

Il clima



Bruno Carli - IFAC-CNR, Firenze

Definizione di clima

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

Definizione di clima

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

Definizione di clima

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

Definizione di clima

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

Definizione di clima

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

An aerial photograph of a research station in Antarctica. The station consists of several white, cylindrical tents and various smaller structures, including a long orange building and a cluster of colorful shipping containers. The entire camp is situated on a vast, flat, white expanse of ice under a clear blue sky.

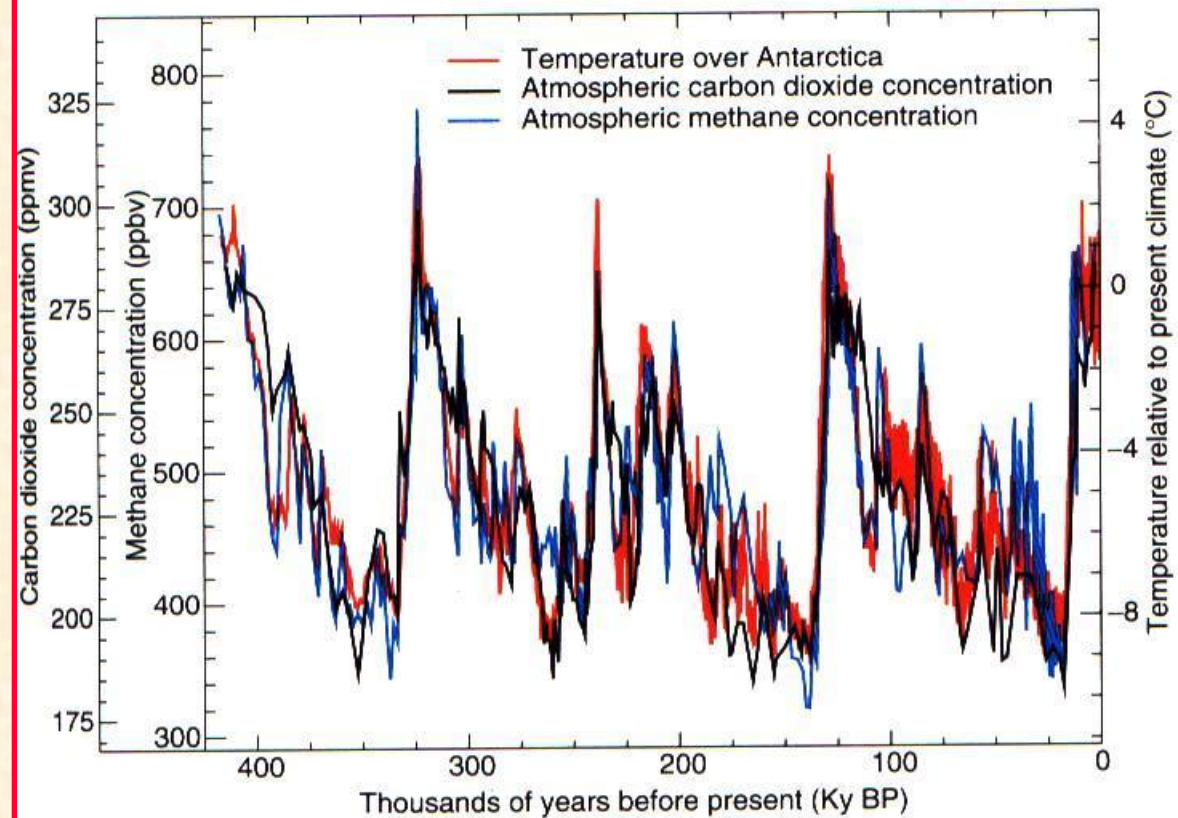
Paleoclima





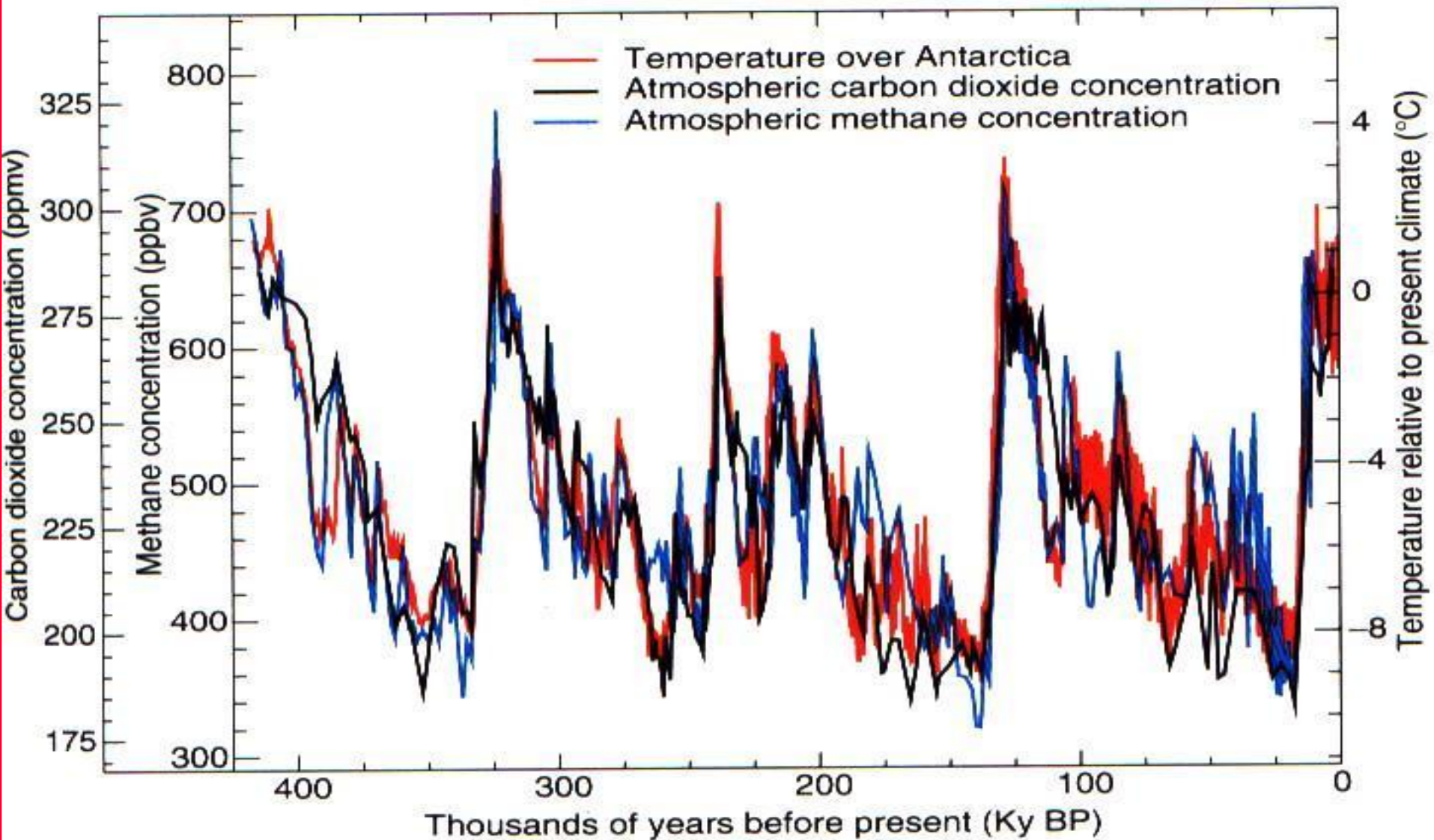
Variazione della temperatura nel clima del passato

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





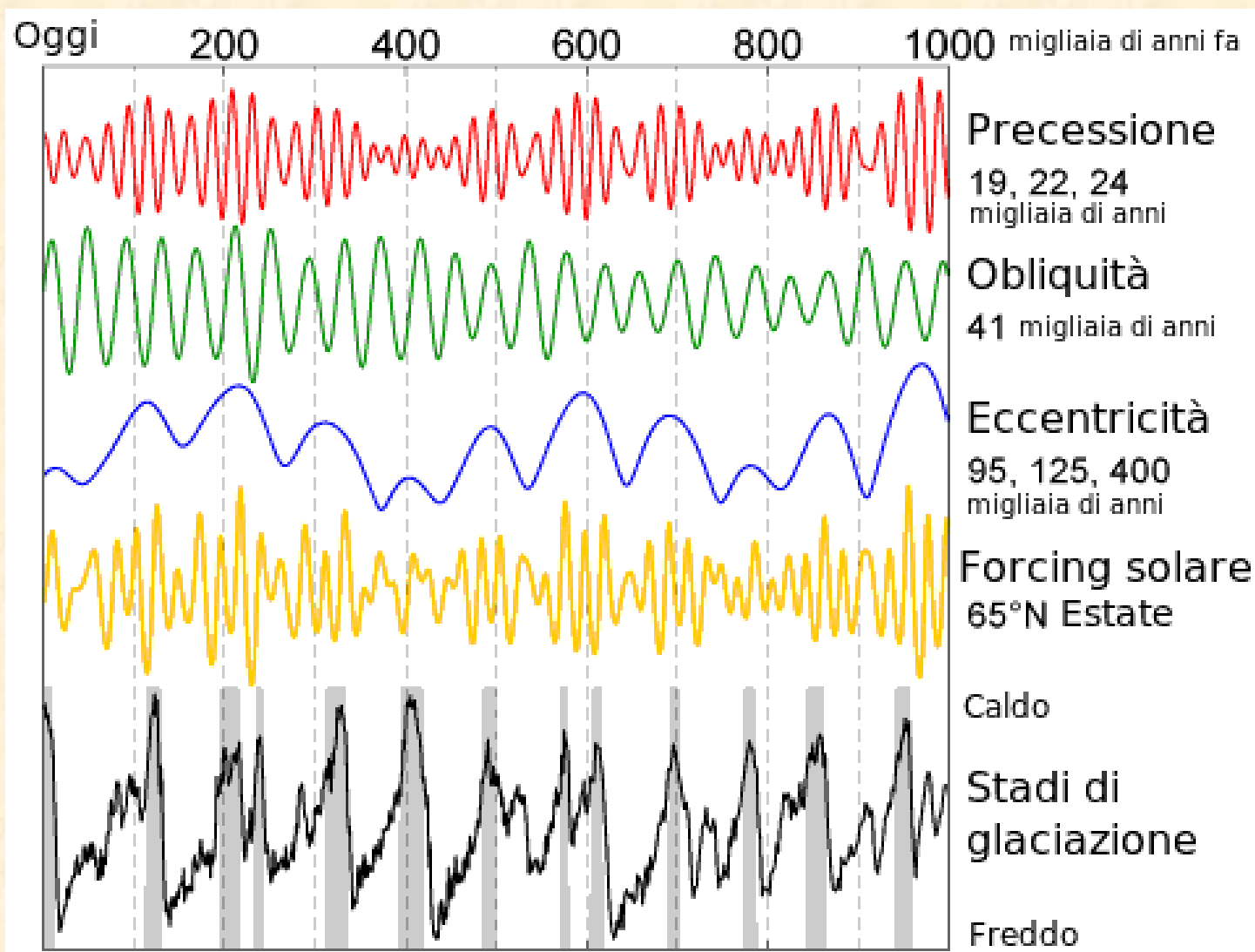
Variazione della temperatura



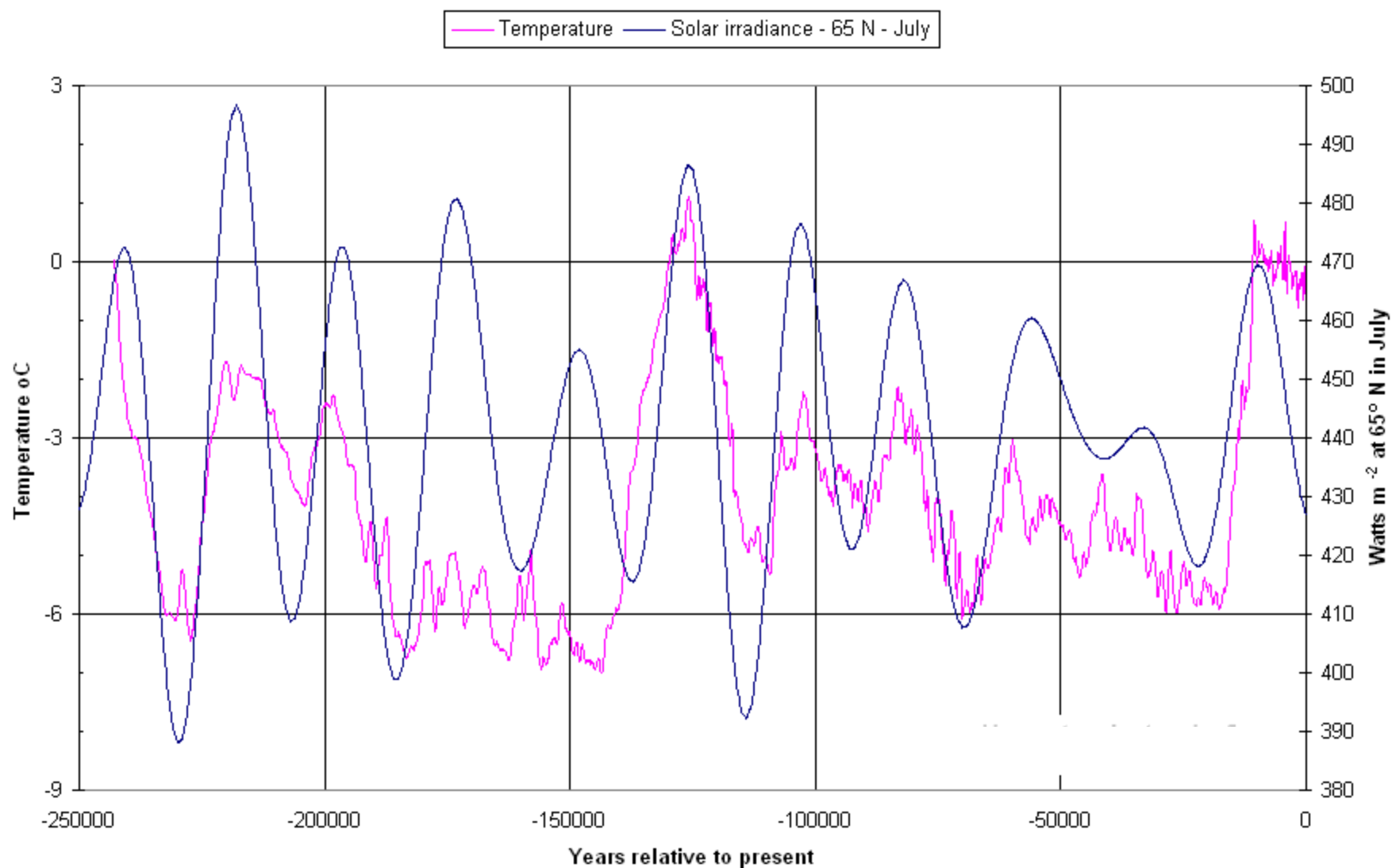
Paleoclima

- **Un'alternanza fra glaciazioni e periodi temperati si manifesta con un periodo di circa 100.000 anni (cicli di Milankovitch).**
- **Variazioni relativamente piccole della temperatura media (circa 10 °C) corrispondono a variazioni ambientali macroscopiche.**

Cicli di Milankovitch



Milankovitch Cycles and Temperature from Vostok Ice-core



Cicli di Milankovitch

- **La periodicità della forzante solare corrisponde a quella delle glaciazioni.**
- **Tuttavia la forma e l'ampiezza degli effetti non coincidono con quelle della forzante: questo indica la presenza nel sistema Terra di inerzie e reazioni.**
- **La correlazione della temperatura con l'anidride carbonica ed il metano, che sono a loro volta delle forzanti, indica la presenza di meccanismi d'amplificazione nel sistema Terra.**

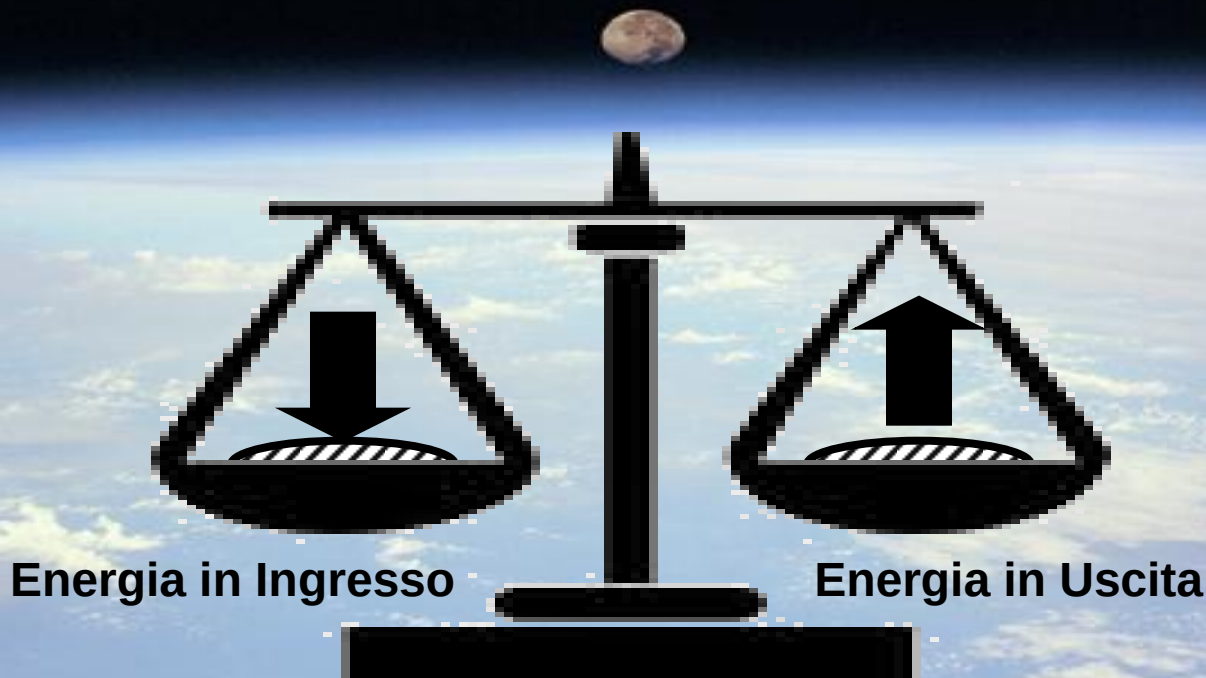
Concetto di "forzante"

Nel caso di un equilibrio, di una situazione stazionaria o incerta, la "forzante" è un fattore aggiuntivo che interviene condizionando l'evoluzione del sistema.

A dramatic sky with sunbeams and clouds. The sun is low on the horizon, creating a series of bright, golden rays that fan out across a deep blue sky. The clouds are scattered, with some appearing as soft, white wisps and others as more dense, dark patches. The overall effect is one of natural beauty and power.

Bilancio radiativo

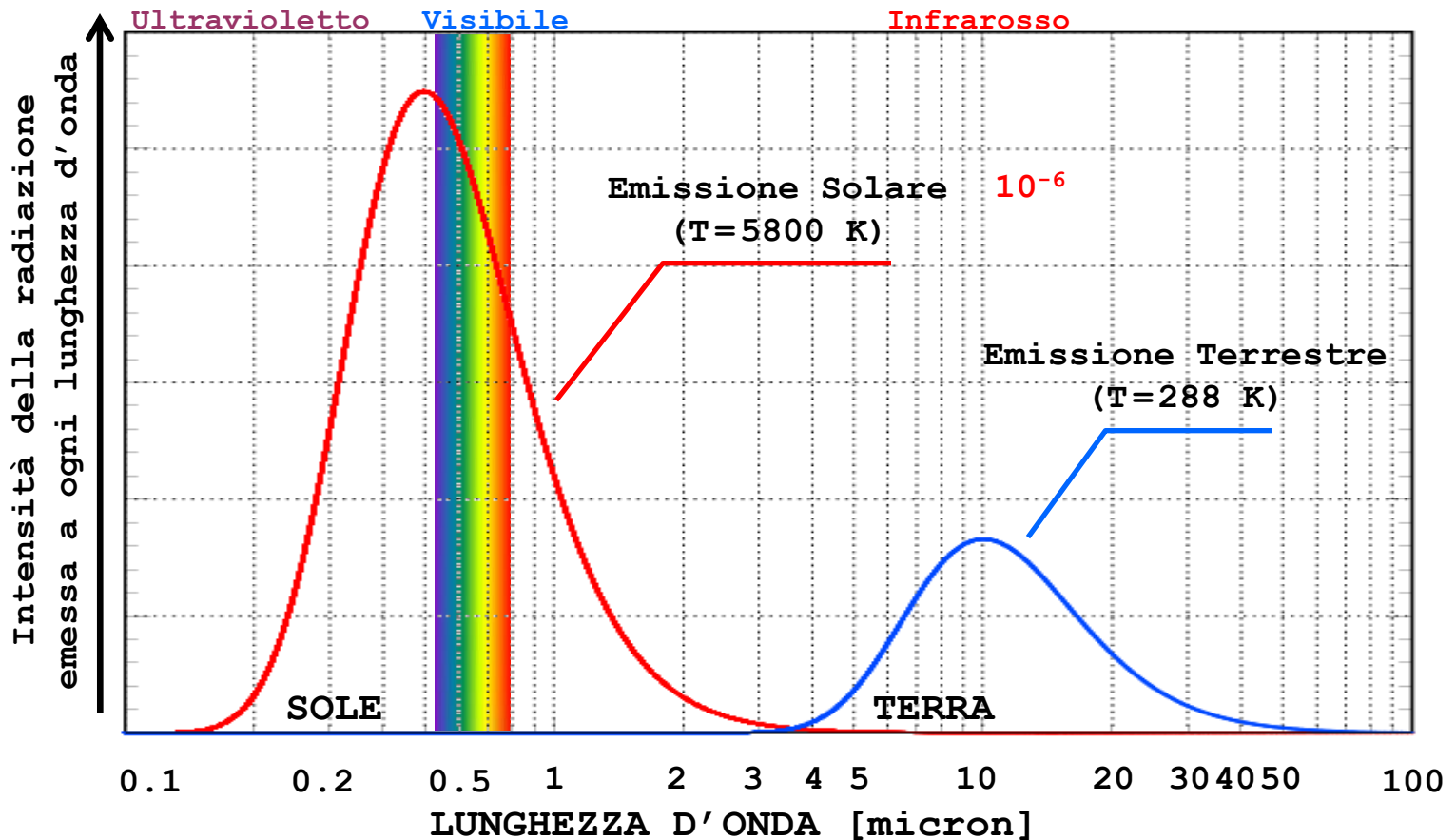
**La TERRA, come tutti i pianeti,
ha una temperatura media determinata dall'equilibrio fra
l'ENERGIA IN INGRESSO al pianeta
e l'ENERGIA IN USCITA dal pianeta.**

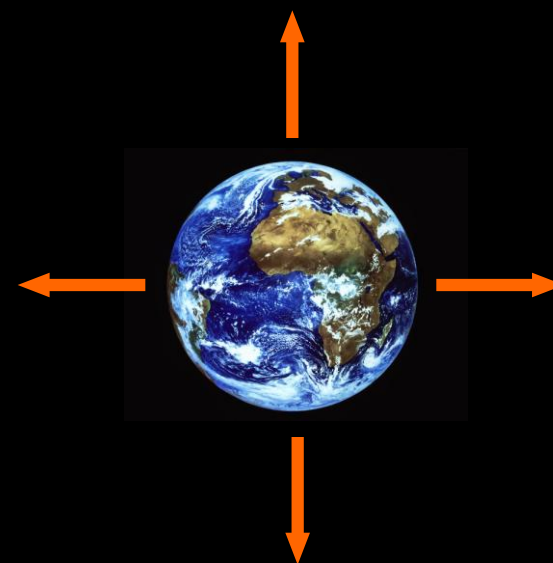
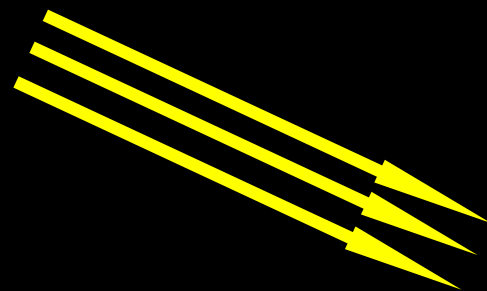
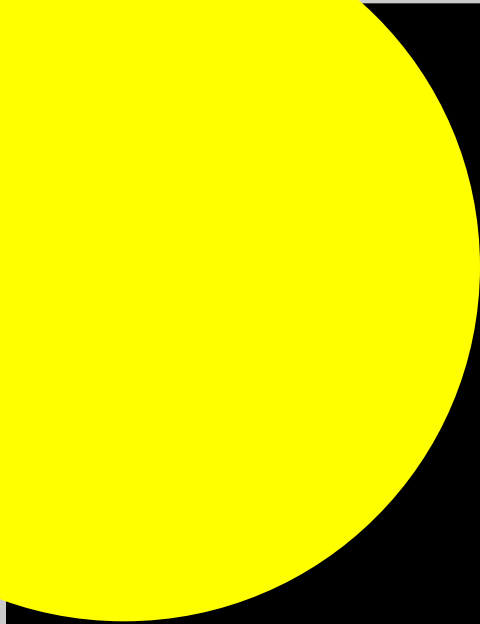


Il Sole riscalda la Terra nel visibile

La Terra si raffredda nell'infrarosso

In media l'energia scambiata è di 235 W/m^2





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

Perturbazioni dell'equilibrio

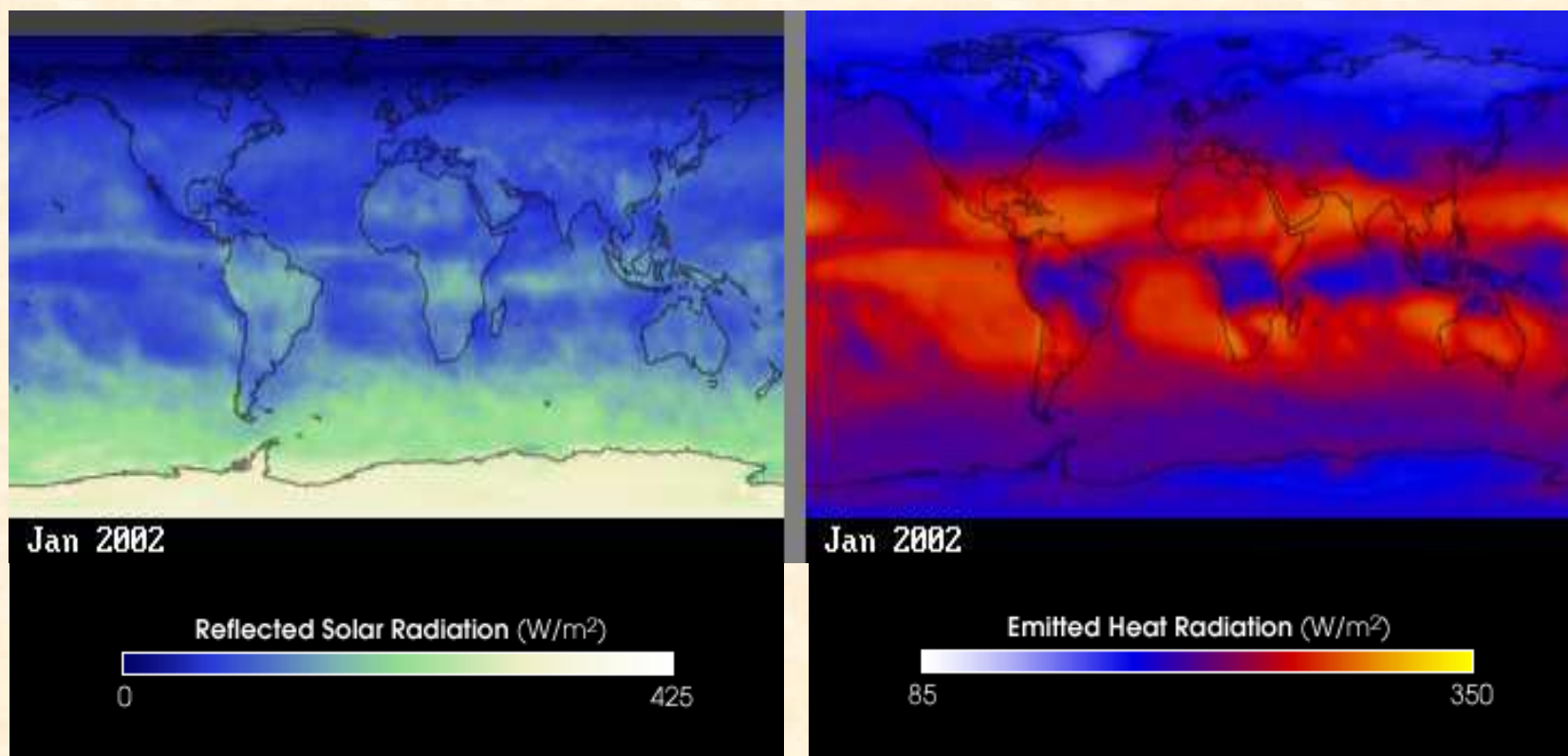
Perturbazione dell'energia in ingresso:

- **Variazione della radianza solare**
- **Variazione dell'albedo terrestre**

Perturbazione dell'energia in uscita

- **Cambiamento della temperatura terrestre**
- **Variazione dell'effetto serra**

Bilancio radiativo della Terra

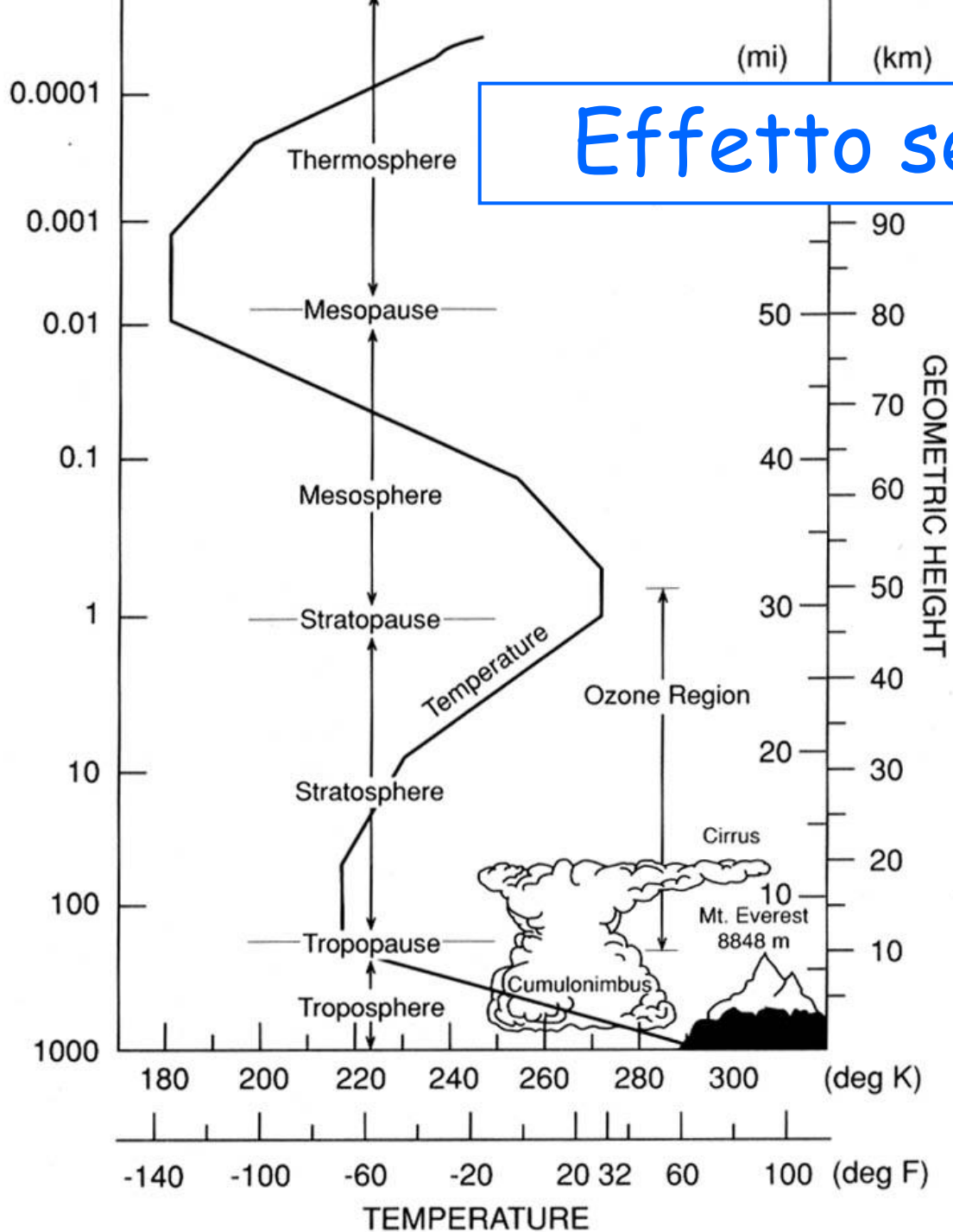


- Radiazione solare riflessa (visibile) ed emissione termica (IR)

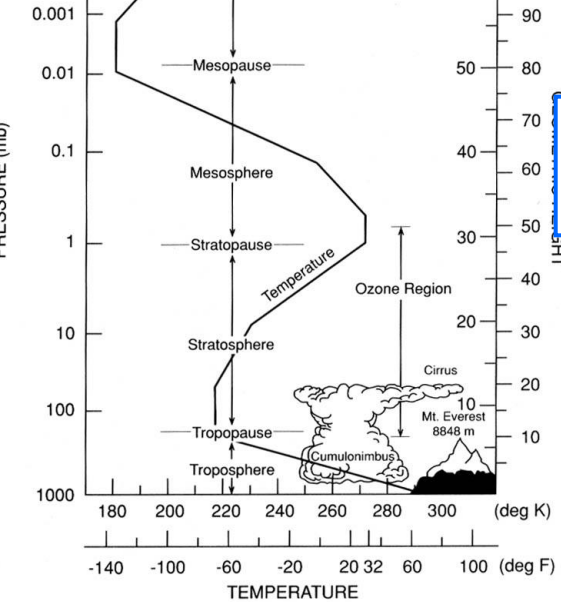
A photograph of a greenhouse interior. The structure has a high, vaulted glass roof supported by a metal frame. Inside, there are long, raised concrete beds filled with various green plants, including large-leafed species and some with small white flowers. A central concrete walkway runs through the middle of the beds. A yellow hose is coiled on the floor of the walkway. The lighting is bright, coming from the glass panels, creating a warm and humid atmosphere. The text "Effetto serra" is overlaid in the center of the image.

Effetto serra

Effetto serra

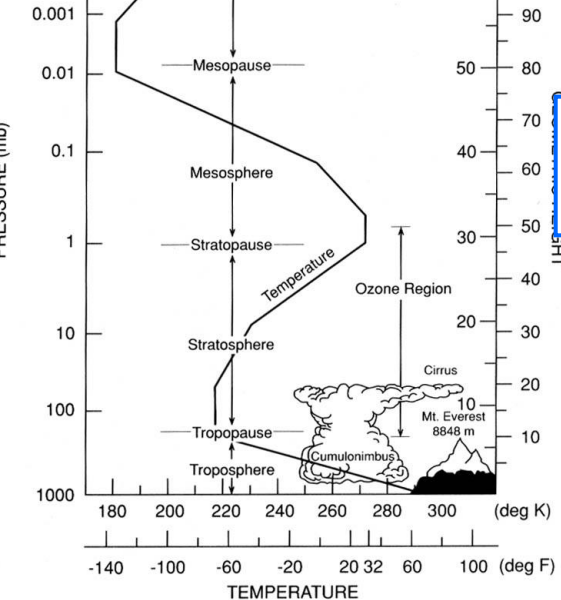


La temperatura dell'atmosfera è inferiore alla temperatura della superficie terrestre



Effetto serra

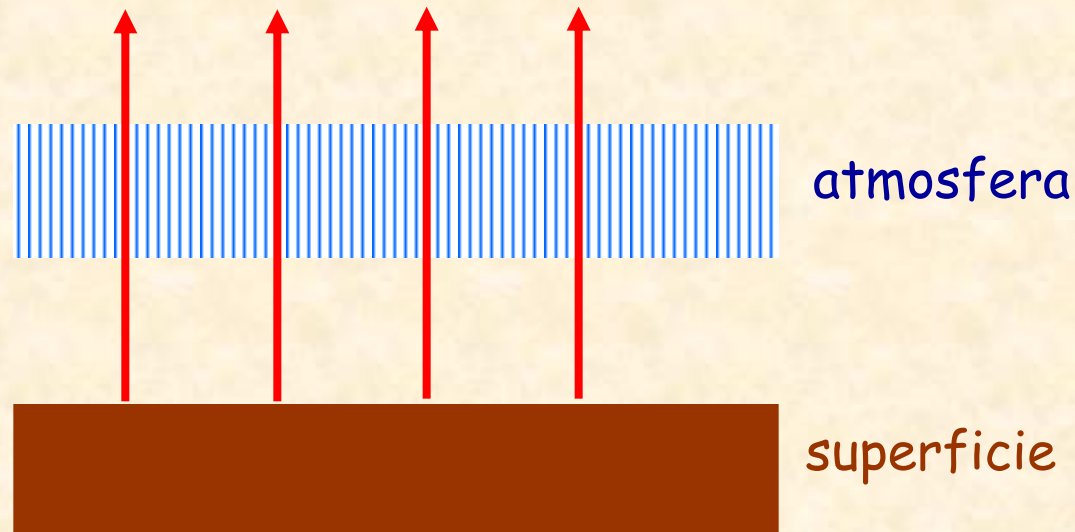
La temperatura dell'atmosfera è inferiore alla temperatura della superficie terrestre

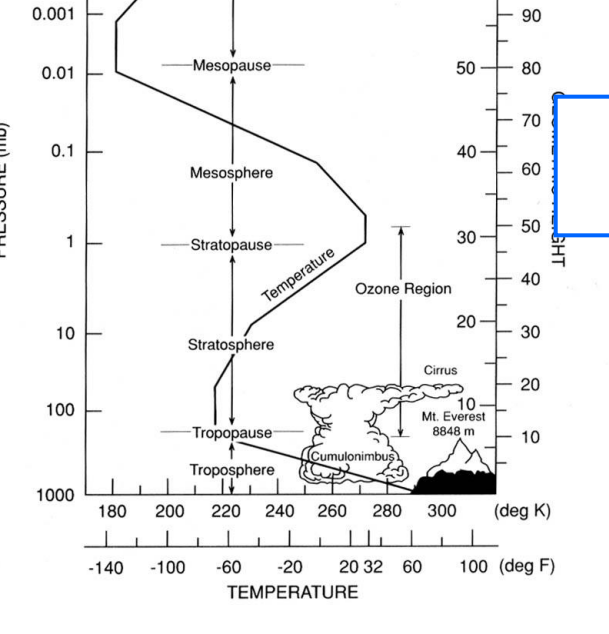


Effetto serra

La temperatura dell'atmosfera è inferiore alla temperatura della superficie terrestre

Quando l'atmosfera è trasparente, la superficie emette verso lo spazio

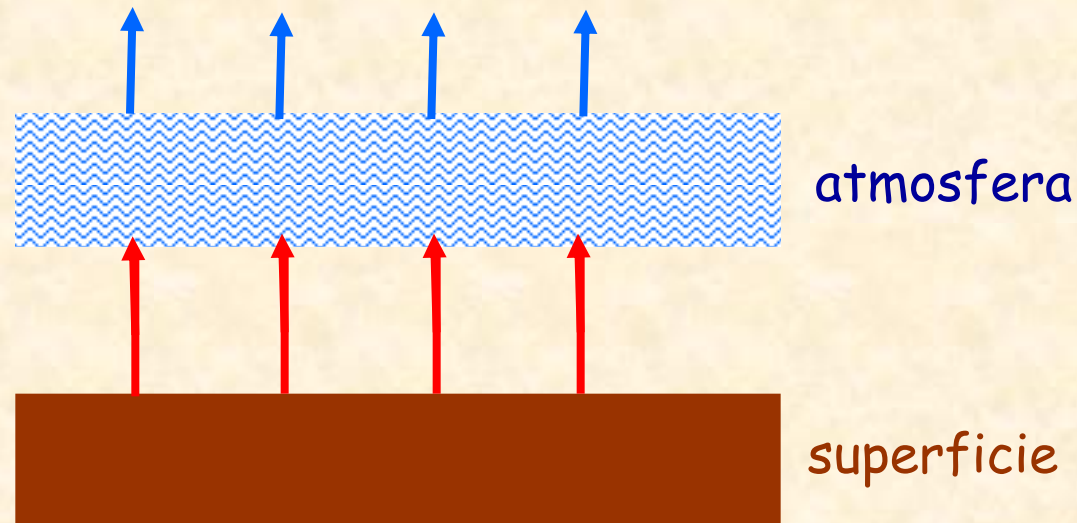


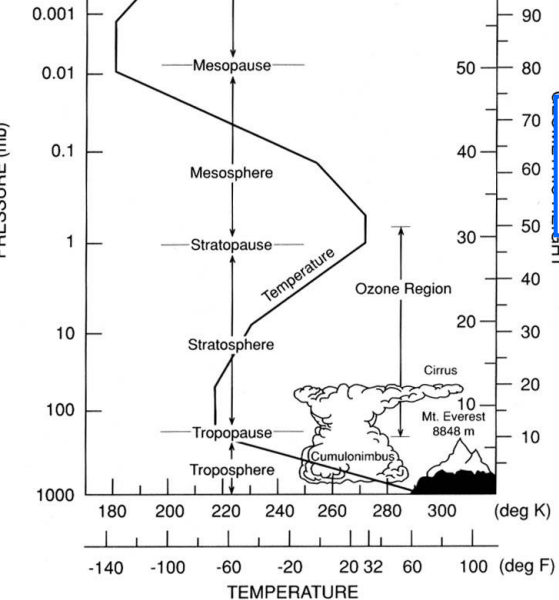


Effetto serra

La temperatura dell'atmosfera è inferiore alla temperatura della superficie terrestre

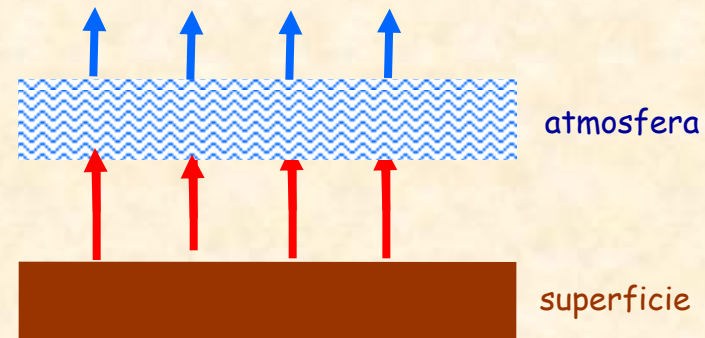
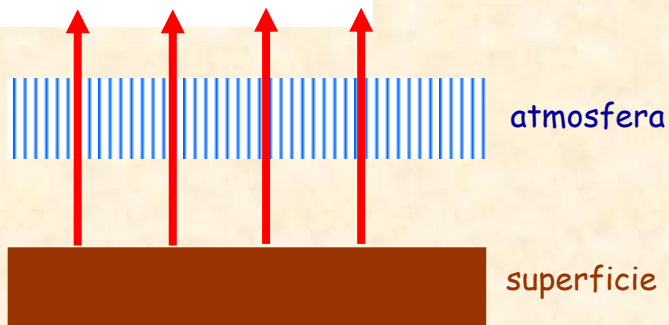
Quando l'atmosfera è opaca, l'atmosfera stessa emette verso lo spazio





Effetto serra

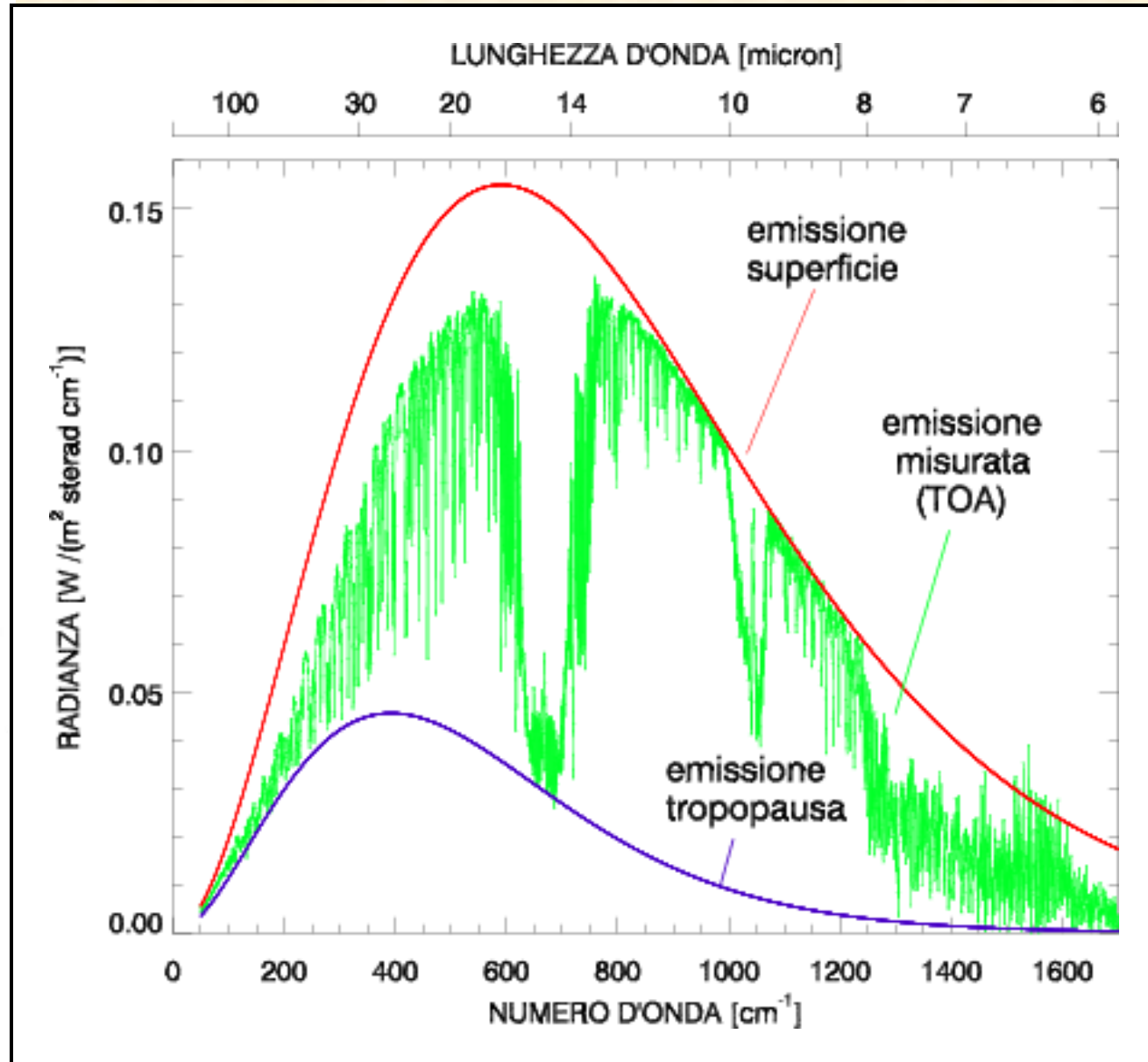
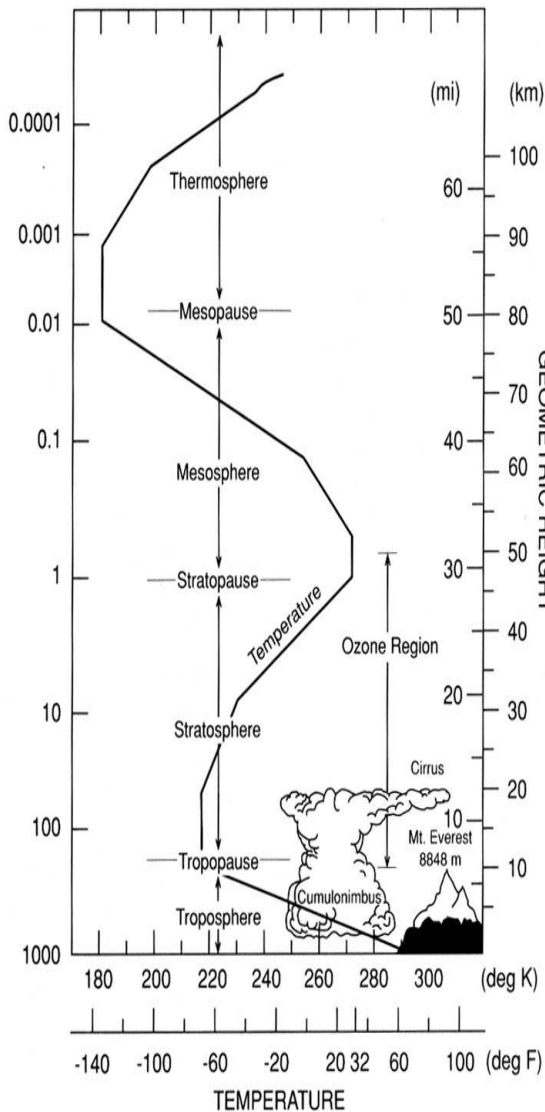
La temperatura dell'atmosfera è inferiore alla temperatura della superficie terrestre



L'effetto serra è il riscaldamento del pianeta dovuto alla sua emissione ridotta a causa dell'opacità dell'atmosfera.

Radiazione emessa alla sommità dell'atmosfera

Atmospheric Chemistry and Global Change



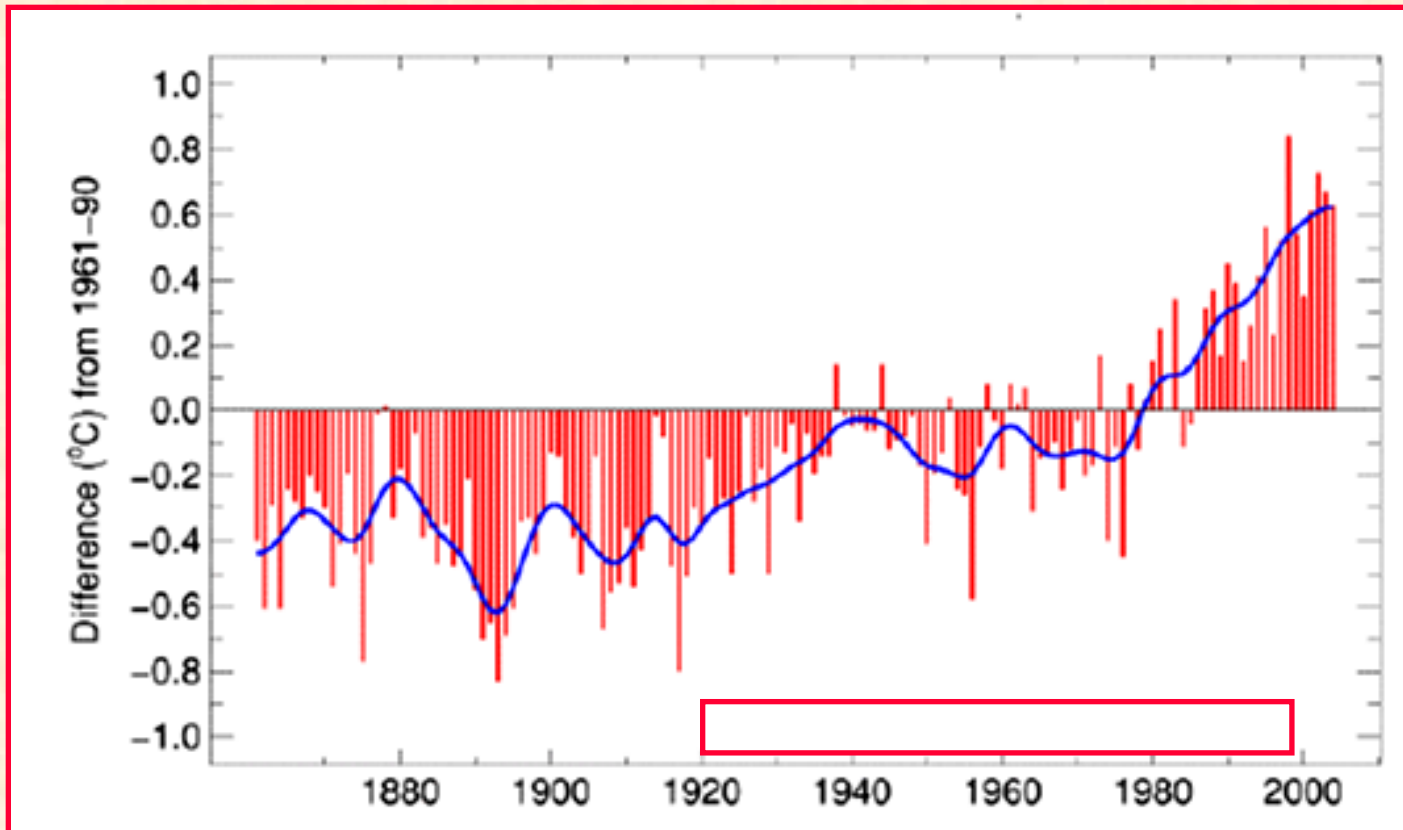
I gas serra

Sono gas serra:

- **Vapore acqueo**
- **Anidride carbonica**
- **Metano**
- **Ozono**
- **Protossido d'azoto**
- **CFC**

*Il clima attuale
e i cambiamenti osservati*

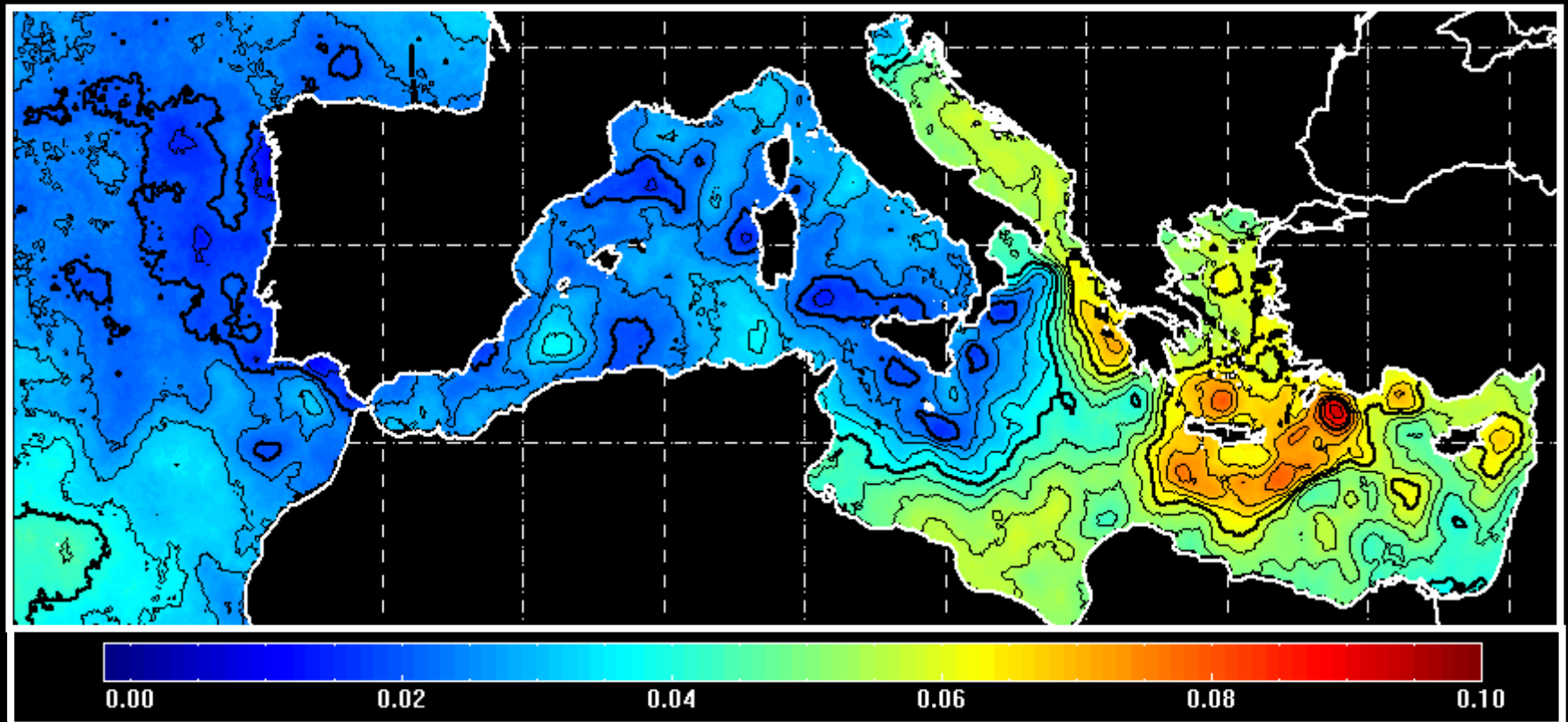
Temperatura della superficie



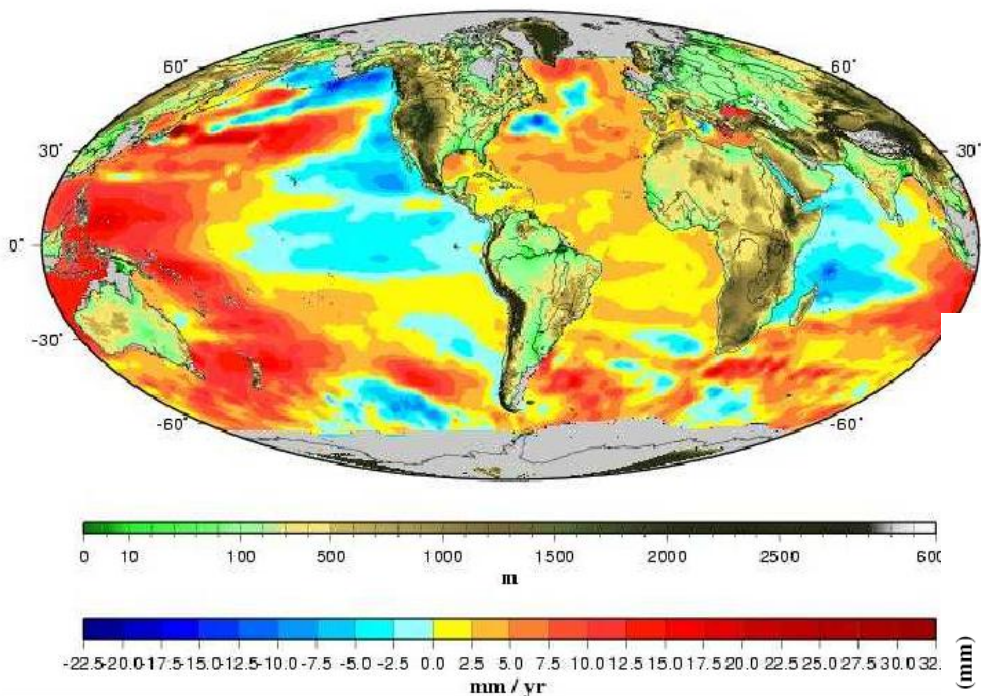
Temperatura
della Terra

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

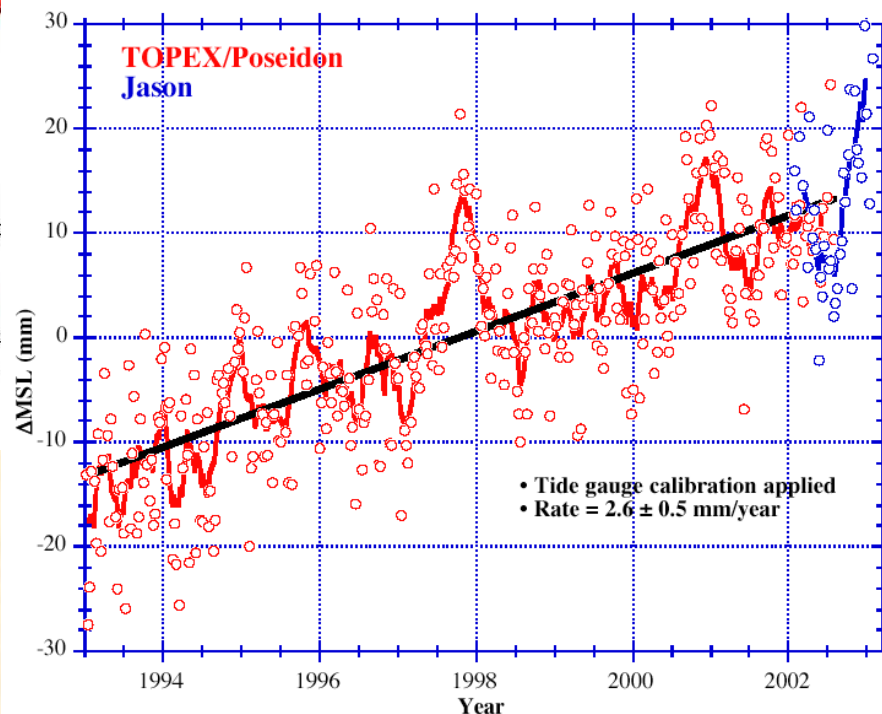


Livello del mare

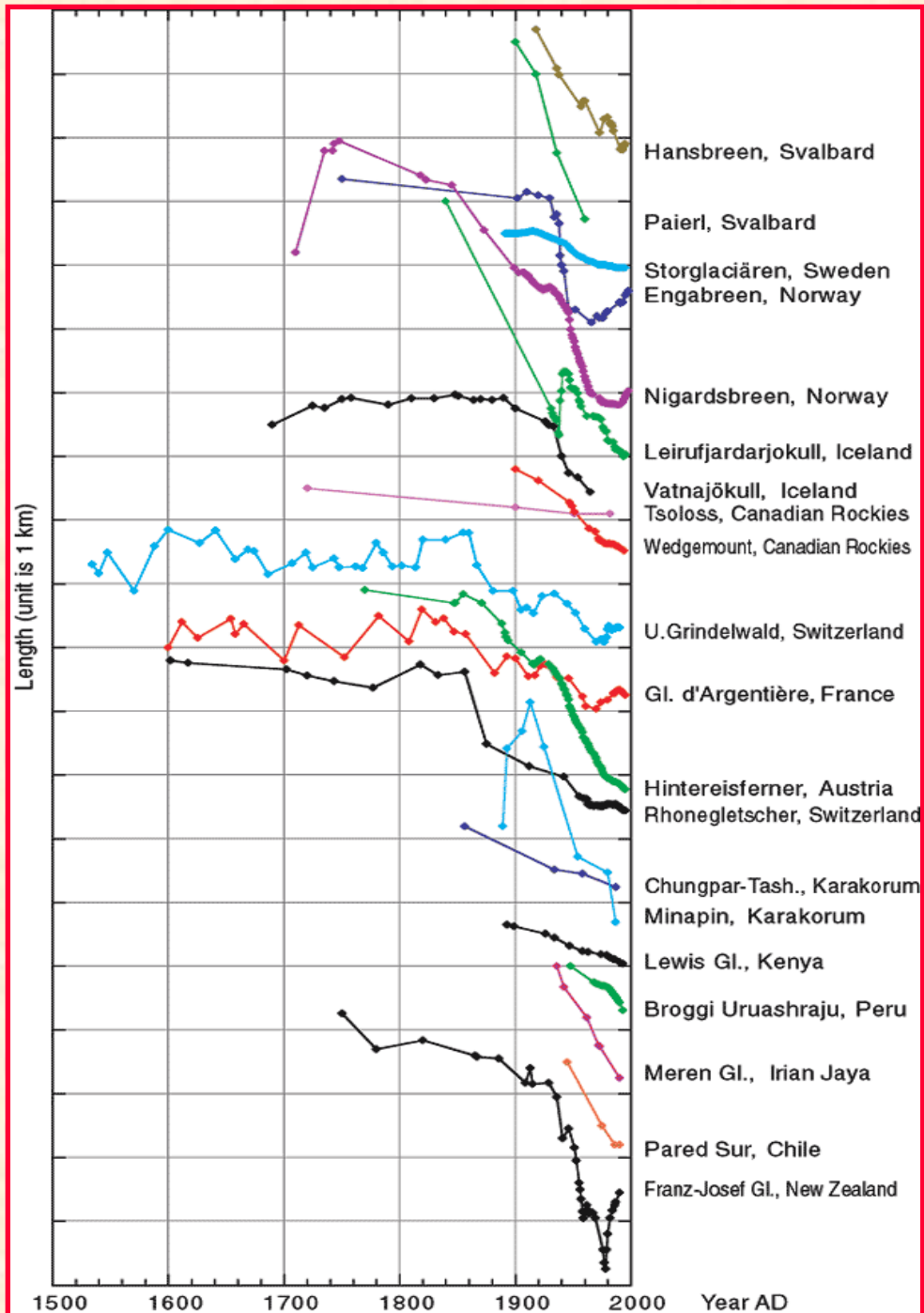


[Figure from Cazenave and Nerem, 2003]

Osservazioni da satellite del livello del mare



Arretramento dei ghiacciai



Scoglimento del ghiaccio artico



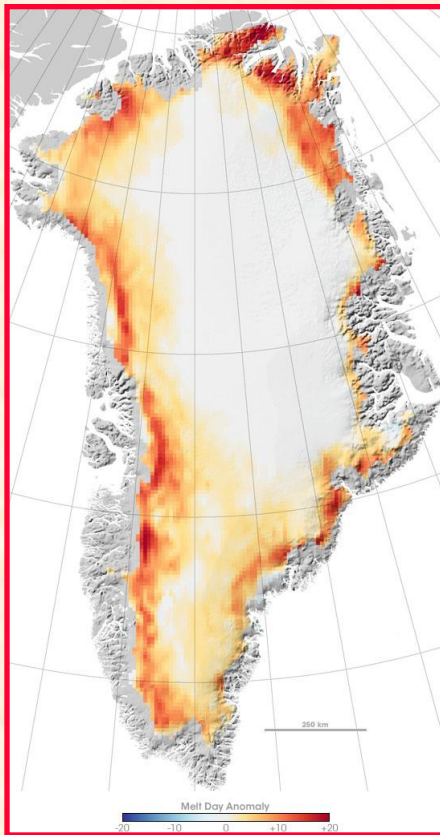
Effetti sugli animali

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

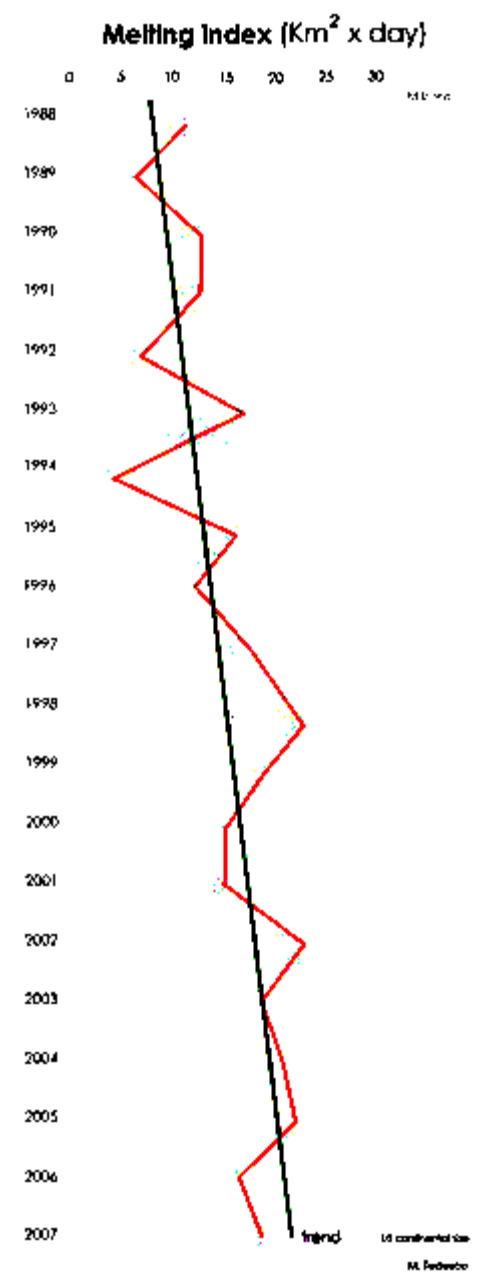
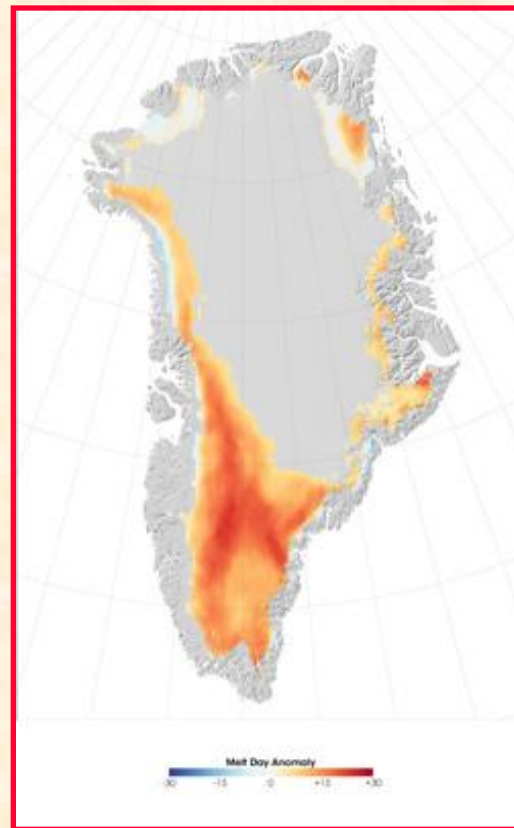


Lo scioglimento del ghiaccio della Groenlandia. (Prove contrastanti)

2005

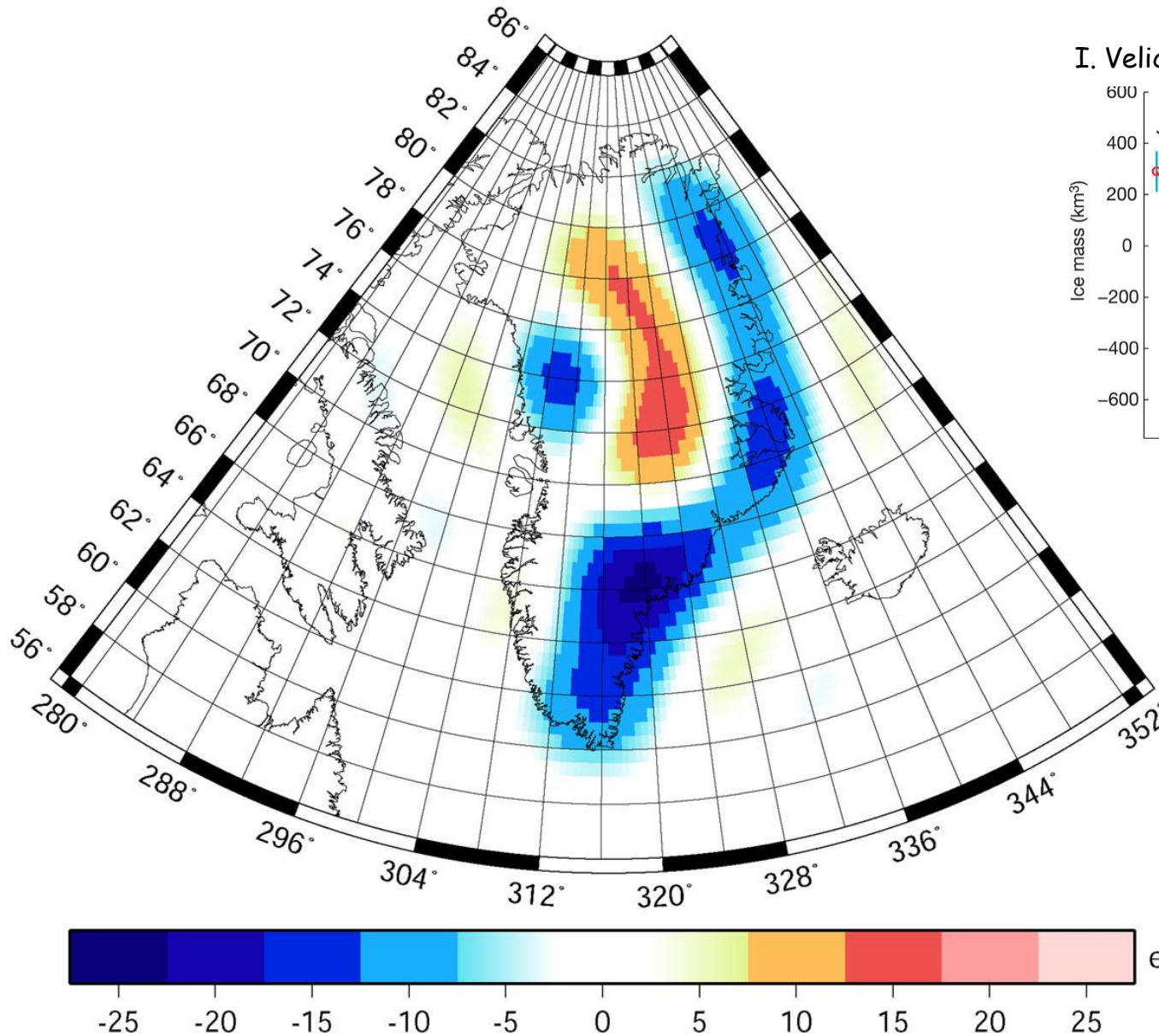


2007

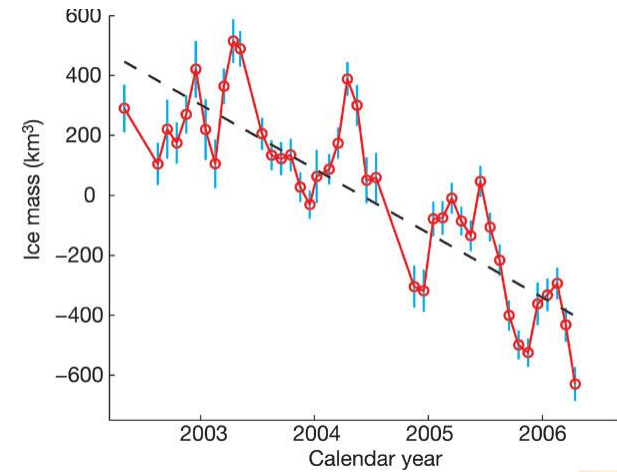


Giorni di ghiaccio sciolto rispetto alla media dal 1988. Misure microonde.

Greenland Mass Trend from GRACE



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



Falsi cambiamenti climatici

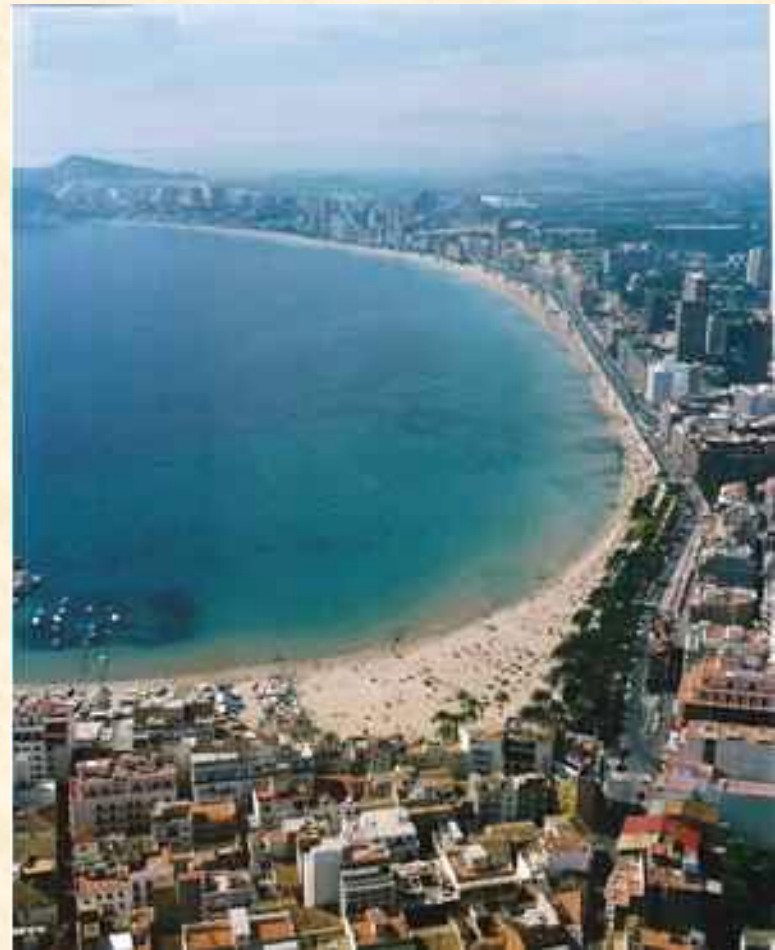


Le “bolle di calore” dovute alla cementificazione

Falsi cambiamenti climatici



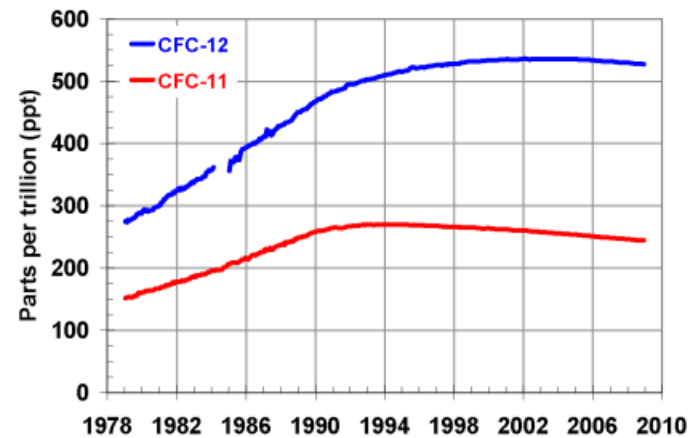
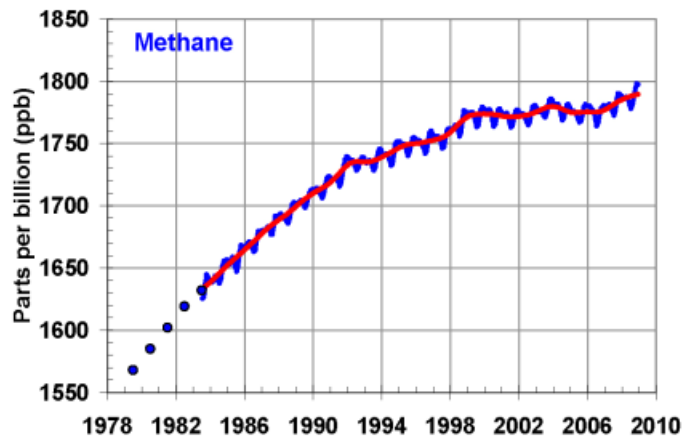
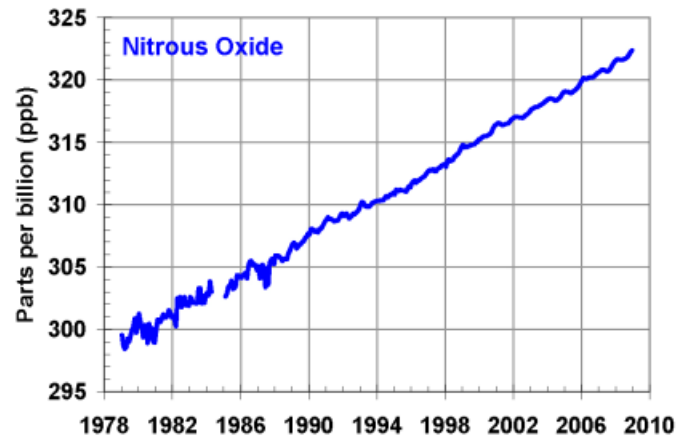
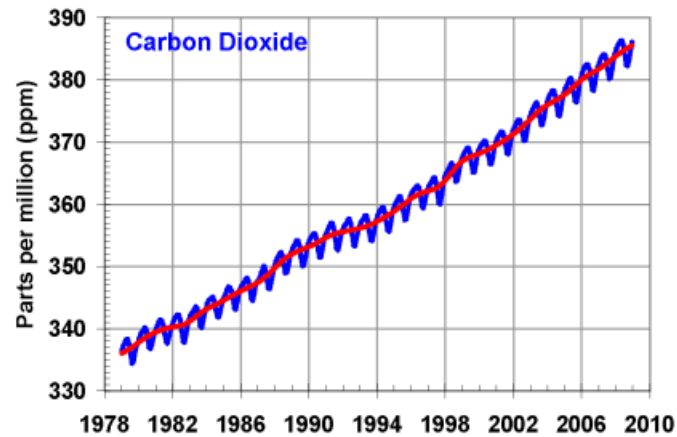
**Arretramento
della linea di
costa**

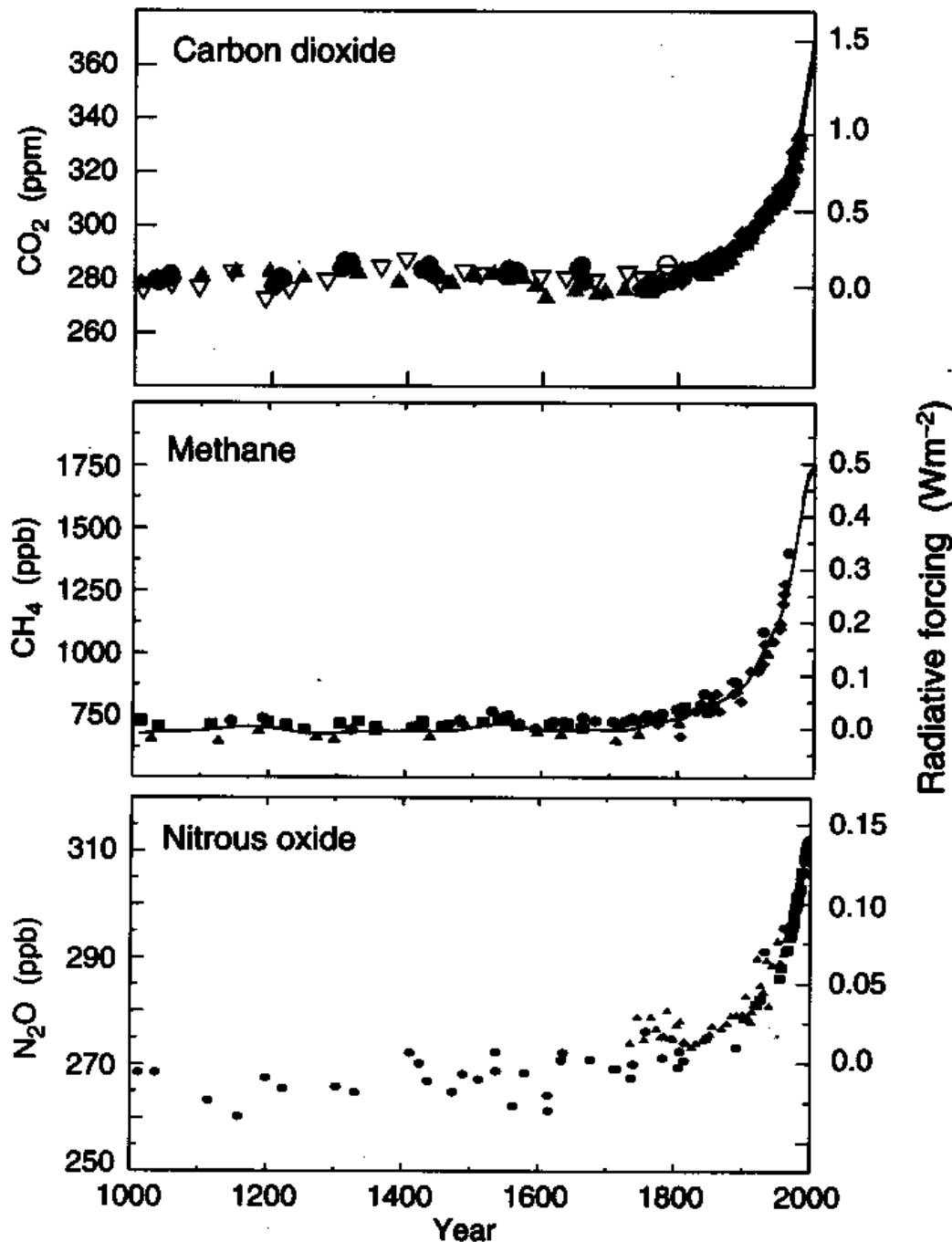


An aerial photograph of a large hurricane or tropical storm. The storm features a prominent, dark, circular eye at its center, surrounded by dense, swirling white and grey clouds. The outer edges of the storm show more organized cloud bands. In the upper left corner, a portion of a landmass with green and brown terrain is visible. The text "Le azioni forzanti" is written in a red, italicized serif font across the middle of the image.

Le azioni forzanti

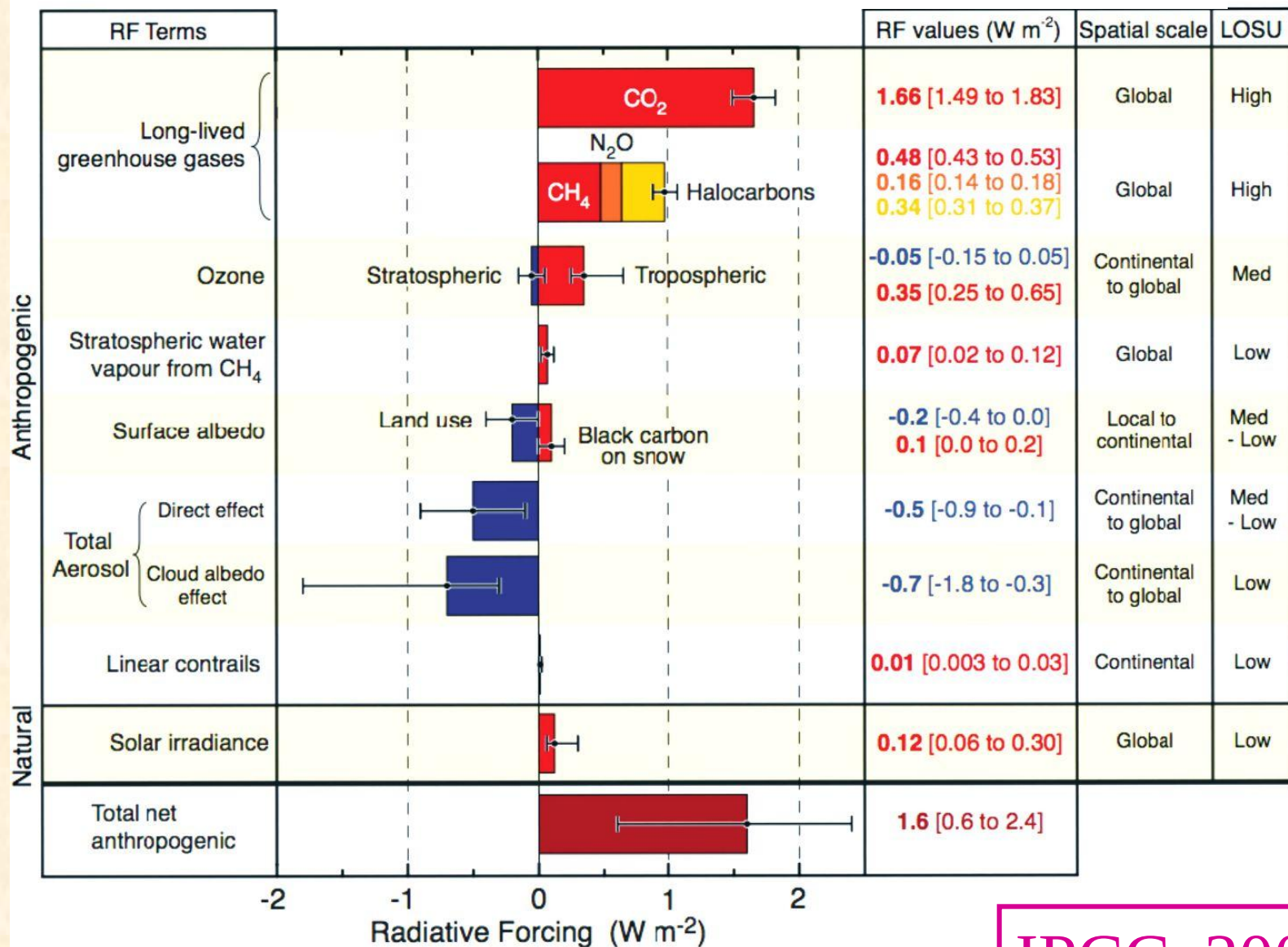
I gas serra





Variazione dei
principali gas
serra negli ultimi
1000 anni e
relativo effetto
forzante.
Calcolo al 2000

Azioni forzanti



IPCC 2007

*Attribuzione
dei cambiamenti*

Attribuzione

Il riscaldamento osservato è dovuto a cause antropiche (i gas serra) o a cause naturali (astronomiche) ?

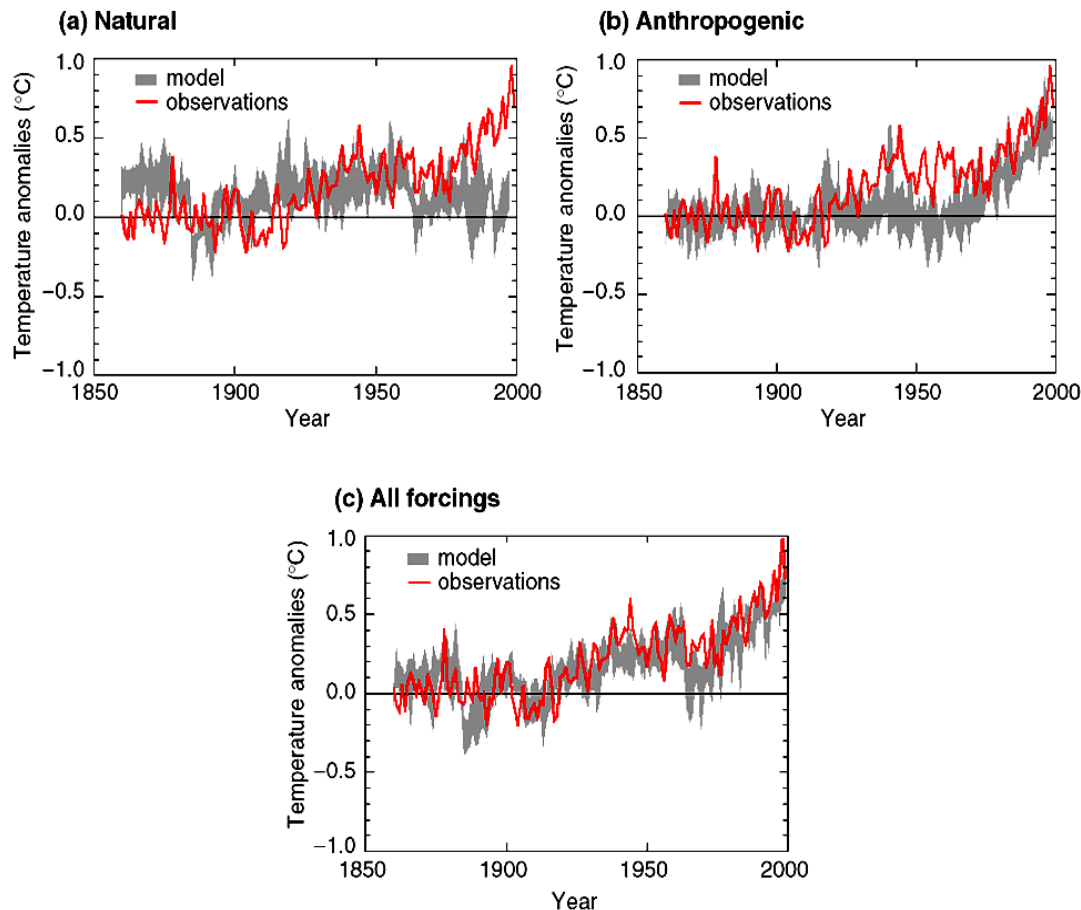
Valutazione semplicistica

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.

Stime dei modelli

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 wide-angle photograph of a beach at low tide. The foreground and middle ground are filled with dense, rhythmic sand 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 stylized, bold, yellow font with a slight shadow.

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 snowy evergreen tree, likely a Christmas tree, decorated with warm white lights and covered in icicles. The tree is set against a bright, overexposed sky, creating a high-contrast, wintry scene. The word "Conclusioni" is overlaid in a stylized, italicized font.

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.**

