la media su 11 anni, che serve per riconoscere i trend in atto, riducendo il “rumore” delle variazioni di anno in anno.

Quello che possiamo ben riconoscere è che, a parte le piccole oscillazioni cicliche che si misurano nella Radiazione Solare in arrivo sulla superficie terrestre (linea gialla), dal 1950 NON si ha più quel limitato trend di aumento (inferiore a 1W/m²) fino a quell'anno registrato, anzi si misura una riduzione dal 1990.

La linea rossa delle variazioni della Temperatura media misurata alla superficie della Terra mostra invece un netto trend di crescita, che quindi *NON può essere spiegato come effetto della causa a. = le variazioni della radiazione solare. Ovvio conclusione è che quindi l'aumento delle temperature misurate NON può dipendere da un presunto aumento* (che tra l'altro – come visto - *non si sta registrando*) della radiazione solare;

il recentissimo fenomeno di un'aurora boreale visibile alle nostre latitudini (verso fine settembre) potrebbe magari essere ripreso come prova a favore della erronea interpretazione: comunque ciò che può contare in questo contesto non sarà mai un dato puntuale, ma piuttosto un trend.

Questo grafico è importantissimo e cancella qualsiasi credenza che la causa (a.) possa spiegare l'attuale riscaldamento globale.

Un'altra prova – se ne avessimo bisogno - è che se davvero il Sole fosse il responsabile del riscaldamento globale, allora *dovremmo misurare un riscaldamento in atto per TUTTI gli strati dell'atmosfera, dalla stratosfera fino alla superficie terrestre: invece quello che si sta misurando è un RISCALDAMENTO ALLA SUPERFICIE ASSO-*

CIATO AD UN RAFFREDDAMENTO NELLA STRATOSFERA (tra -1 e -3 K negli ultimi 40 anni) ^[11]. Ciò è consistente con la tesi che il riscaldamento in atto sia effettivamente causato dall'aumento dei gas-serra negli strati vicini alla superficie terrestre e NON da un “Sole che diventerebbe più caldo o più energetico”.

Si è detto che il riscaldamento in atto è troppo rapido per poter essere condizionato da altri fattori astronomici, che certamente hanno agito nei millenni passati come con-causa delle varie Ere Glaciali che si sono succedute sulla Terra. Se consideriamo le glaciazioni o le de-glaciazioni avvenute sul pianeta Terra, in realtà dobbiamo considerare anche ben altri tipi di cause che portarono a tali effetti, ad esempio la deriva dei continenti, in particolare l'isolamento del Continente Antartico, che fu causa di grandi variazioni nelle correnti oceaniche mondiali: oggi il Continente Antartico è circondato dalla Corrente Antartica, che lo isola dal resto delle acque oceaniche, dando luogo ad un effetto minore per l'estremo Sud del mondo, a differenza di quanto si osserva per le zone Artiche.

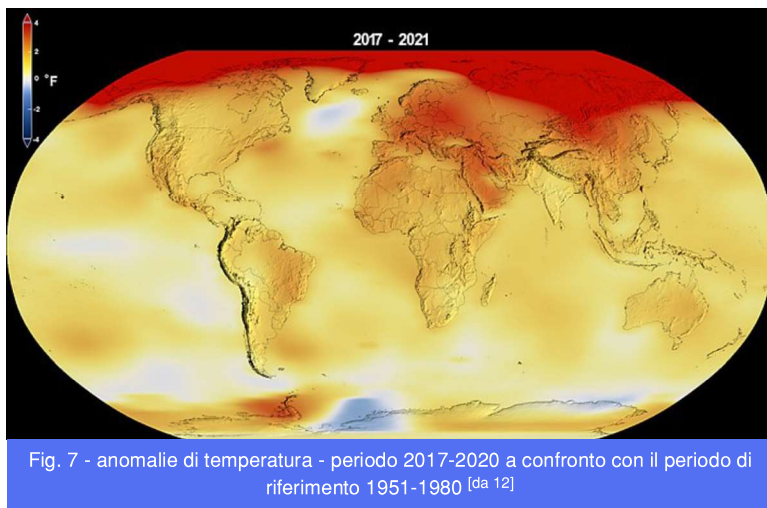


Fig. 7 - anomalie di temperatura - periodo 2017-2020 a confronto con il periodo di riferimento 1951-1980 [da 12]

E' evidente allora che l'andamento climatico del nostro non lontano futuro dipende dalla causa umana, tanto che il termine Holocene tende ad essere sostituito dal termine “Antropocene” (da *antropos* e *kainos*, che significano rispettivamente *essere umano* e *recente*), appunto per sottolineare l'effetto della causa “umana”.

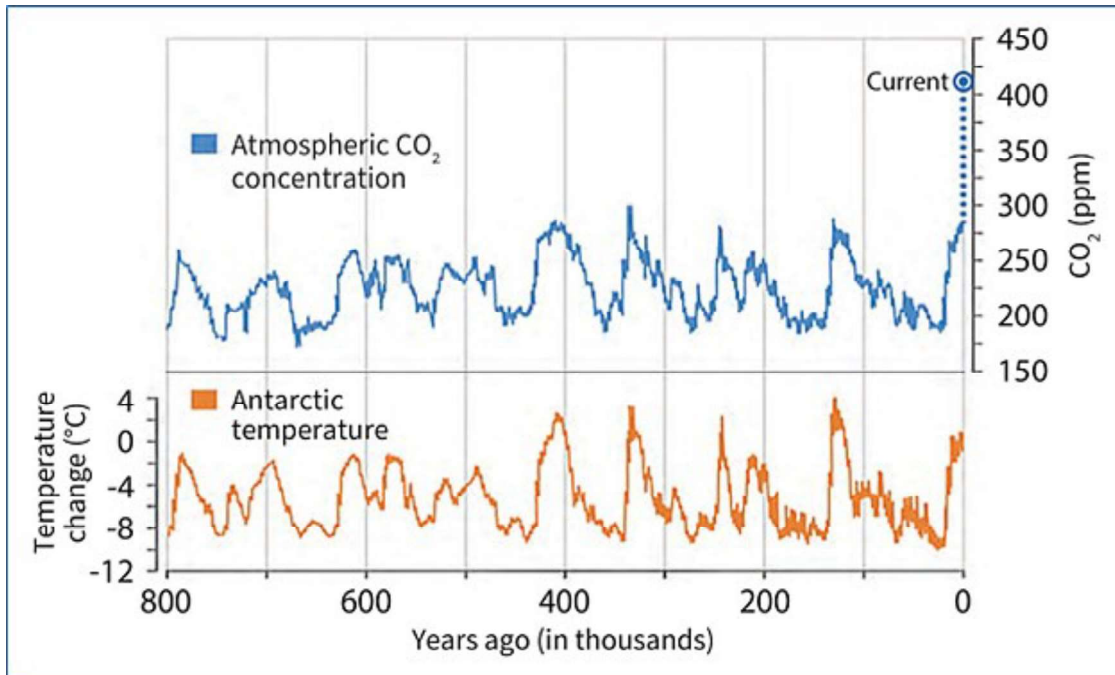


Fig. 8 - andamento della CO₂ nell'atmosfera negli ultimi 800.000 anni [da 12]
 da <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/climate-change-evidence-causes/question-7/> - update march 2020

Ritornando alla CO₂ nell'atmosfera, concludo con il grafico [da 12] che mostra le correlazioni che esistono tra i livelli di CO₂ dell'atmosfera misurati nelle carote di ghiaccio antartiche e i vari periodi glaciali e interglaciali che il pianeta Terra ha visto nella sua lunga storia degli ultimi 800ka [8]: da questa figura si possono trarre due considerazioni:

- l'impressionante correlazione che si nota tra l'andamento delle temperature ed i valori di CO₂ nell'atmosfera
- il fatto che dopo le fluttuazioni succedutesi nella storia del pianeta, tutte per cause certamente naturali, ora invece abbiamo superato i livelli massimi mai verificati nella storia del pianeta Terra, e questa volta l'uomo ci ha con tutta evidenza "messo lo zampino".

Riferimenti bibliografici:

- [1] <https://ugc.berkeley.edu/background-content/reflection-absorption-sunlight/> - UNDERSTANDING GLOBAL CHANGE- ABSORPTION AND REFLECTION OF SUNLIGHT
- [2] <https://earthobservatory.nasa.gov/features/SORCE> - SOLAR RADIATION AND CLIMATE EXPERIMENT
- [3] Masson-Delmotte V et al., 2013 – INFORMATION FROM PALEOCLIMATIC ARCHIVES, in CLIMATE CHANGE, 2013, p. 392 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [4] <https://climate.nasa.gov/explore/ask-nasa-climate/2949/why-milankovitch-orbital-cycles-cant-explain-earths-current-warming/> 27-Feb-2020
- [5] Owens MJ et al, THE MAUNDER MINIMUM AND THE LITTLE ICE AGE: AN UPDATE FROM RECENT RECONSTRUCTIONS AND CLIMATE SIMULATIONS, J. Space Weather Space Clim, 2017, 7, A338
- [6] <http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring15/atmo336/lectures/sec5/holocene.html> - Spring 2015
- [7] <https://blogs.sas.com/content/sastraining/2014/07/22/i-see-spots-sunspots/>
- [8] <https://www.globalclimatemedia.com/solar-energy/>
- [9] <https://skepticalscience.com/translation.php?a=28&l=17>
- [10] <https://climate.nasa.gov/explore/ask-nasa-climate/2953/there-is-no-impending-mini-ice-age/>
- [11] Steiner AK et al, OBSERVED TEMPERATURE CHANGES IN THE TROPOSPHERE AND STRATOSPHERE FROM 1979 TO 2018, Journal of Climate, 33, 1-Oct-2020
- [12] <https://svs.gsfc.nasa.gov/4964/> - GLOBAL TEMPERATURE ANOMALIES FROM 1880 TO 2021