

I cambiamenti climatici



Bruno Carli - IFAC-CNR, Firenze

Sommario

Definizione di clima e dei suoi cambiamenti

Bilancio radiativo

Effetto serra

Forzanti

Attribuzione dei cambiamenti

(Paleoclima)

Importanza

Previsioni

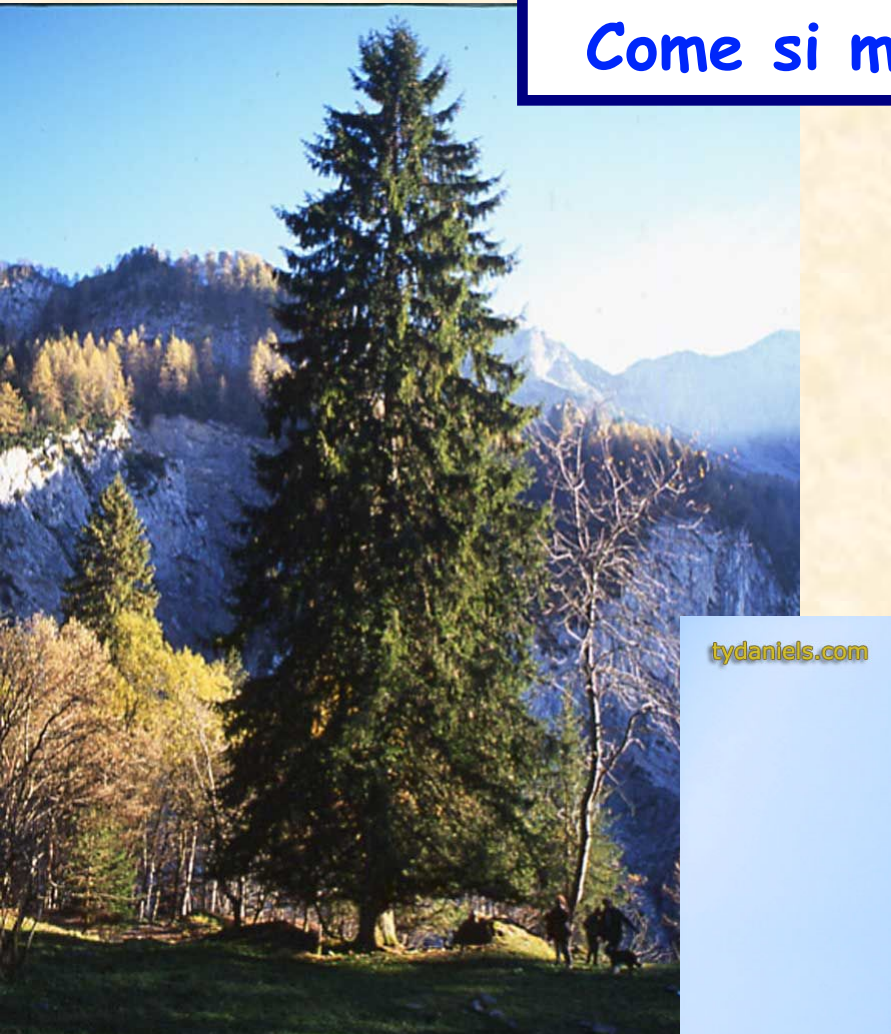
Prevenzione

Conclusioni

Definizione di clima

Il clima è definito come l'insieme delle condizioni atmosferiche (temperatura, umidità, pressione, venti...) “medie” che caratterizzano una determinata regione geografica, determinandone la flora e la fauna, e influenzando le attività economiche, le abitudini e la cultura delle popolazioni che vi abitano.

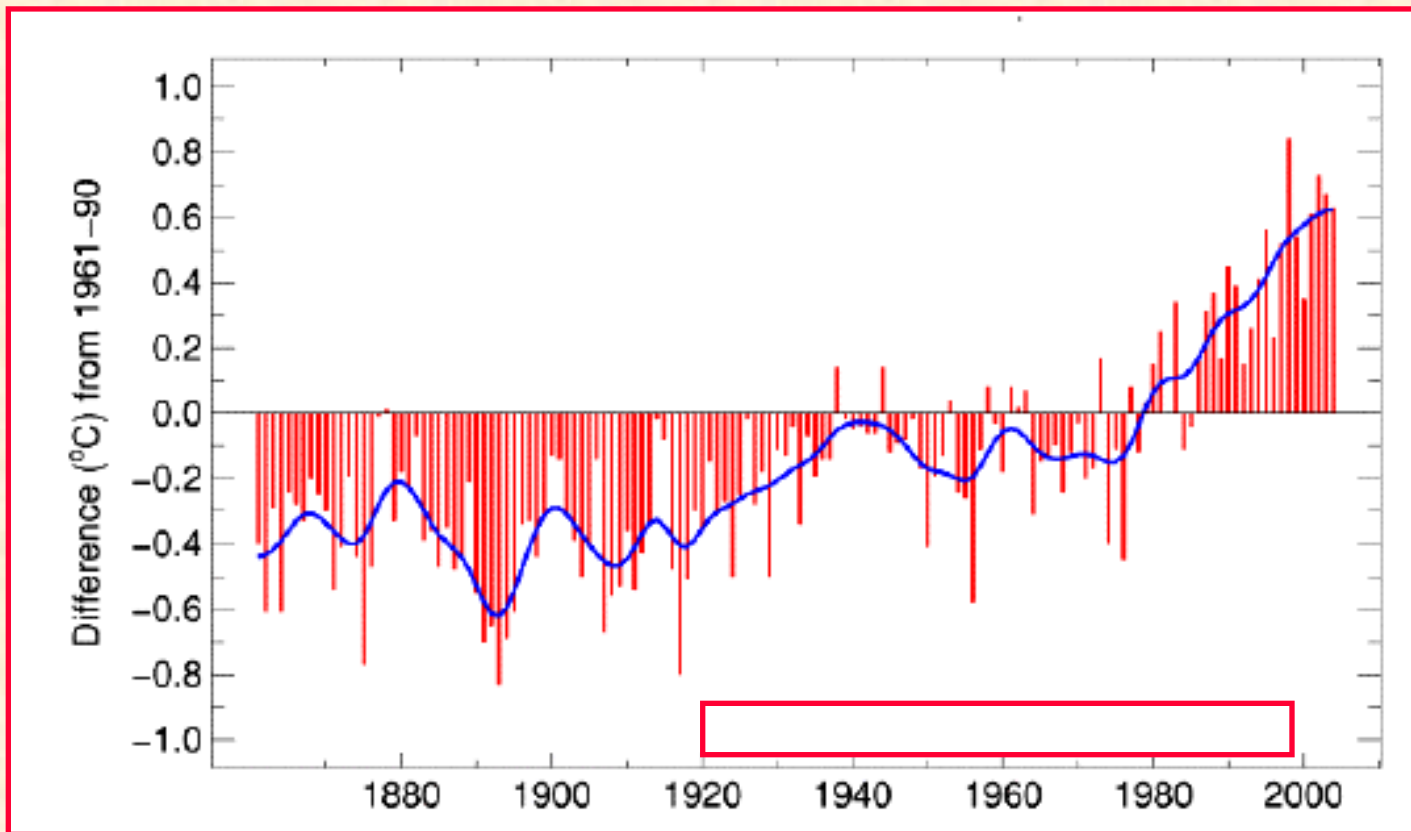
Come si manifesta il Clima



tydaniels.com



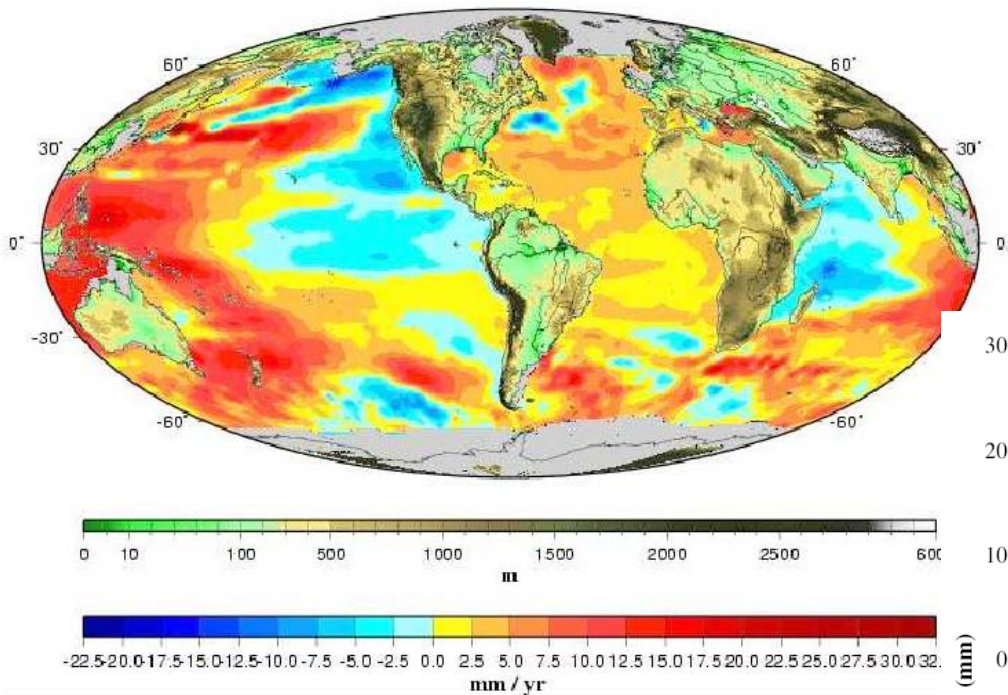
Quali sono i cambiamenti climatici



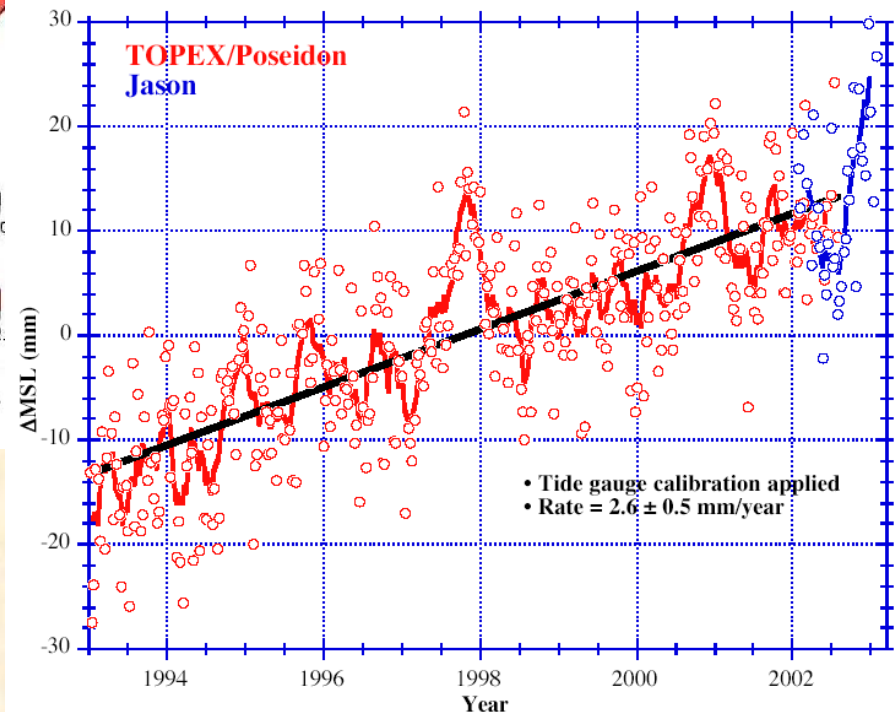
Temperatura
della Terra

Quali sono i cambiamenti climatici

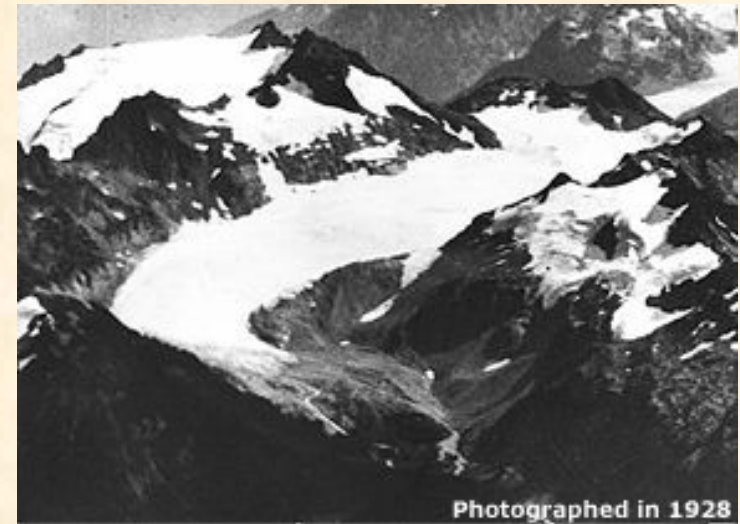
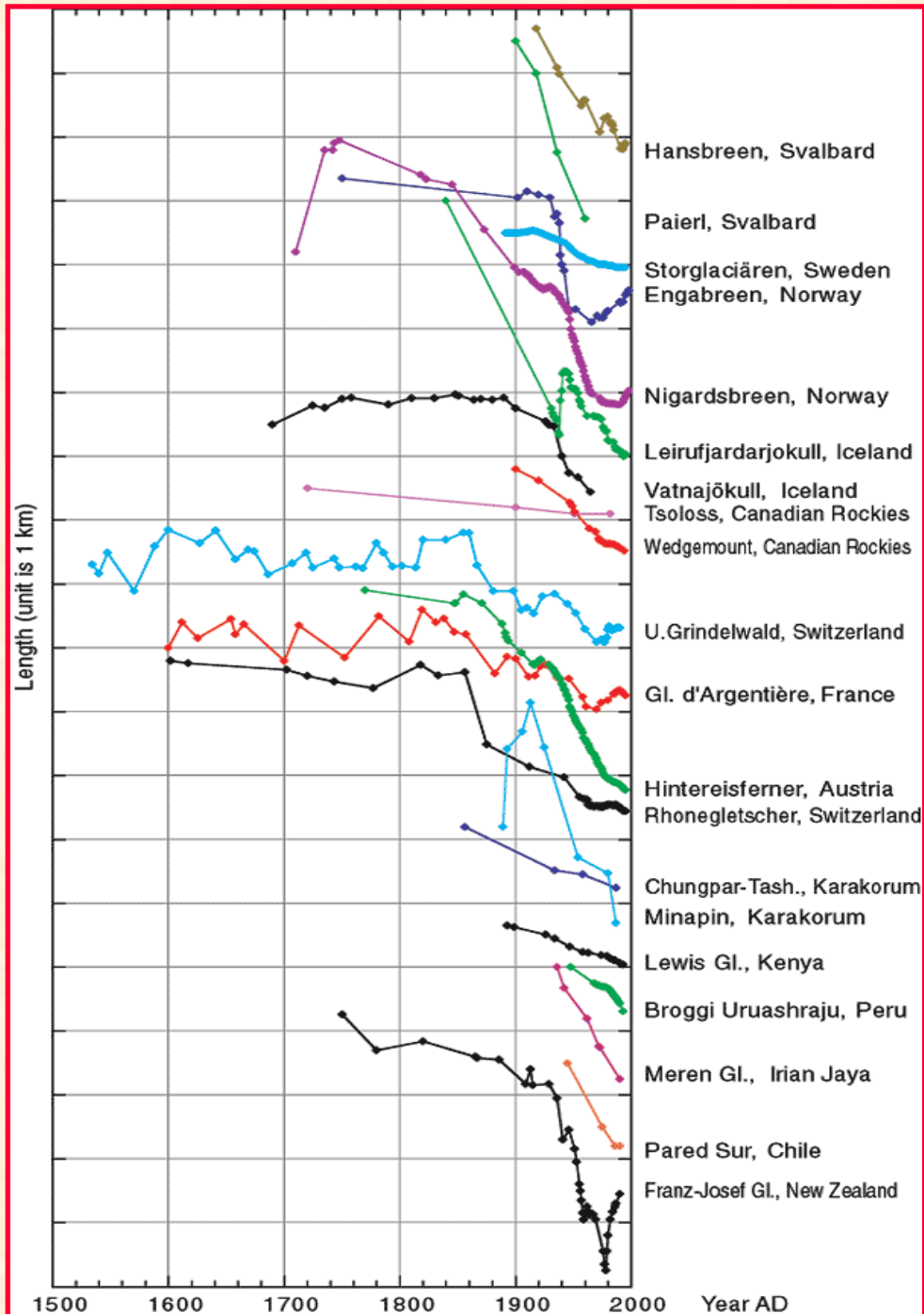
Osservazioni da satellite del livello del mare



[Figure from Cazenave and Nerem, 2003]



Arretramento dei ghiacciai



Quali sono i cambiamenti climatici

**Sparizione di specie locali
ed apparizione di specie aliene**



Falsi cambiamenti climatici



Le “bolle di calore” dovute alla cementificazione

Falsi cambiamenti climatici



Arretramento
della linea di
costa



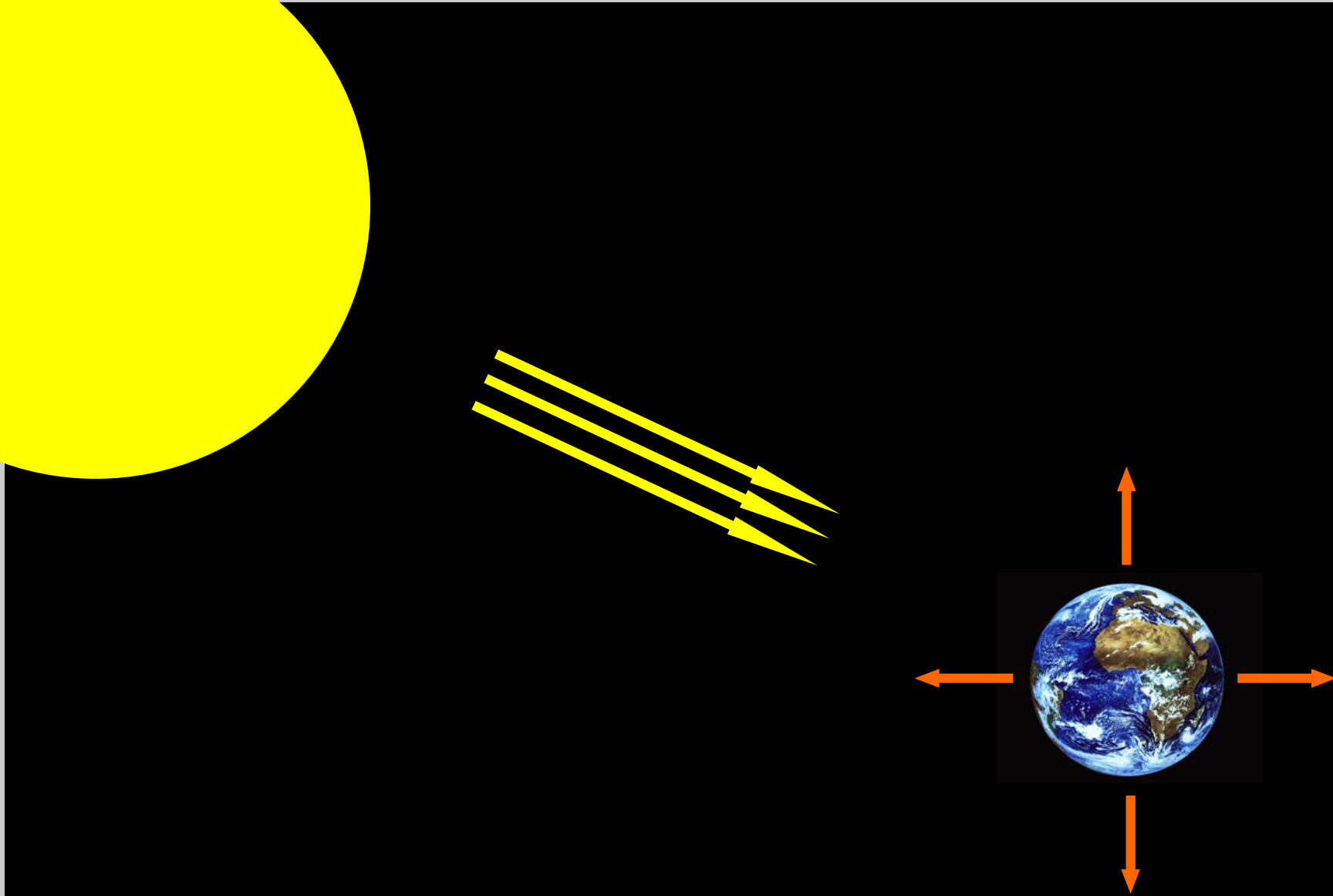
Perché i cambiamenti climatici osservati destano preoccupazione?

Per rispondere a questa domanda occorre chiarire prima di tutto quali sono i processi che controllano il clima:

- ☞ il bilancio radiativo
- ☞ l'effetto serra
- ☞ le forzanti climatiche

A dramatic sky with sunbeams breaking through clouds. The sun is partially obscured by a thick layer of white and grey clouds at the bottom of the frame. Bright rays of light, known as crepuscular rays, fan out from behind the clouds, illuminating the deep blue sky above. The overall mood is bright and powerful, symbolizing energy and radiation.

Bilancio radiativo



$$P_{\text{in}} = P_{\text{out}} + \Delta p$$

Radiazione di corpo nero

$$B(\lambda, T) = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/k\lambda T} - 1}$$

Legge dello spostamento di Wien

$$\lambda_{\max} T = b$$

Costante di spostamento di Wien

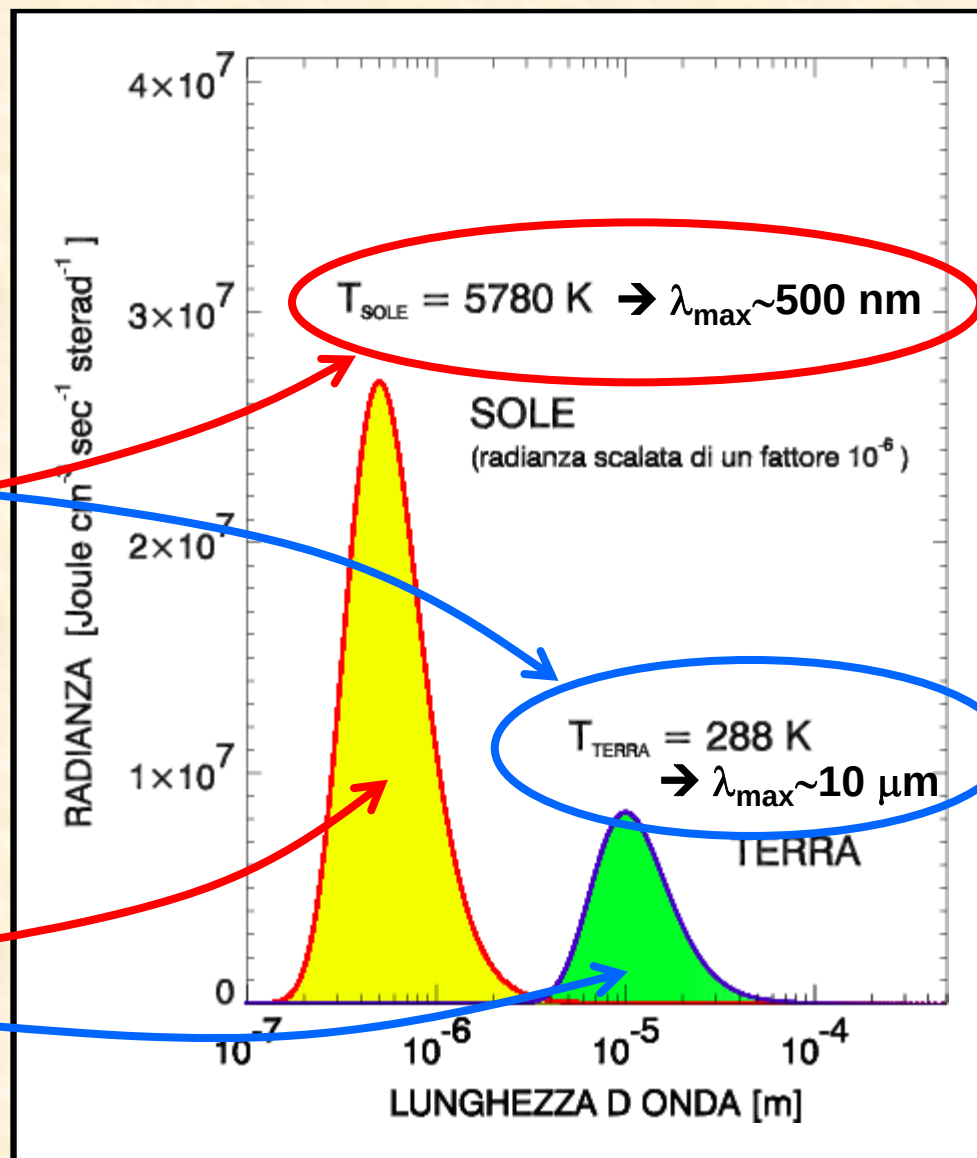
$$b = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$

Legge di Stefan-Boltzmann

$$\Phi = \sigma T^4$$

Costante di Stefan-Boltzmann

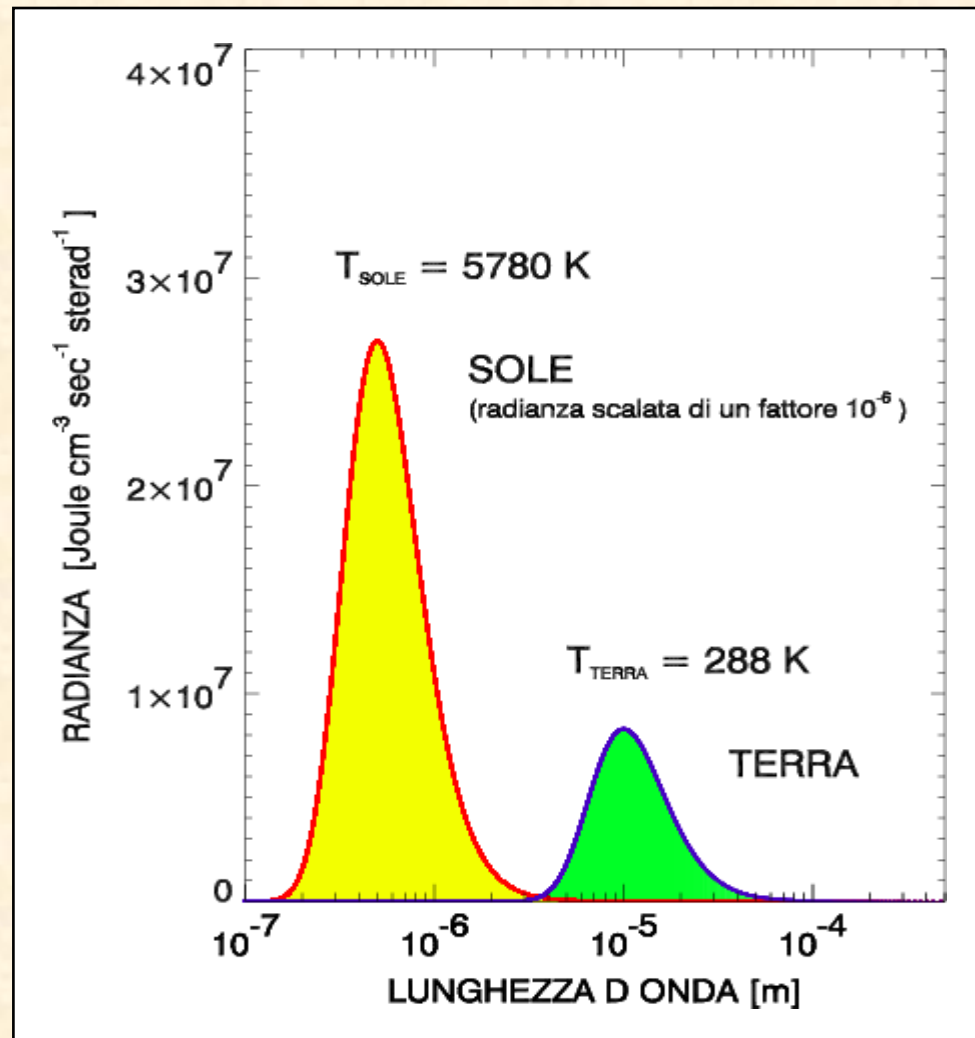
$$\sigma = 5.6704 \cdot 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$



Riscaldamento della Terra dovuto al Sole

Irradianza del Sole

$$I_S = \sigma T_S^4$$



Riscaldamento della Terra dovuto al Sole

Irradianza del Sole

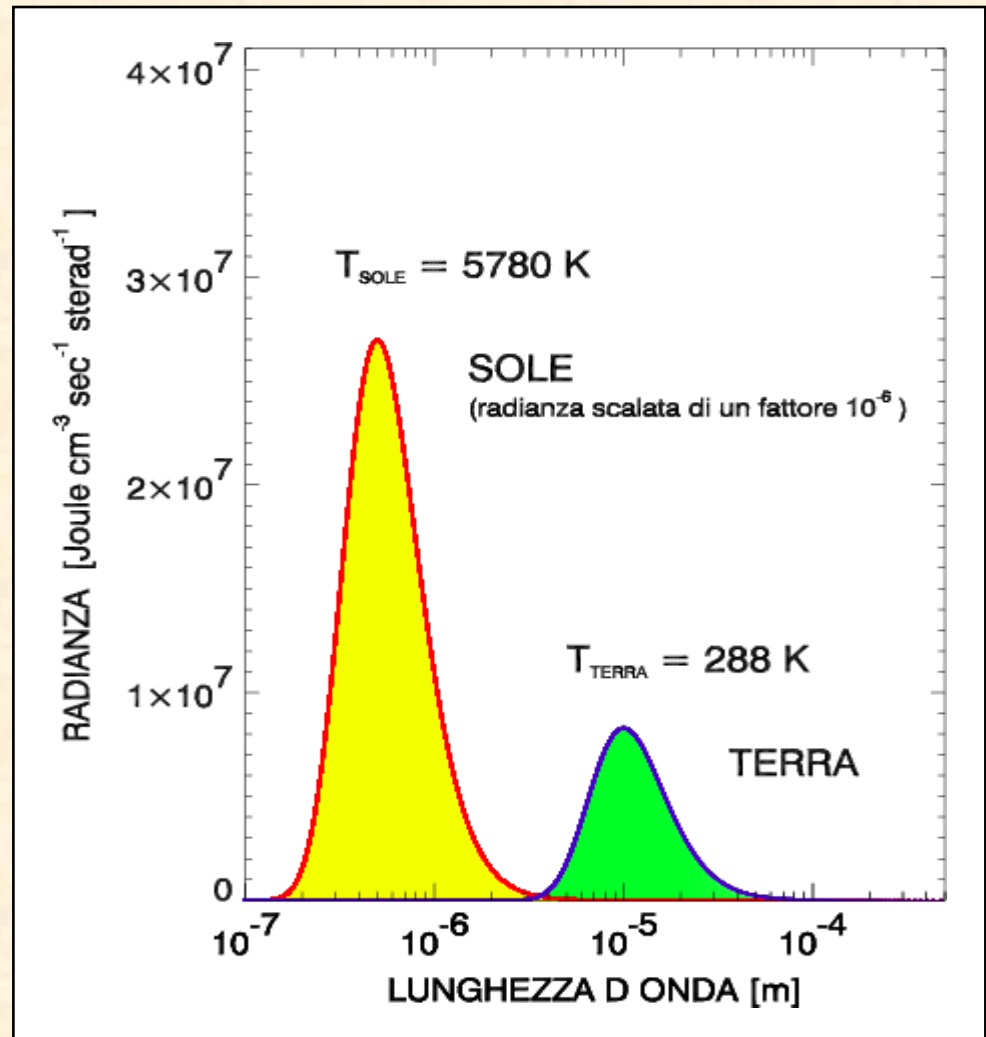
$$I_S = \sigma T_S^4$$

Riscaldamento della Terra dovuto al Sole

$$P_{IN} = k (1 - A) \sigma T_S^4$$

Albedo

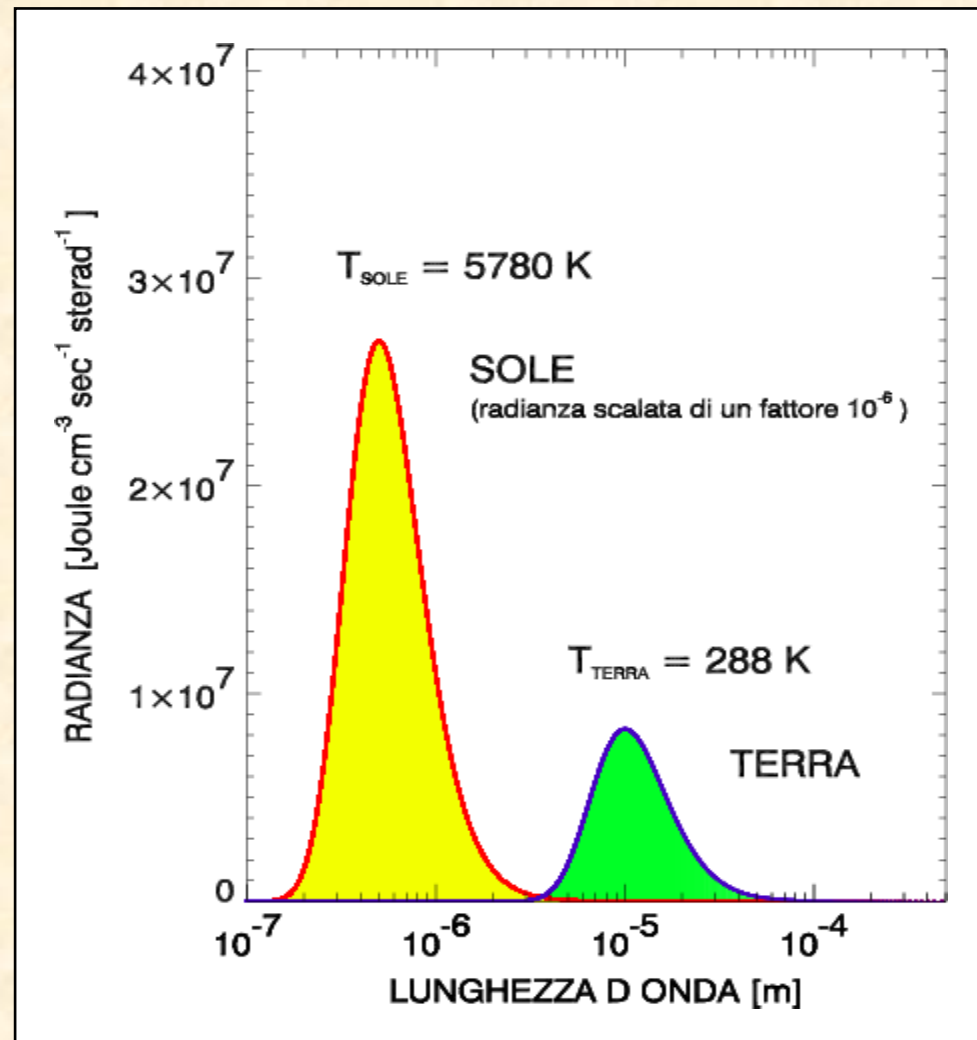
Fattore geometrico



Raffreddamento della Terra

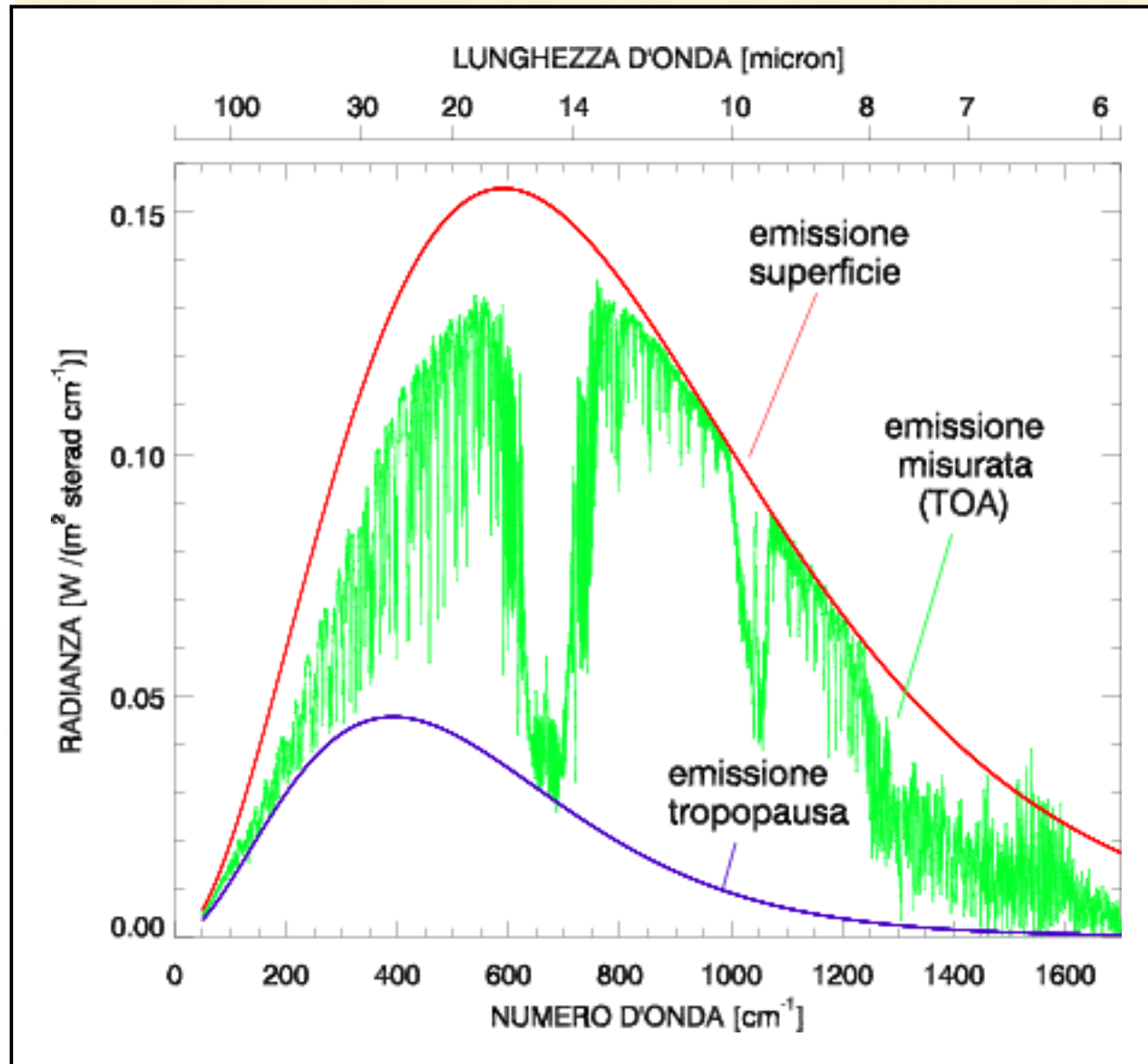
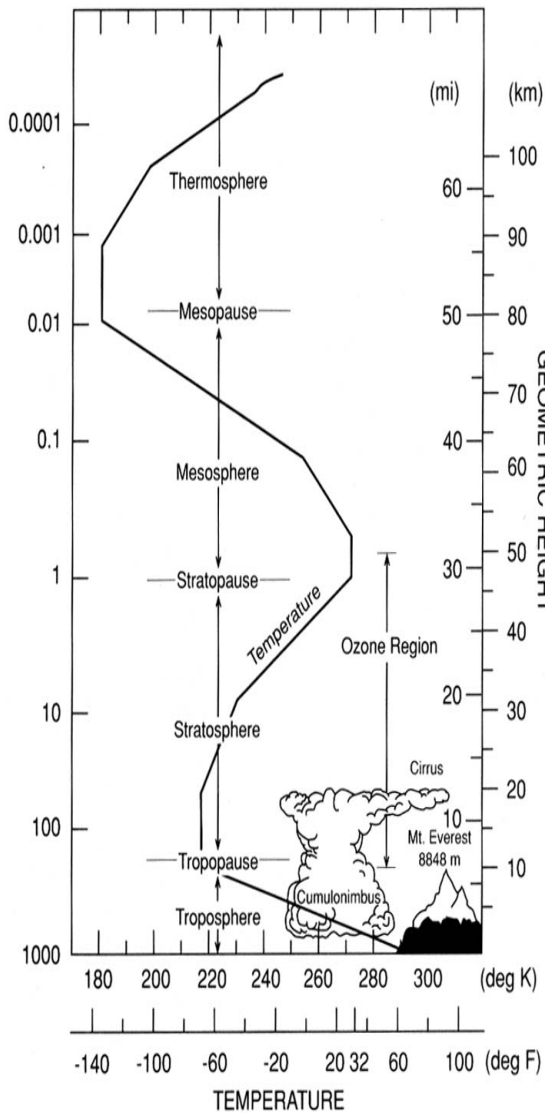
Irradianza emessa dal
Pianeta a temperatura T_E

$$I_E = \sigma T_E^4$$

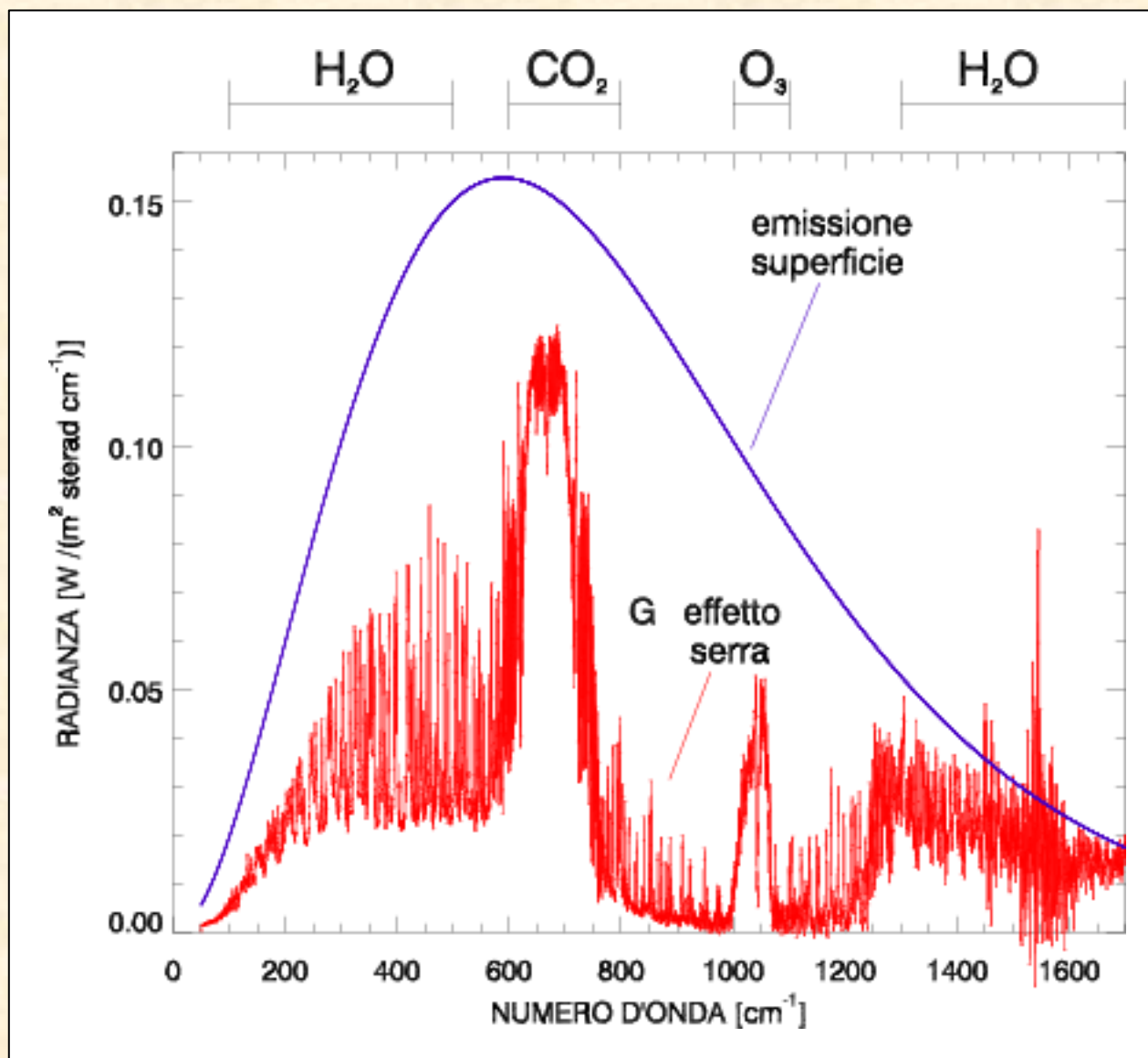


Radiazione emessa alla sommità dell'atmosfera (TOA)

Atmospheric Chemistry and Global Change



Effetto serra



Raffreddamento della Terra

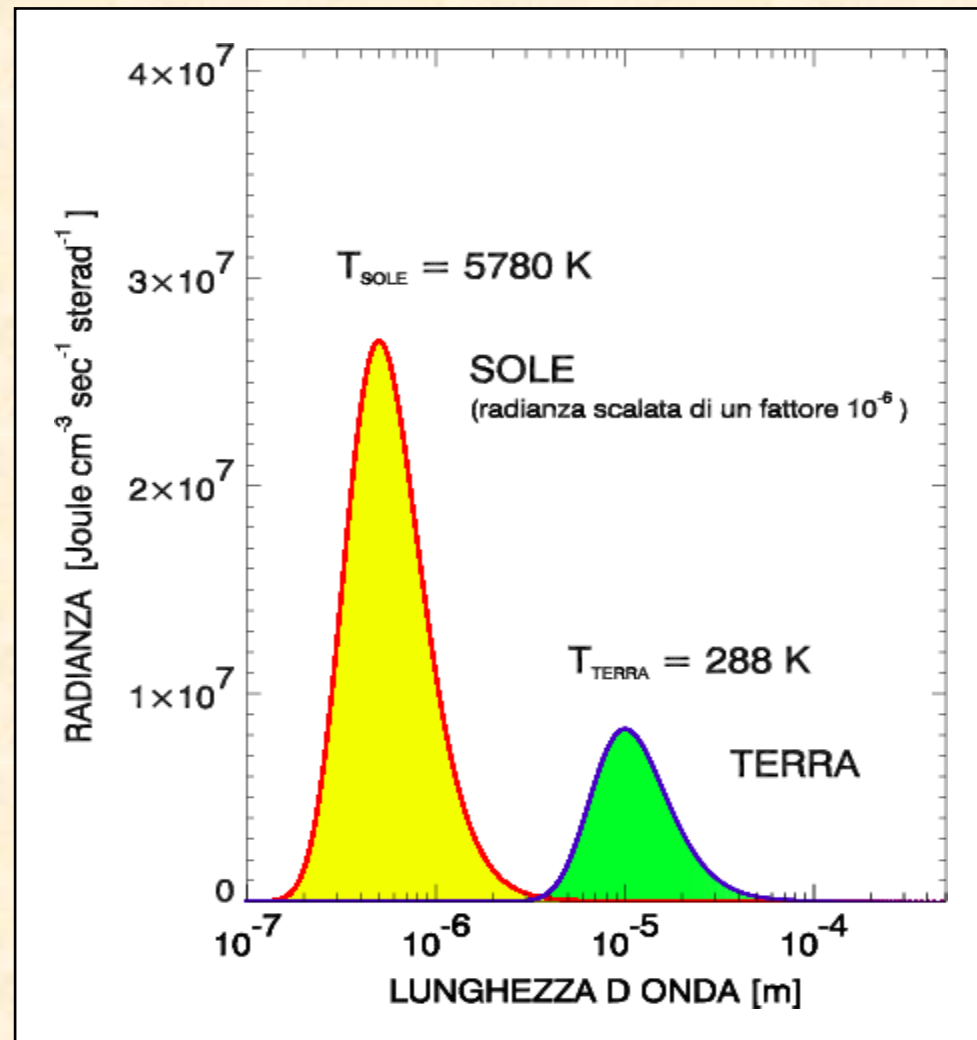
Irradianza emessa dal
Pianeta a temperatura T_E

$$I_E = \sigma T_E^4$$

Raffreddamento della Terra

$$P_{OUT} = \sigma (1 - g) T_E^4$$

Effetto serra



Variabili e numeri del bilancio radiativo

$$P_{\text{in}} = P_{\text{out}} + \Delta p$$

$$\sigma k (1 - A) T_S^4 = \sigma (1 - g) T_E^4 + \Delta p$$

Variabili e numeri del bilancio radiativo

$$P_{\text{in}} = P_{\text{out}} + \Delta p$$

$$\sigma k (1 - A) T_S^4 = \sigma (1 - g) T_E^4 + \Delta p$$

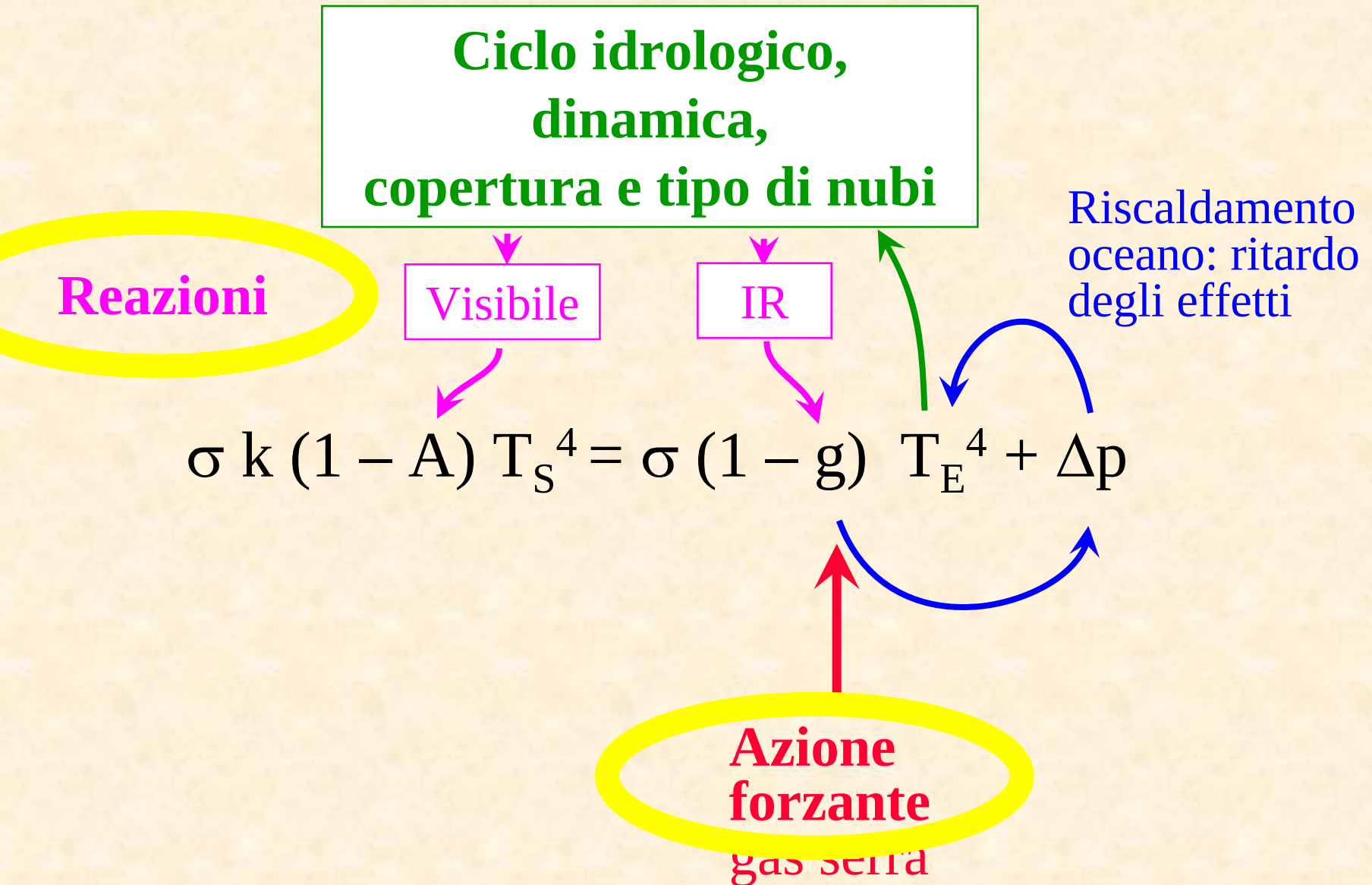
$$\approx 235 \text{ Wm}^{-2}$$

Visibile: 0,5% di A $\rightarrow$ 1 Wm⁻²

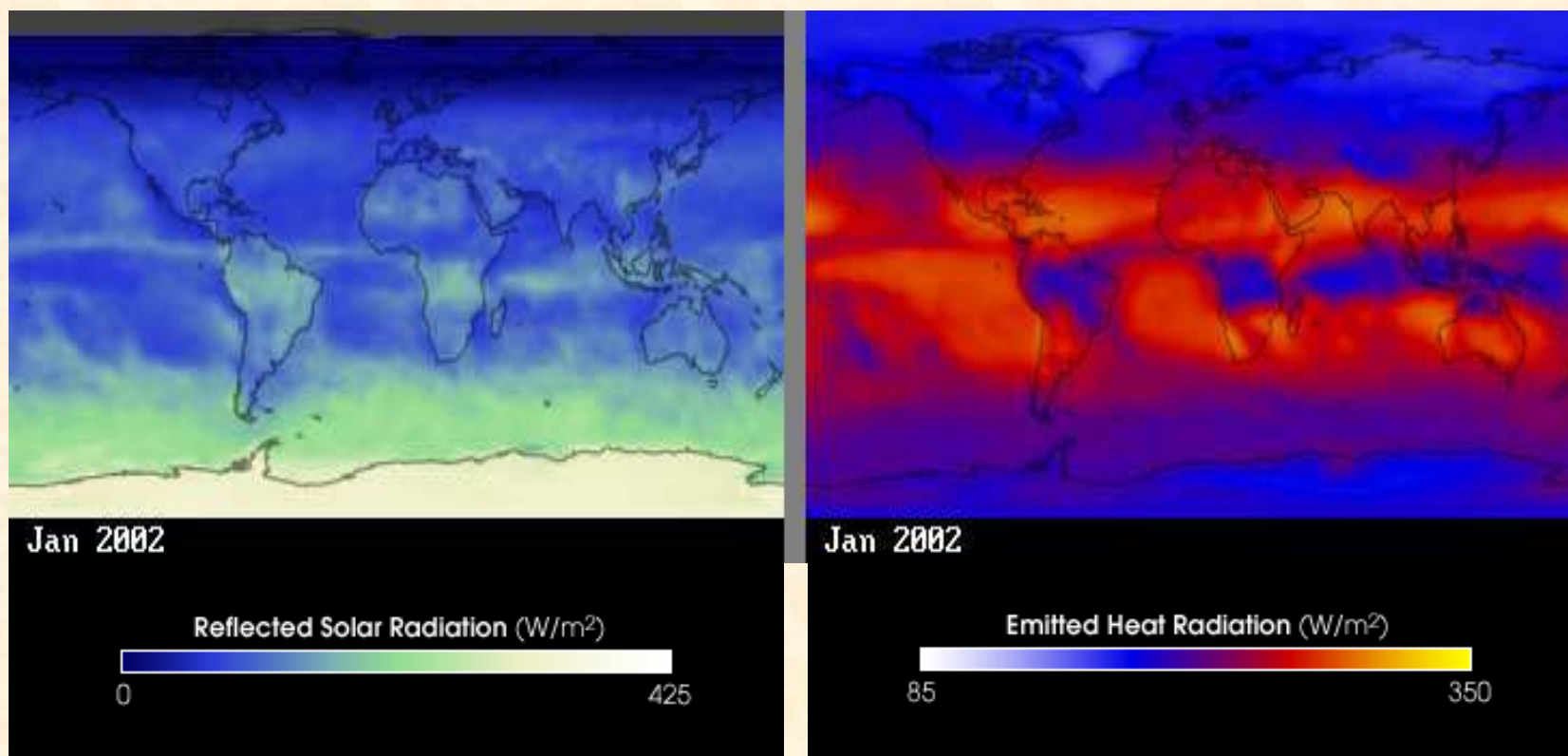
IR: 0.1% di T_{ST} $\rightarrow$ 1 Wm⁻²

$\approx 1,5 \text{ Wm}^{-2}$
(Hansen et al.,
Science, 2005)

Azioni forzanti e reazioni



Albedo ed emissione termica della Terra

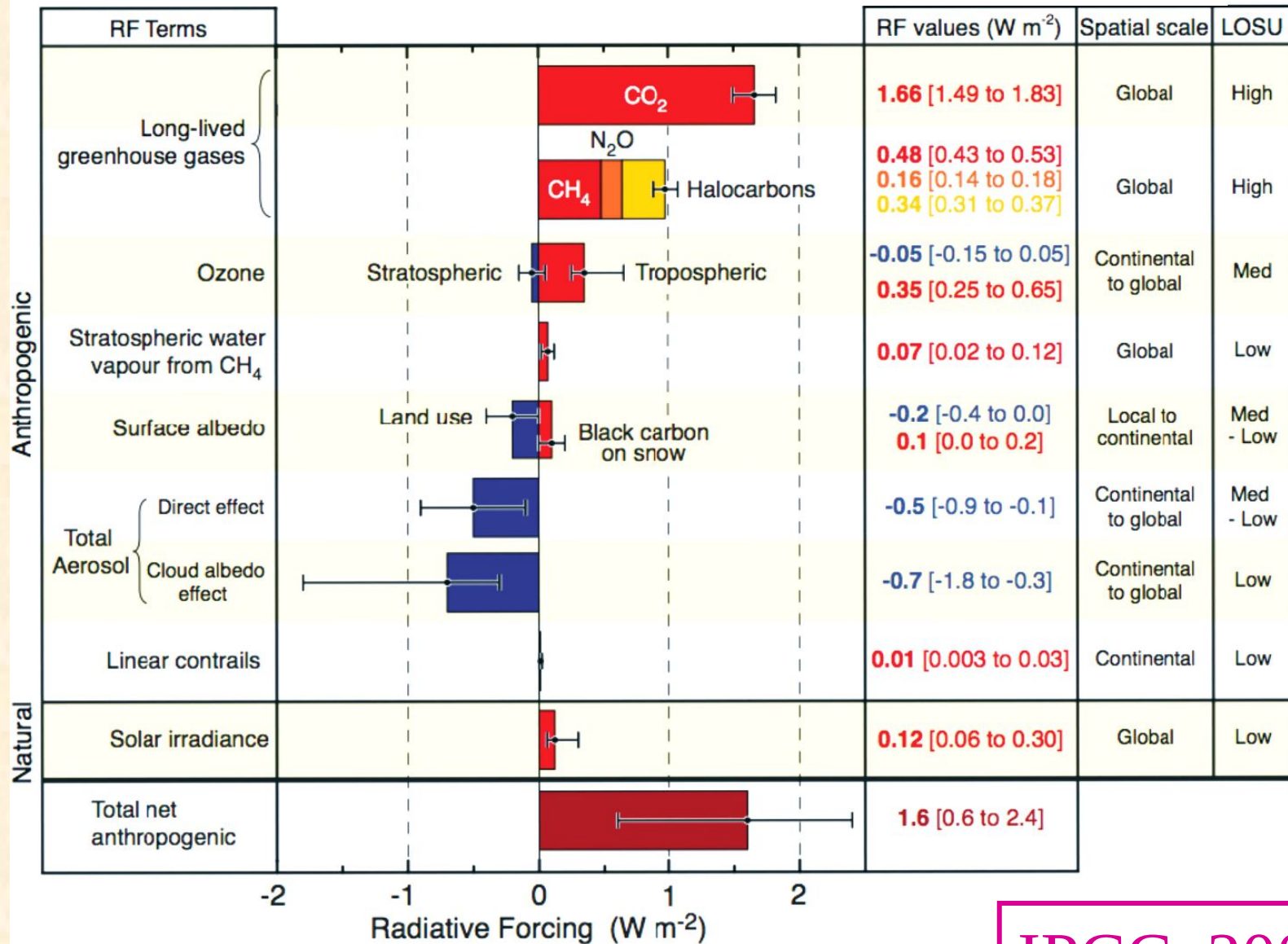


- Radiazione solare riflessa (visibile) ed emissione termica (IR)

An aerial photograph of a powerful hurricane, showing its characteristic spiral cloud structure and a dark, well-defined eye at the center. The storm is situated over a body of water, with a portion of a landmass visible in the upper left corner. The text "Le azioni forzanti" is superimposed in the center of the image in a red, italicized serif font.

Le azioni forzanti

Azioni forzanti



IPCC 2007

An aerial photograph of a research station in Antarctica. The station is situated on a vast, flat, white expanse of ice under a clear blue sky. It consists of several small, white, dome-shaped huts and larger, rectangular buildings, some with orange roofs. There are also stacks of colorful shipping containers and various pieces of equipment scattered around. The horizon is a straight line in the distance.

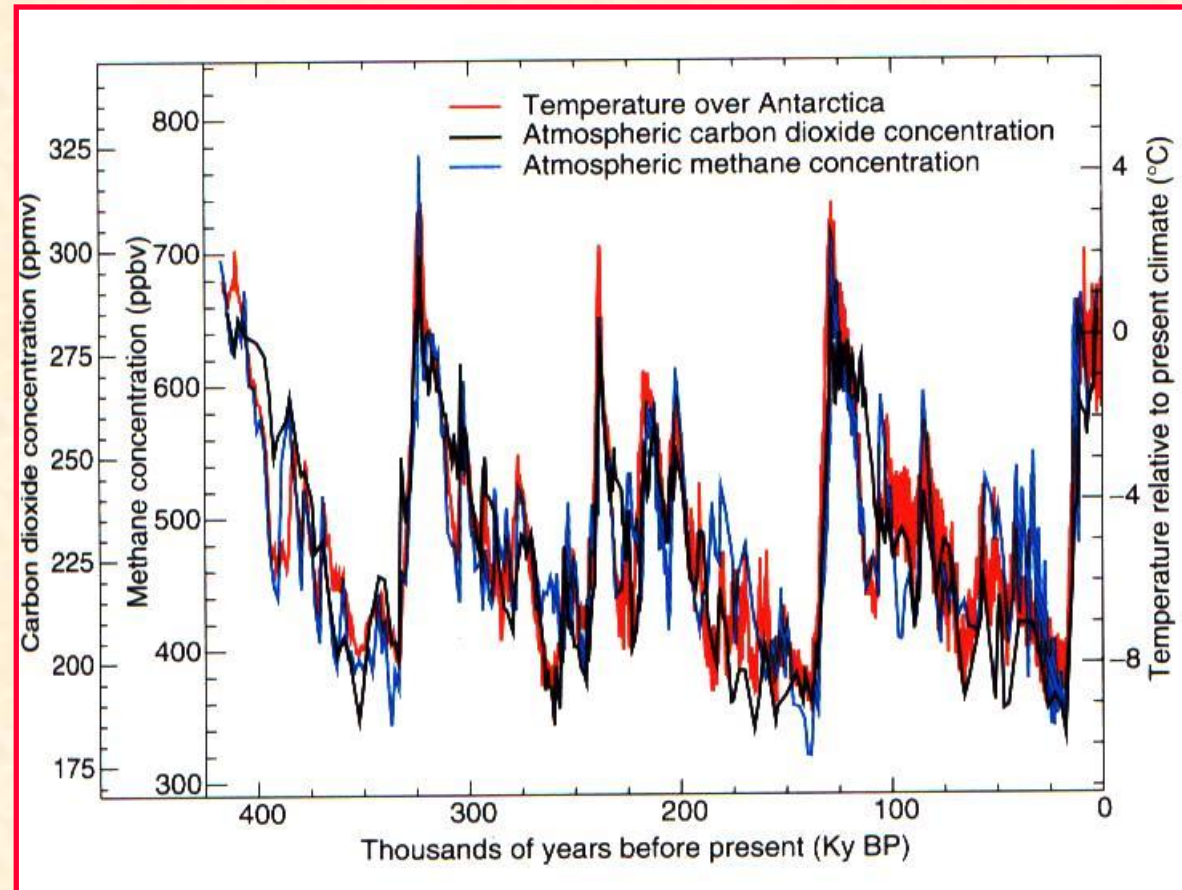
Paleoclima

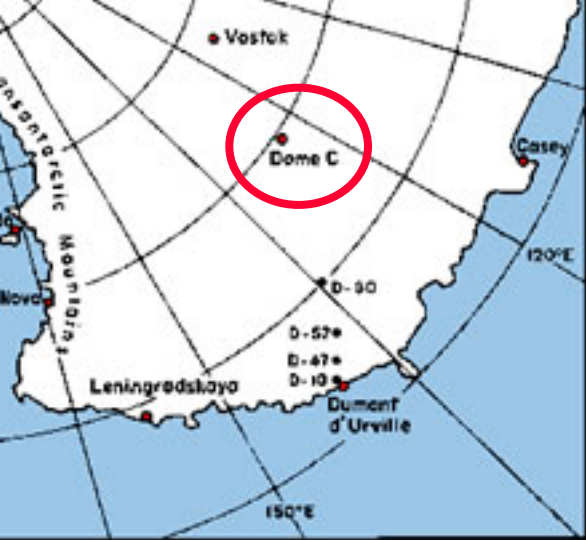




Correlazione fra temperatura, anidride carbonica e metano

Vostock
carotaggio del ghiaccio
(Petit et al., Nature 1999)





Dome Concordia, Progetto EPICA. Giunti a 800 mila anni dal presente. Obiettivo 900 mila anni.

Compilato da:

EPICA community members, 2004

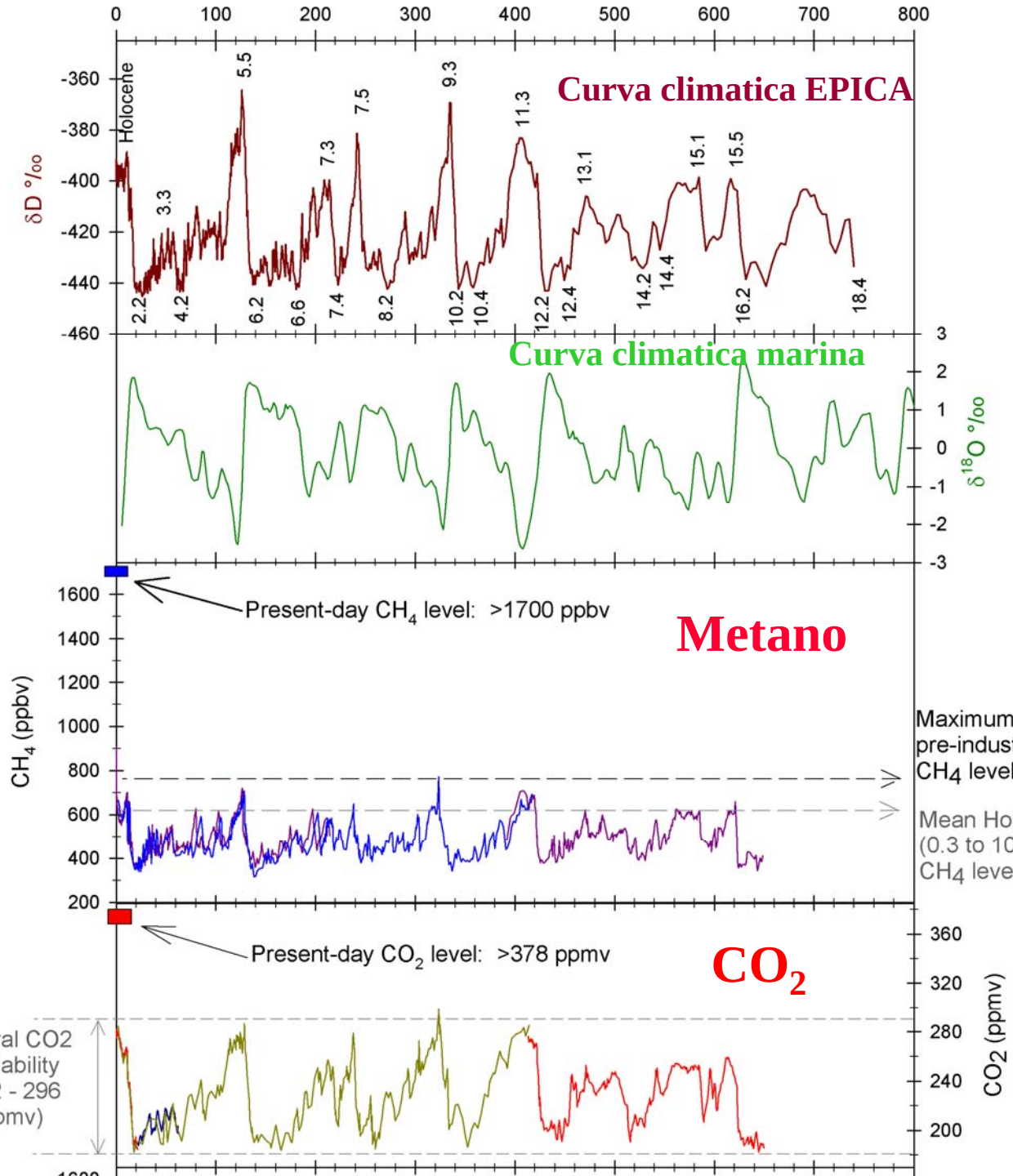
Bassinot et al. 1994

Sphani et al. 2005

Siegenthale et al. 2005

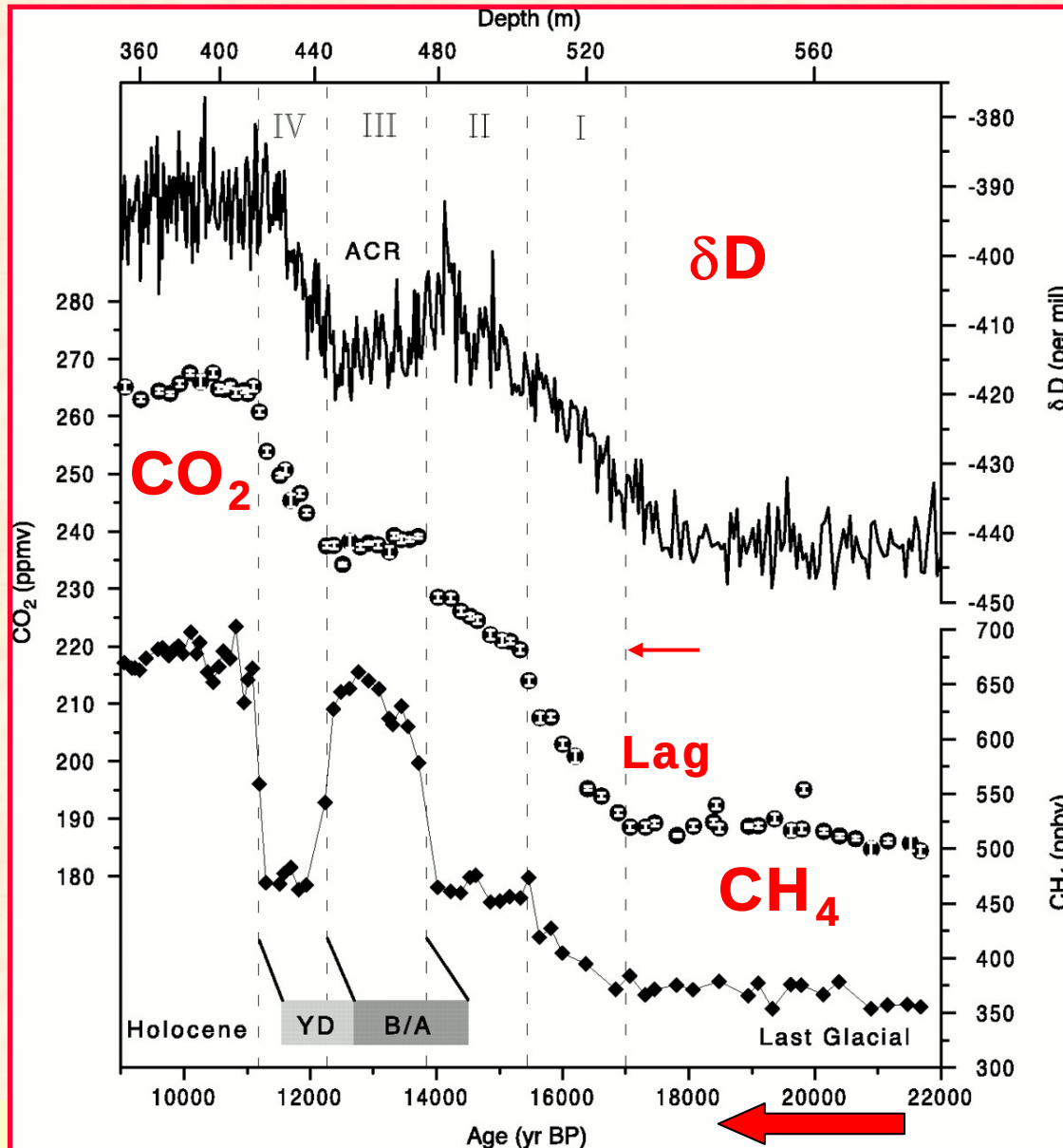
Wolff et al. 06

— I cambiamenti Climatici - Frasc



Variazioni durante l'ultima deglaciazione:

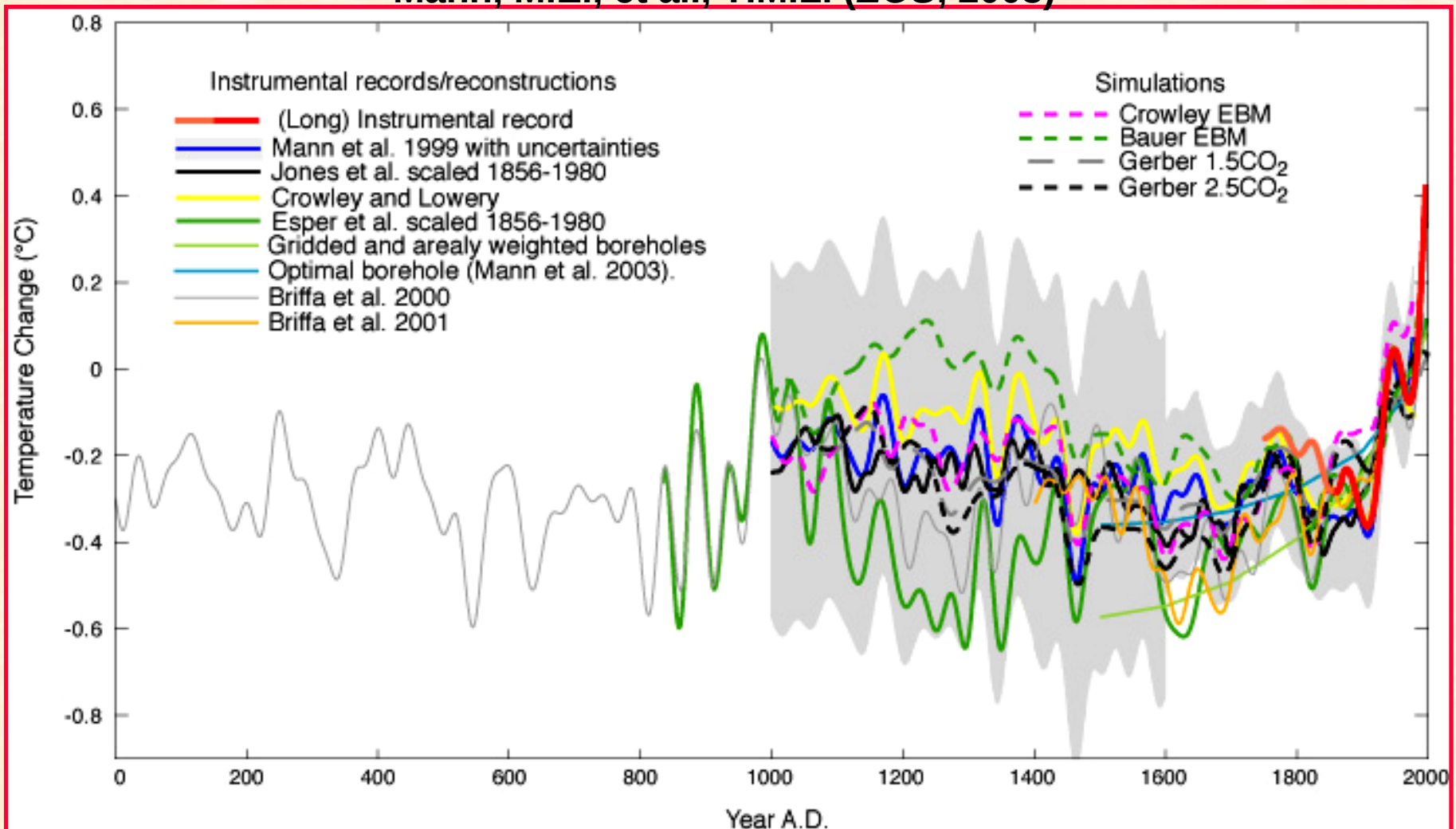
CO₂ segue, con un ritardo, la temperatura in Antartide



Monnin et al.
Science (2001)

nell'emisfero Nord negli ultimi 2000 anni

Mann, M.E., et al., T.M.L. (*EOS*, 2003)



A photograph of a wooden bookshelf filled with books. The books are arranged on three visible shelves. The top shelf has books with various colored spines, including blue, red, and yellow. The middle shelf is filled with books, many of which have white labels on their spines. The bottom shelf also contains books, some of which are slightly tilted. The background is a dark wooden wall. Overlaid on the image is the text 'Attribuzione dei cambiamenti' in a red, italicized font.

*Attribuzione
dei cambiamenti*

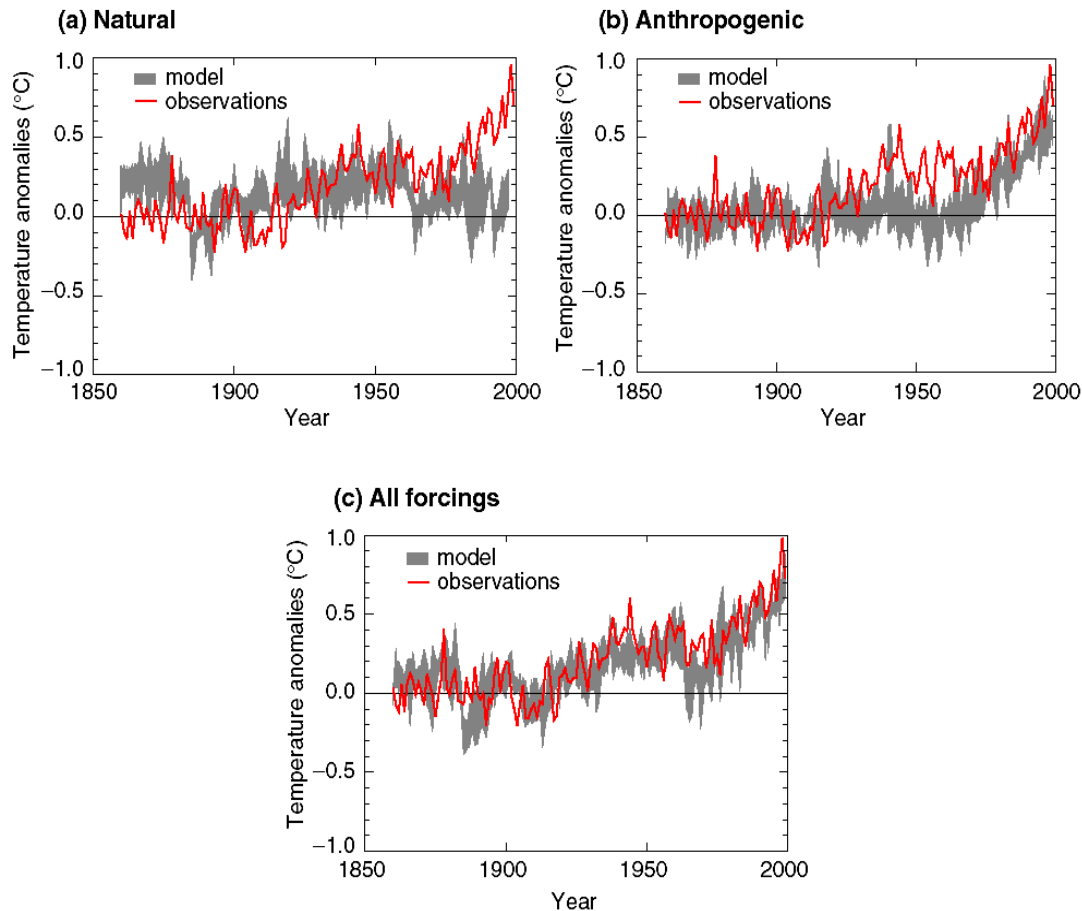
Attribuzione

La fisica ci dice che un aumento della temperatura terrestre dello 0,2% ($0,6/300$) produce una variazione dello 0,8% della radiazione emessa dal pianeta verso lo spazio.

Questo risultato ben si confronta con lo 0,7% ($1,6/235$) delle azioni forzanti antropiche.

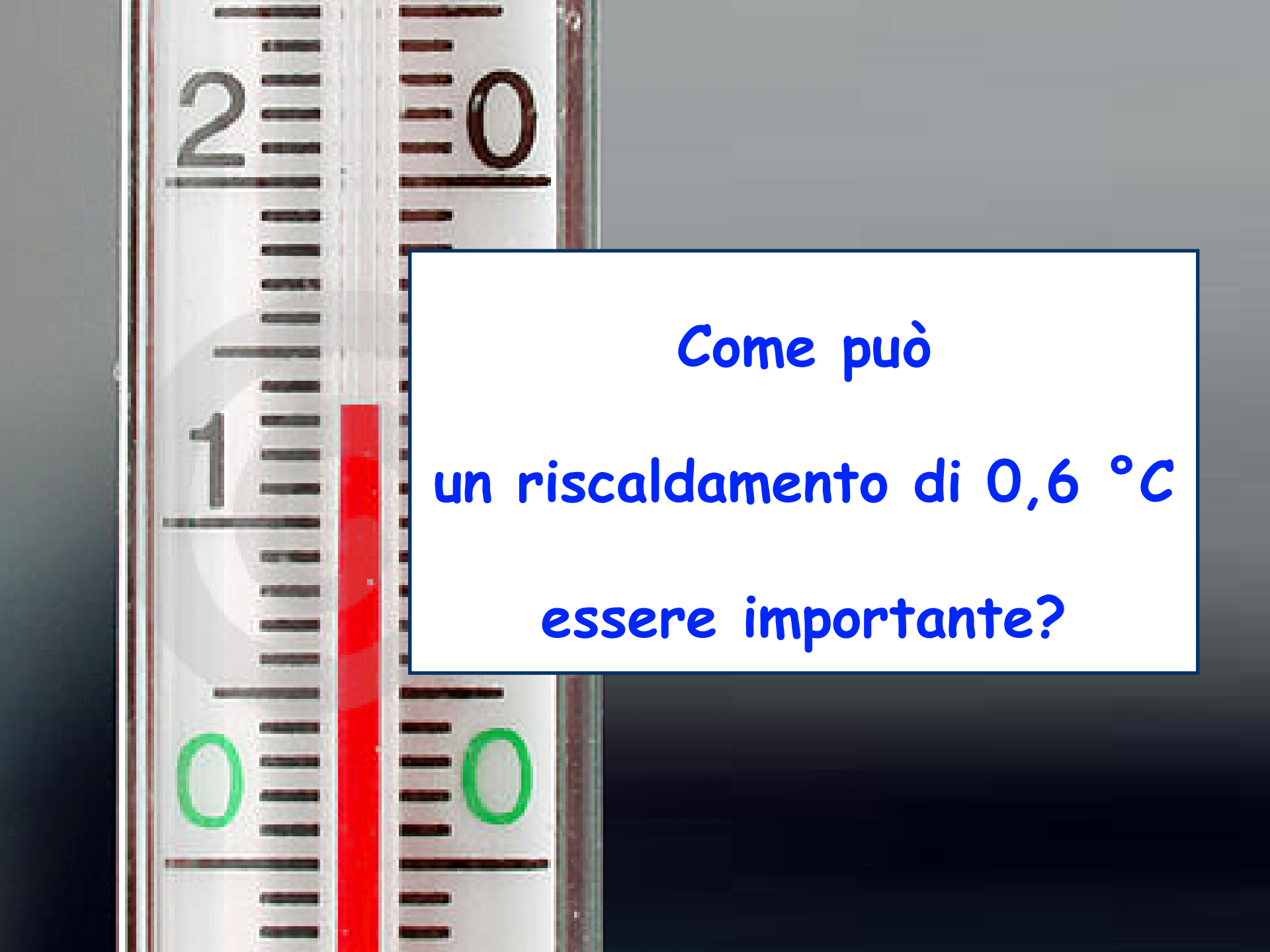
Cause naturali ed antropiche

Simulated annual global mean surface temperatures



I modelli confermano che la maggior parte del riscaldamento osservato negli ultimi 50 anni è causato dall'attività umana

IPCC 2007

A vertical thermometer is shown on the left side of the image. It has a white scale with black markings. The numbers 2, 1, and 0 are visible, with the 0s being green. A red liquid column is visible, rising from the bottom. On the right side, there is a white rectangular box with a blue border containing blue text.

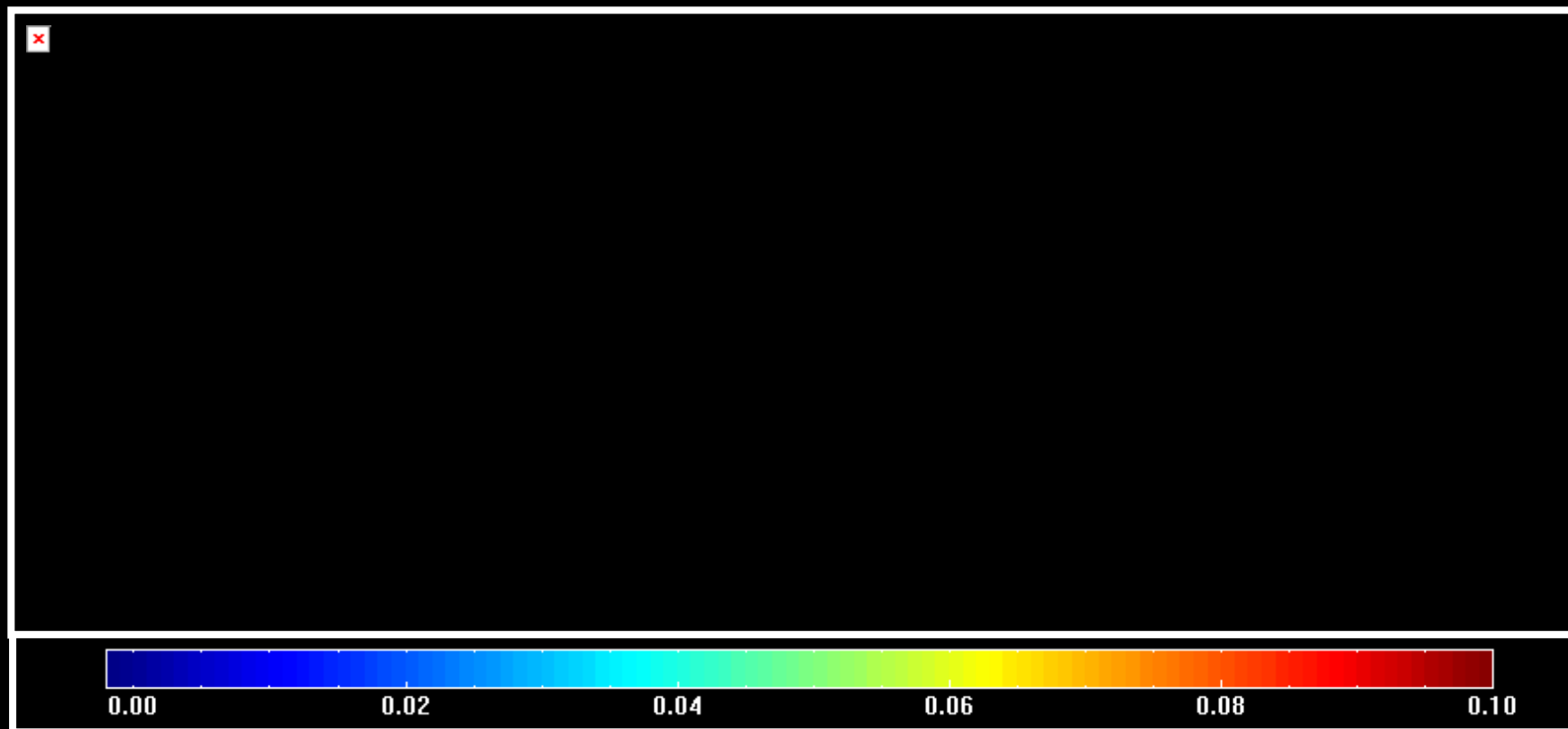
Come può
un riscaldamento di $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$
essere importante?

Importanza

- ☞ Cambiamenti mediamente piccoli possono comportare grandi variazioni locali.

Il Mediterraneo si sta riscaldando ed in alcune zone la temperatura è aumentata di 2°C in 20 anni.

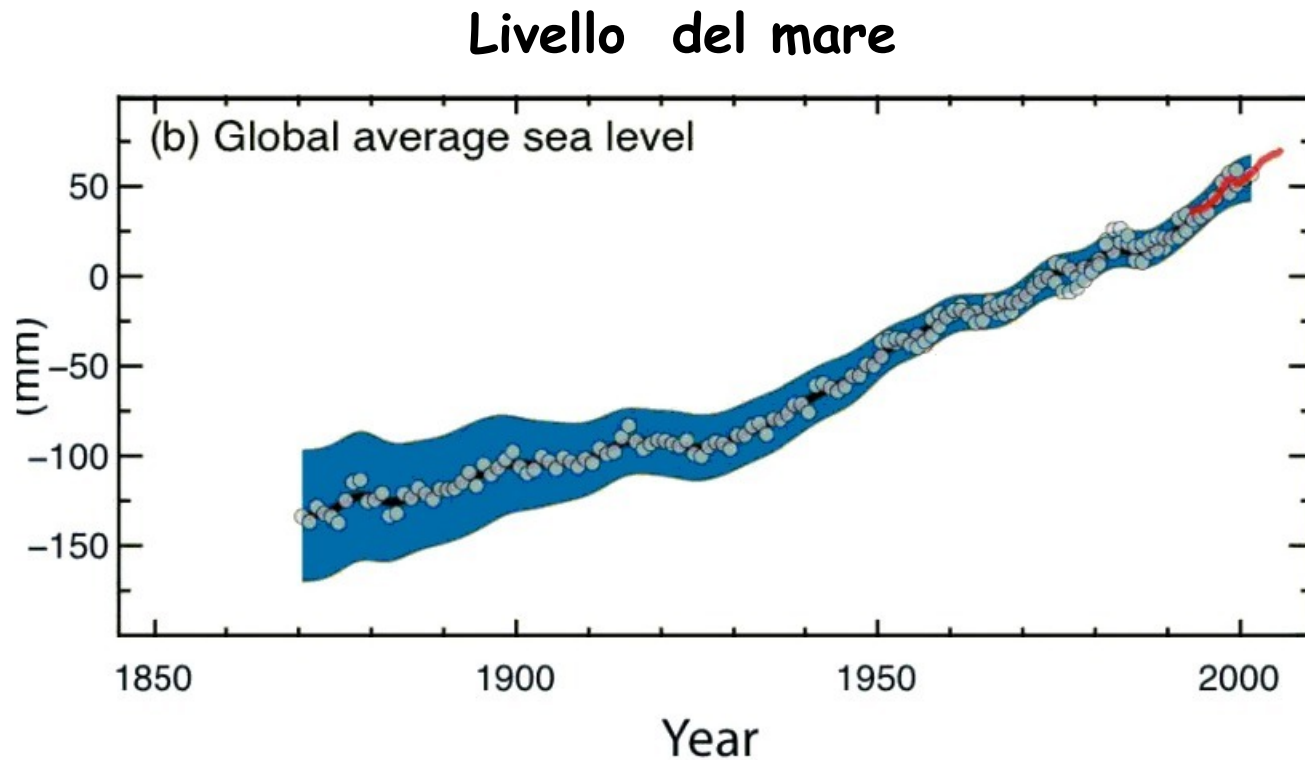
Variazione (annuale) della temperatura dal 1985 al 2004



Importanza

- ☞ Cambiamenti piccoli nel breve tempo della nostra percezione diventano significativi su tempi lunghi

Il livello del mare sale di una quantità impercettibile ogni anno, ma negli ultimi 150 anni è salito di 15 cm



Importanza

- ☞ Alcuni processi climatici sono innescati quando si supera una temperatura soglia

Esiste una
temperatura di soglia
per la formazione del
ghiaccio e l'innesco di
un uragano.

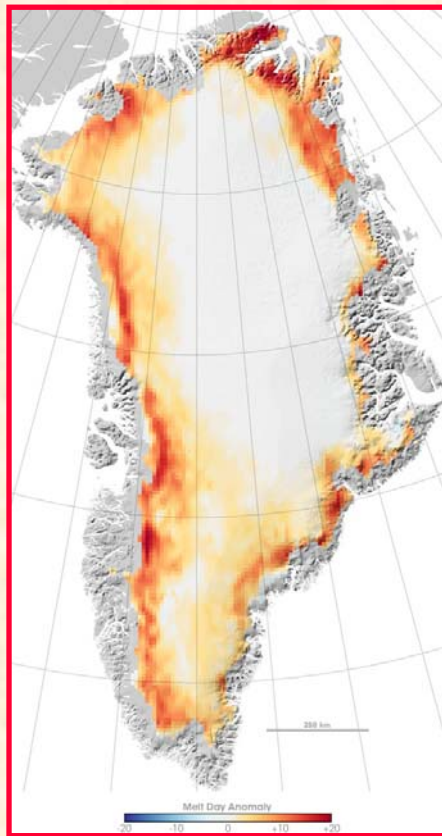


Importanza

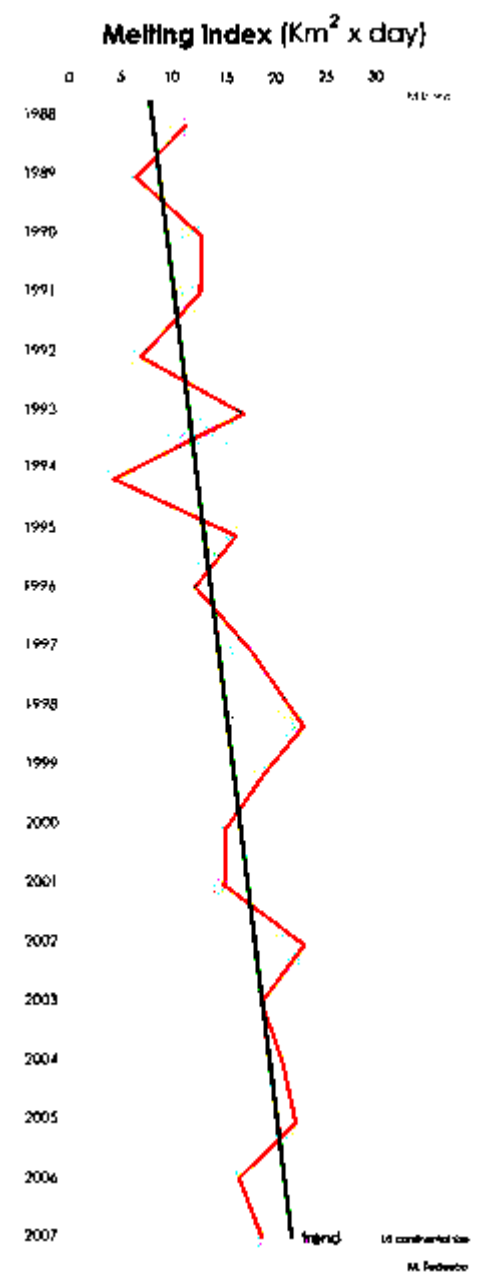
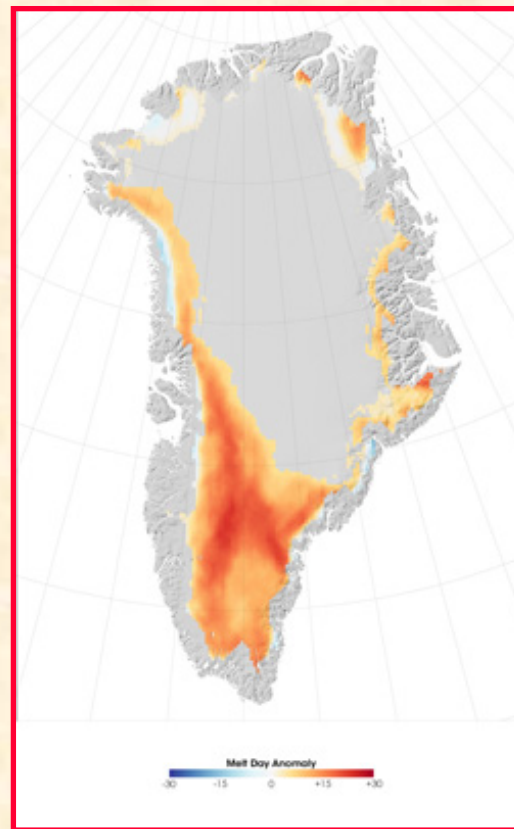
- ☞ Nel caso di processi **non-lineari** si possono avere grandi effetti a seguito di piccole perturbazioni.

Lo scioglimento del ghiaccio è uno dei processi non lineari.
Il ghiaccio della Groenlandia è motivo di dibattito scientifico.

2005

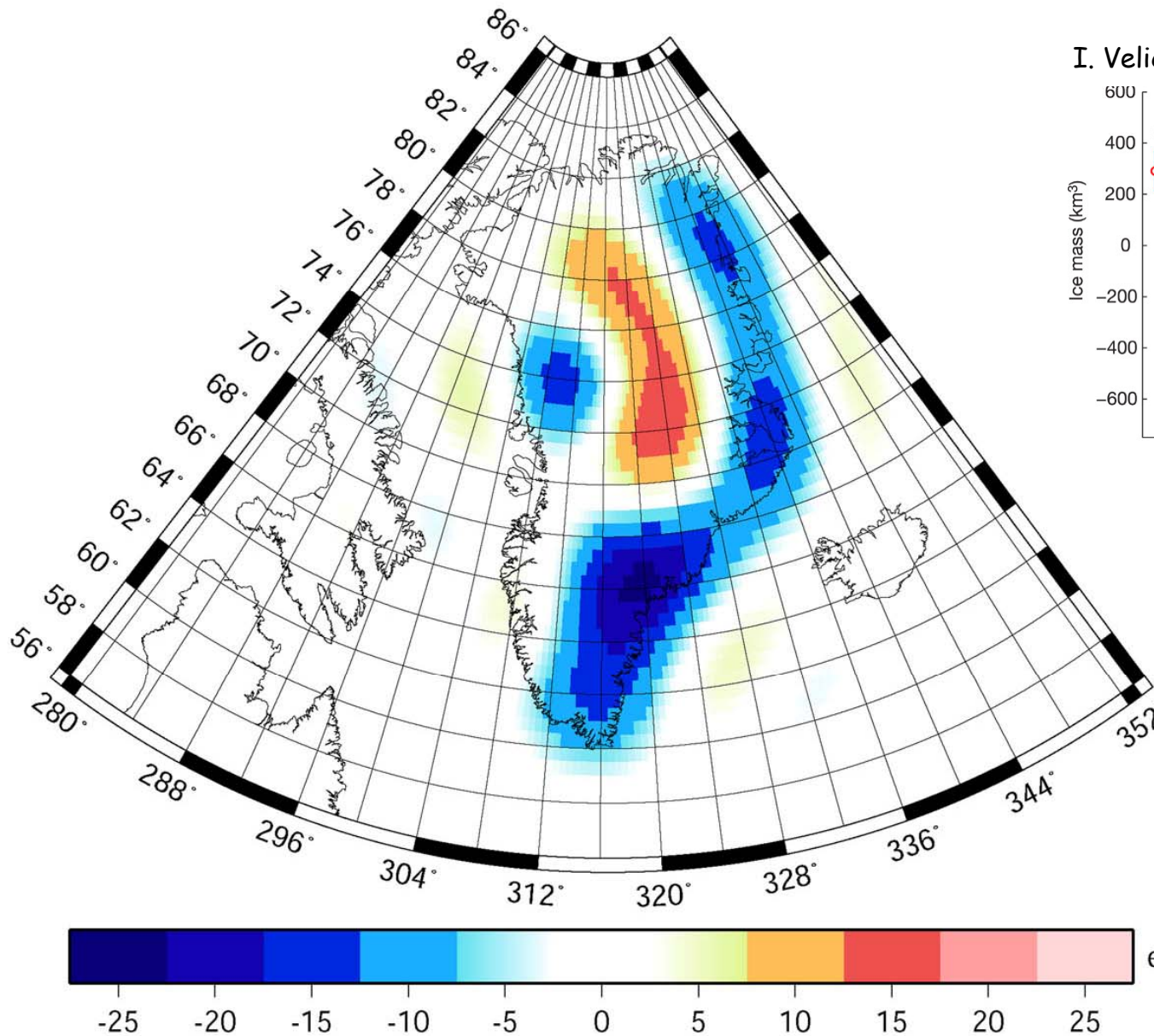


2007

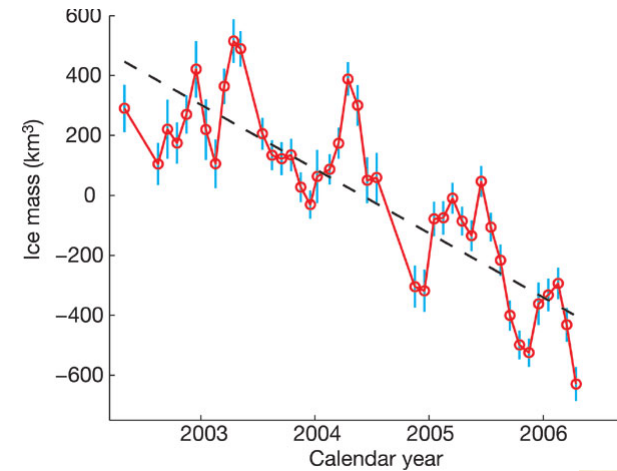


Giorni di ghiaccio sciolto rispetto alla media dal 1988. Misure microonde.

Greenland Mass Trend from GRACE

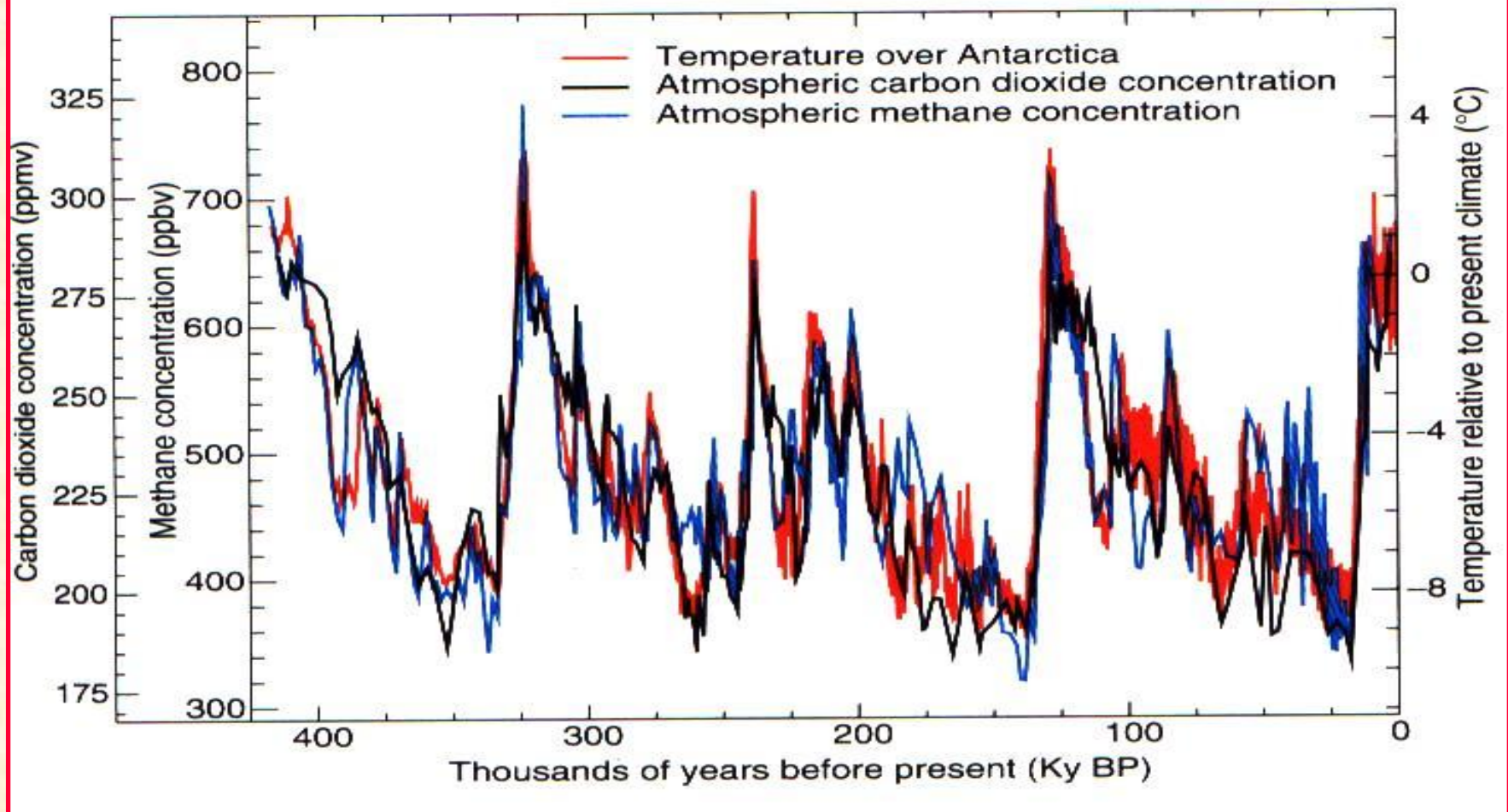


I. Velicogna and J. Wahr, *Nature*, 2006



Importanza

- ☞ Bastano piccole differenze nella temperatura media per avere condizioni climatiche molto diverse



Vostock

carotaggio del ghiaccio

(Petit et al., Nature 1999)

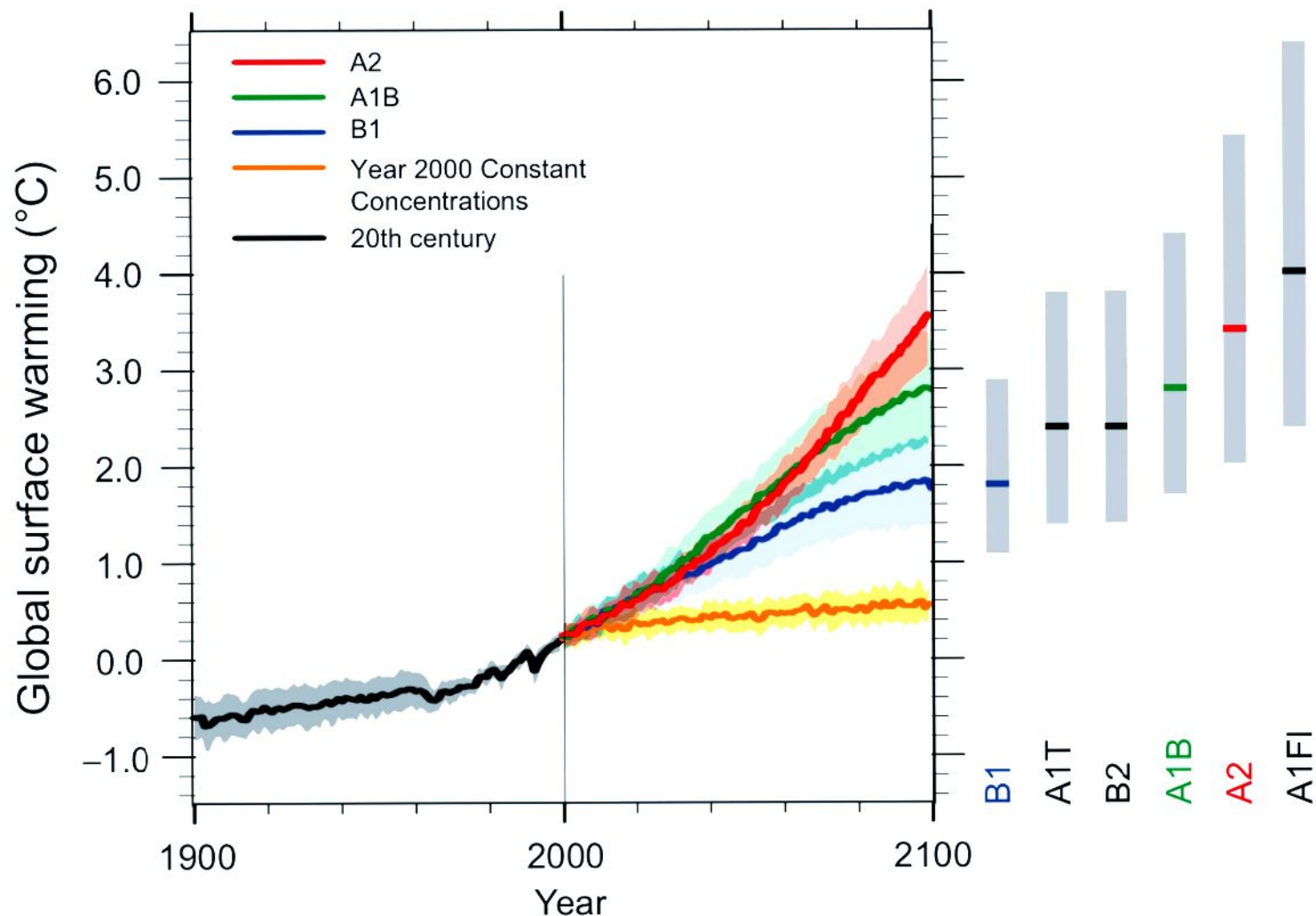
**I periodi temperati e le
glaciazioni più estreme
differiscono di circa 10 °C.**

A crystal ball on a wooden stand, set against a dark blue background. The word "Previsioni" is written in a stylized, italicized yellow font across the center of the crystal ball. The crystal ball shows faint reflections of the surrounding environment.

Previsioni

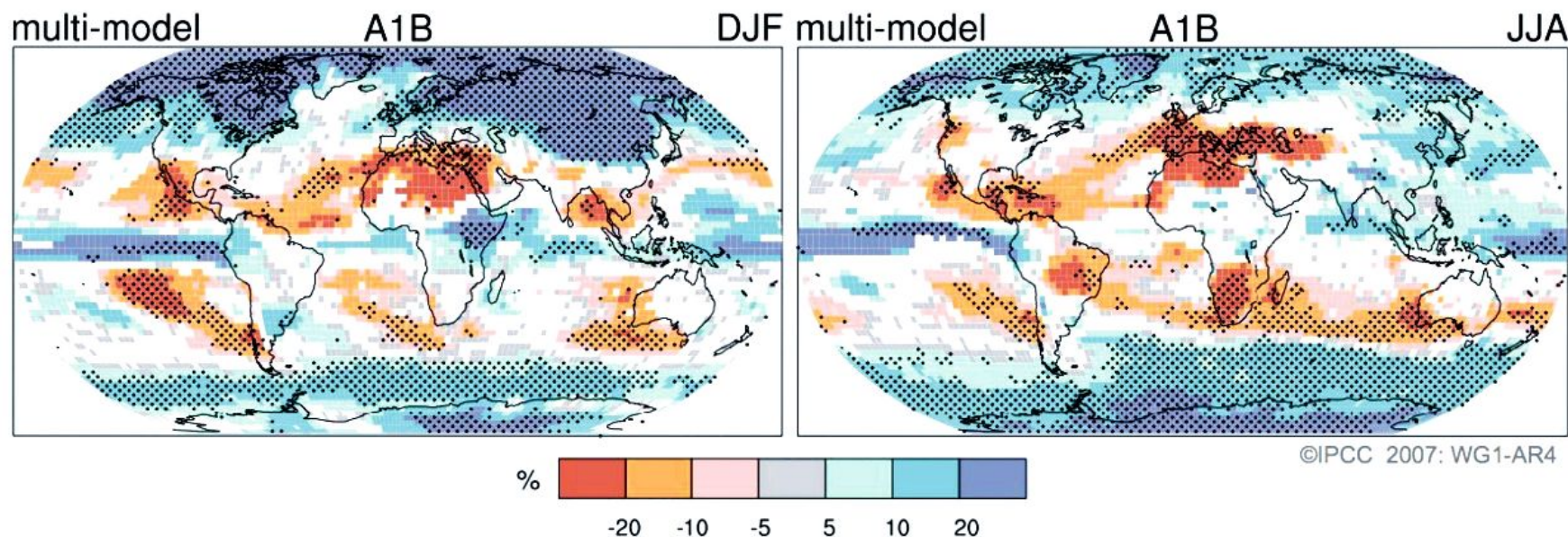
Possibili scenari della temperatura media futura

Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming



Previsione di cambiamento delle precipitazioni nel periodo 2090-2099 rispetto al 1980-1999

Projected Patterns of Precipitation Changes



Bianco accordo < 60% . Punteggiato accordo > 90%

Difficoltà della previsione

- ☞ Un grande lavoro è stato fatto per quantificare e ridurre le incertezze delle previsioni.
- ☞ Tuttavia il clima è un fenomeno complesso con processi non lineari.
- ☞ Inoltre è difficile stimare gli errori dovuti agli effetti dimenticati.

A wide-angle photograph of a beach at low tide. The sand is covered in a dense pattern of small, wavy ripples that stretch towards the horizon. The sky is a clear, pale blue. The text "Strumenti di prevenzione" is overlaid in the center in a yellow, italicized serif font.

Strumenti di prevenzione

Strumenti per la gestione dei cambiamenti climatici

- ☞ **Mitigazione** con la di riduzione della produzione di gas serra (protocollo di Kyoto e successivi emendamenti).
- ☞ Mitigazione con sottrazione dei gas serra dall'atmosfera con tecniche di **segregazione** (cattura e deposito).
- ☞ **Adattamento**, modifica preventiva nell'utilizzo del territorio tenendo conto dei cambiamenti.
- ☞ **Geo-ingegneria**, azioni forzanti artificiali da contrapporre all'aumento dell'effetto serra.

A photograph of a Christmas tree with lights and ornaments against a bright sky. The tree is decorated with warm white lights and gold and silver ornaments. The background is a bright, hazy sky with a sunburst effect in the upper left. The word "Conclusioni" is written in a stylized, italicized font across the middle of the image.

Conclusioni

Considerazioni finali

- ➡ **Migliora la comprensione dei fenomeni climatici.**
- ➡ **Cambiamenti climatici sono in corso e sono dovuti a cause antropiche piuttosto che naturali.**
- ➡ **In futuro i cambiamenti saranno ancora maggiori, ma le previsioni scientifiche hanno difficoltà a quantificarne in modo certo l'entità.**
- ➡ **La ricerca scientifica deve continuare lo studio dei meccanismi che controllano il clima e ridurre ulteriormente i margini d'incertezza delle previsioni.**



Gli articoli sono accessibili
sul sito web:
www.dta.cnr.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Clima e Cambiamenti Climatici *le attività di ricerca del CNR*



A cura di

B. CARLI, G. CAVARRETTA, M. COLACINO, S. FUZZI

Articolo accessibile
sul sito web:
www.cosmopolisonline.it

Cambiamenti climatici: la prudenza e la preoccupazione scientifica

Bruno Carli

I cambiamenti climatici

Si parla molto di cambiamenti climatici e non ci si accorge più del fatto che questa espressione è quasi una contraddizione in termini. Il clima è il complesso delle condizioni meteorologiche che caratterizzano una certa zona geografica e come tale ci aspettiamo che sia immutabile nel tempo. In realtà nelle passate ere geologiche c'è stata un'alternanza di glaciazioni e periodi temperati, ma queste transizioni sono avvenute su lunghe scale temporali. I temuti cambiamenti odierni hanno la peculiarità di potersi verificare in tempi molto brevi. In questo caso il danno sarebbe causato non tanto dal cambiamento, che di per sé può avere non solo effetti negativi ma anche positivi, ma dalla velocità del cambiamento stesso che non concede alle piante, agli animali ed all'uomo il tempo per adattarsi.

Il meccanismo attraverso il quale questi rapidi cambiamenti possono avvenire è quello dell'alterazione dell'equilibrio (bilancio radiativo) che esiste fra l'energia solare che il nostro pianeta assorbe e l'energia termica che il nostro pianeta emette verso lo spazio. Lo sbilanciamento fra queste due componenti può causare il riscaldamento della superficie terrestre, il cambiamento della quantità di vapore acqueo contenuta nell'aria, l'alterazione dei fenomeni meteorologici, lo scioglimento dei ghiacci e l'innalzamento del livello del mare. L'attività umana, attraverso la modifica del territorio e l'immissione nell'atmosfera di gas serra che assorbono la radiazione termica, sta cambiando le proprietà ottiche che controllano il bilancio radiativo del pianeta. Il problema scientifico che si pone è se questi cambiamenti antropici siano tali da introdurre una significativa perturbazione al bilancio radiativo naturale.

Motivazione del premio Nobel per la pace 2007 ad Al Gore ed ad IPCC

Per "i loro sforzi per costruire e diffondere una conoscenza maggiore sui cambiamenti climatici provocati dall'uomo e porre le basi per le misure necessarie a contrastare tali cambiamenti"

Motivazione del premio Nobel ad Al Gore

"Il suo forte impegno, testimoniato dall'attività politica, le conferenze, i film e i libri, ha rafforzato la lotta ai cambiamenti climatici: è probabilmente il singolo individuo che più ha fatto per creare una maggiore comprensione in tutto il mondo delle iniziative che devono essere adottate"

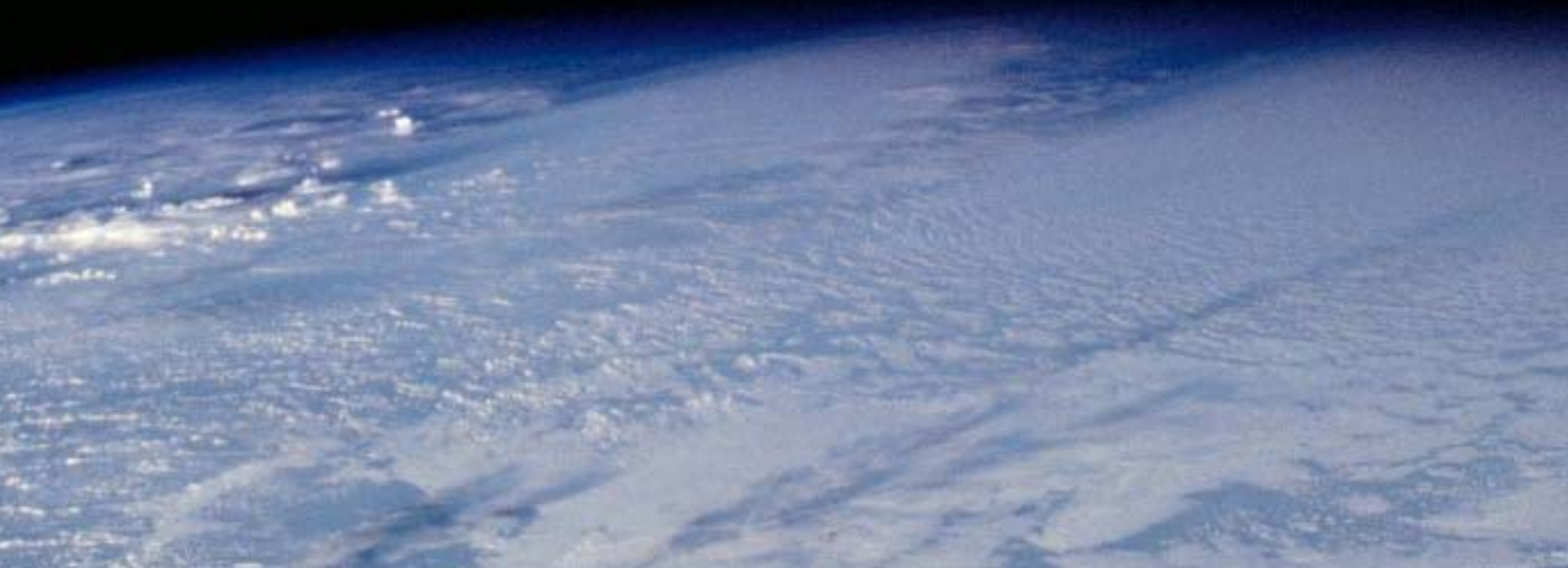
"Per lungo tempo è stato uno dei più importanti ambientalisti fra gli uomini politici", cosciente fin dall'inizio "delle sfide che il mondo deve affrontare".

Motivazione del premio Nobel ad IPCC

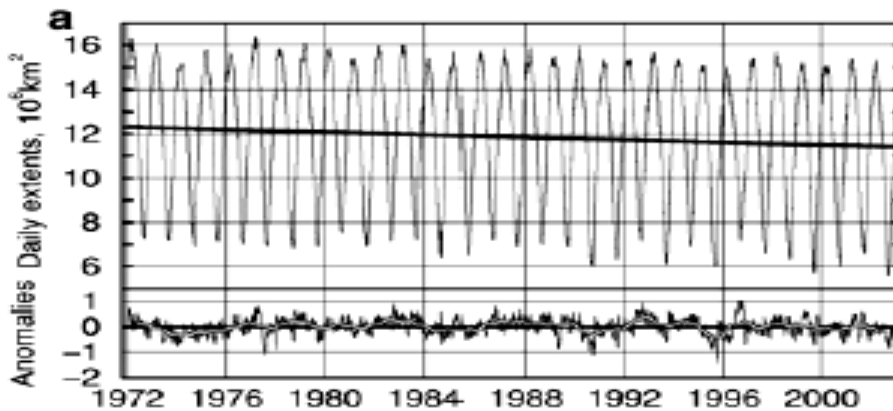
I rapporti scientifici dell'IPCC "hanno creato un consenso informato sempre più ampio sul collegamento fra le attività umane e il riscaldamento globale; migliaia di scienziati e funzionari provenienti da oltre un centinaio di Paesi hanno collaborato per raggiungere una maggiore certezza sulla scala del riscaldamento".

Se negli anni Ottanta se ne parlava "come di una mera ipotesi, seppure interessante, negli anni Novanta ha prodotto prove più sicure e negli ultimi anni i collegamenti sono divenuti ancora più chiari e le conseguenze ancor più evidenti".

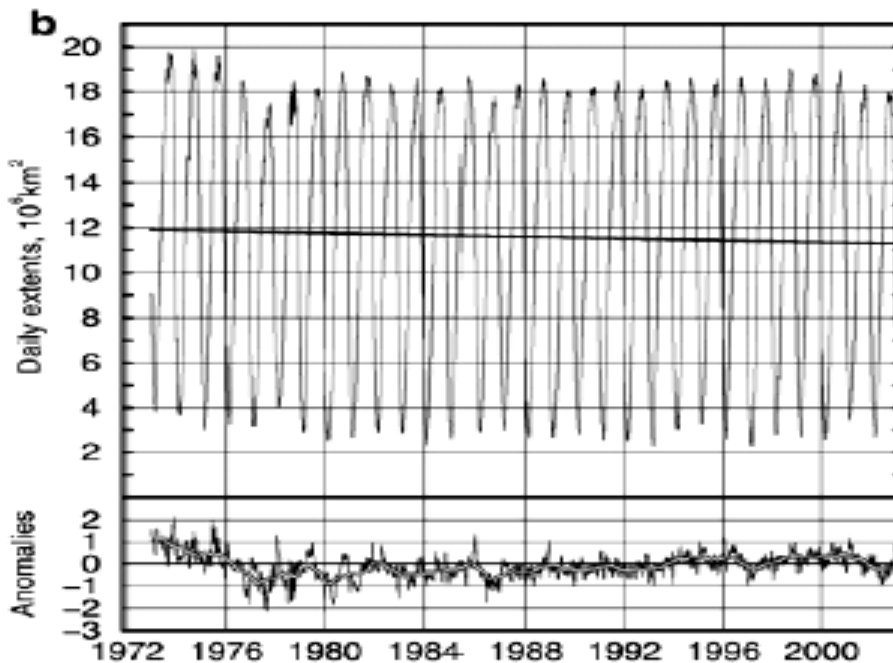
Evidenza dei cambiamenti



Estensione del ghiaccio marino

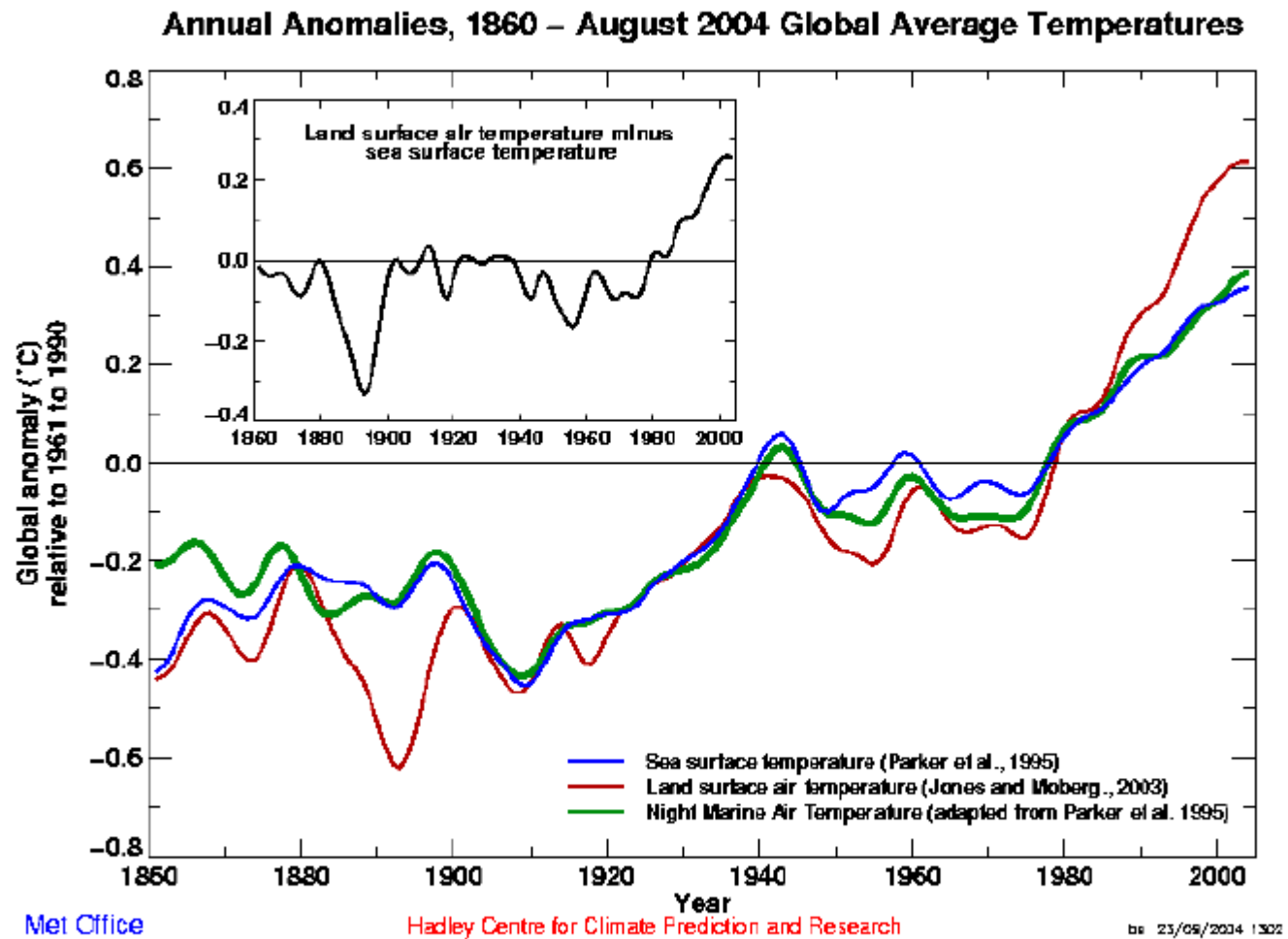


Emisfero Nord



Emisfero Sud

Temperatura della superficie e degli oceani



Cambiamenti della temperatura dei mari

