



Introduzione al sistema climatico terrestre



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



Osservazioni di stato e tendenza

Federico Porcù (porcu@fe.infn.it)

Dipartimento di Fisica – Università di Ferrara

sistemi dinamici, non linearità, caos;

**componenti e caratteristiche del sistema
climatico terrestre;**

**un esempio di interazione tra
sottosistemi;**

forzanti e previsioni;



Il sistema climatico è un sistema complesso

non esiste una definizione univoca e generale
di sistema complesso

definiamo allora un sistema non complesso

sistema semplice o lineare o riducibile



linearità: l'effetto è proporzionale alla causa

riduzionismo: il sistema può essere compreso studiando separatamente le parti di cui è composto



caratteristiche di un sistema lineare:

- i componenti interagiscono tra loro in modo lineare;
- è riducibile;
- è predicibile;
- è descritto da pochi parametri.



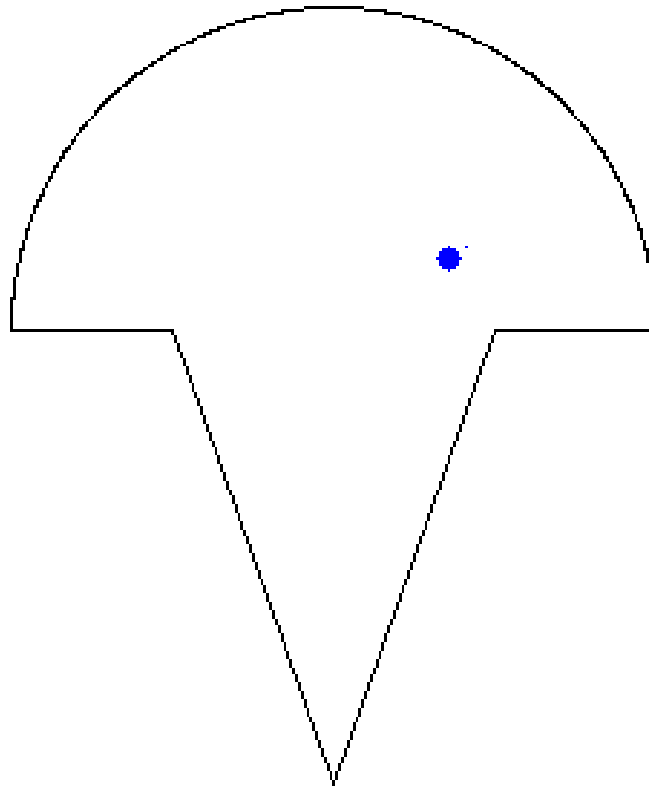
Caratteristiche di un sistema non lineare:

- non è possibile riconoscere il ruolo di ogni singolo elemento in un processo (meccanismi di retroazione);
- è non predicibile (caos, sensibilità alle condizioni iniziali);
- piccole perturbazioni possono dare grandi risposte e viceversa (mucchio di sabbia);
- fenomeni di auto-organizzazione (vortici, convezione).



Biliardo

sensibilità alle condizioni iniziali



Sistema di Lorenz

$$\dot{x} = \sigma(y - x)$$

$$\dot{y} = rx - y - xz$$

$$\dot{z} = xy - bz$$

$$x_{(t=0)} = 8$$

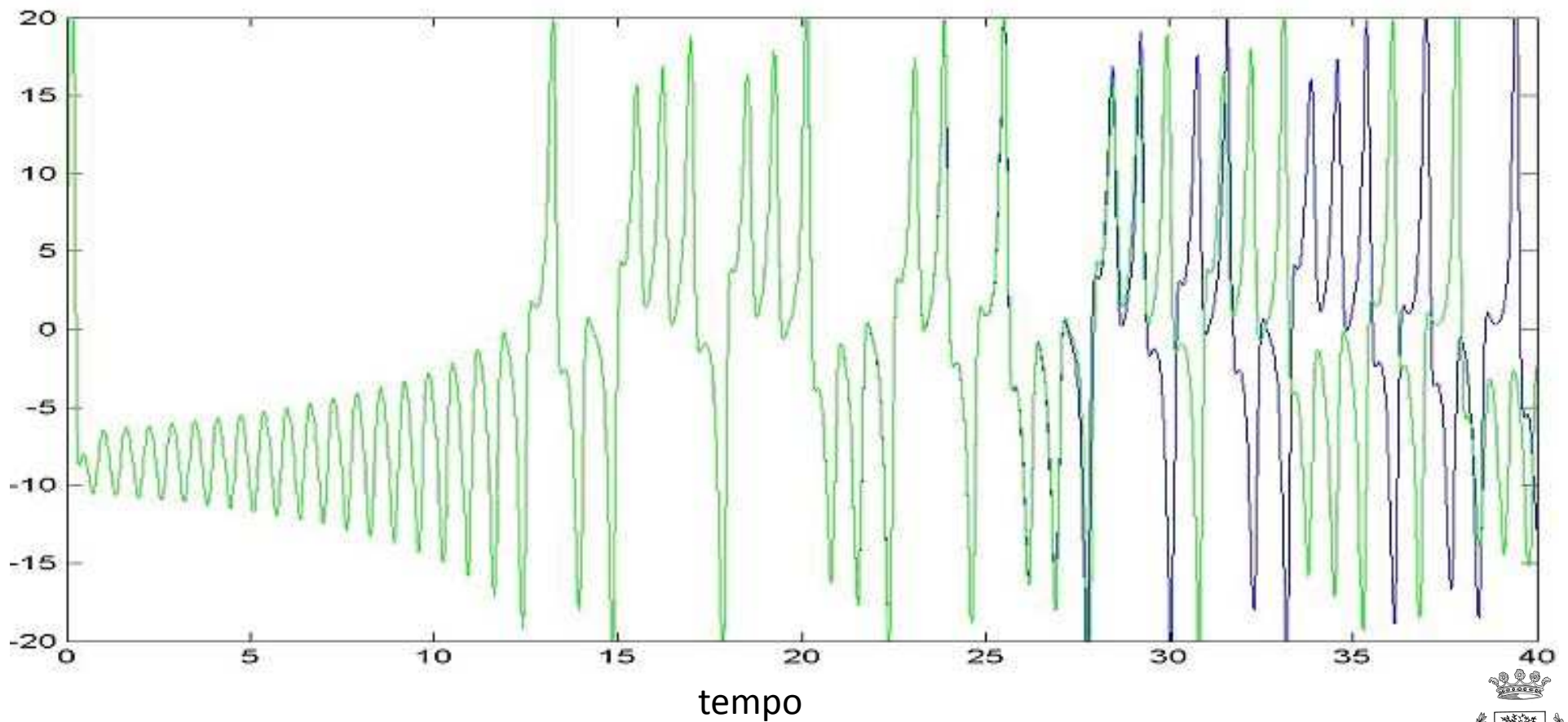
$$y_{(t=0)} = 1$$

$$z_{(t=0)} = 1$$

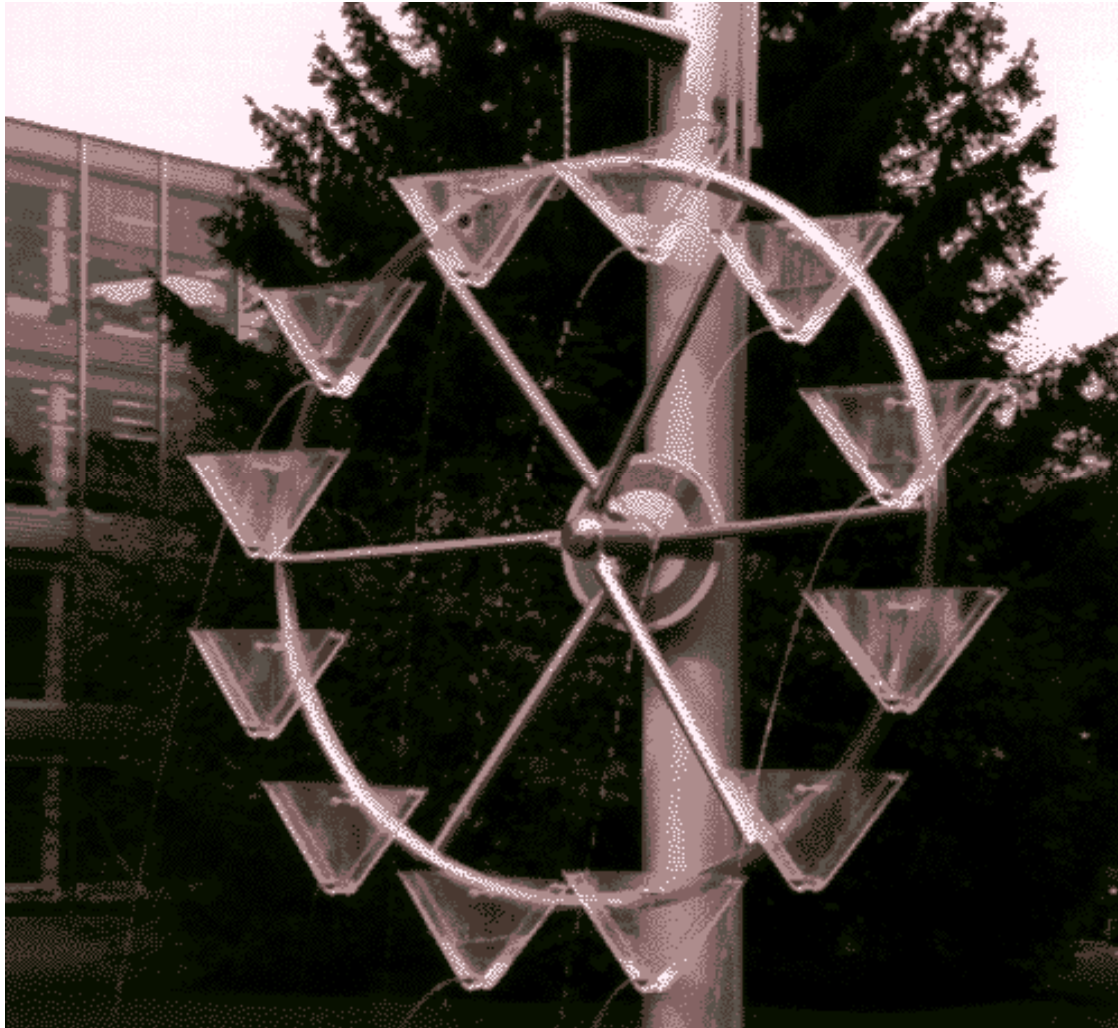
$$x_{(t=0)} = 8$$

$$y_{(t=0)} = 1.00000001$$

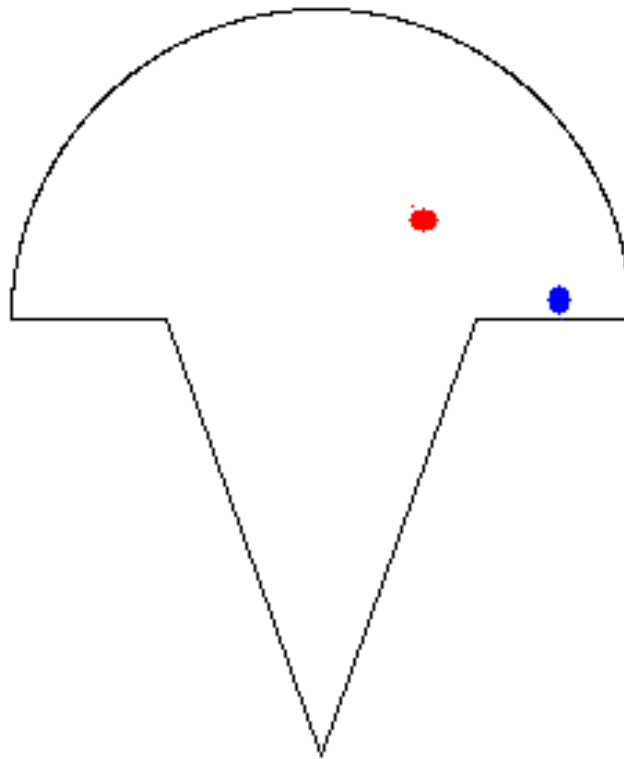
$$z_{(t=0)} = 1$$



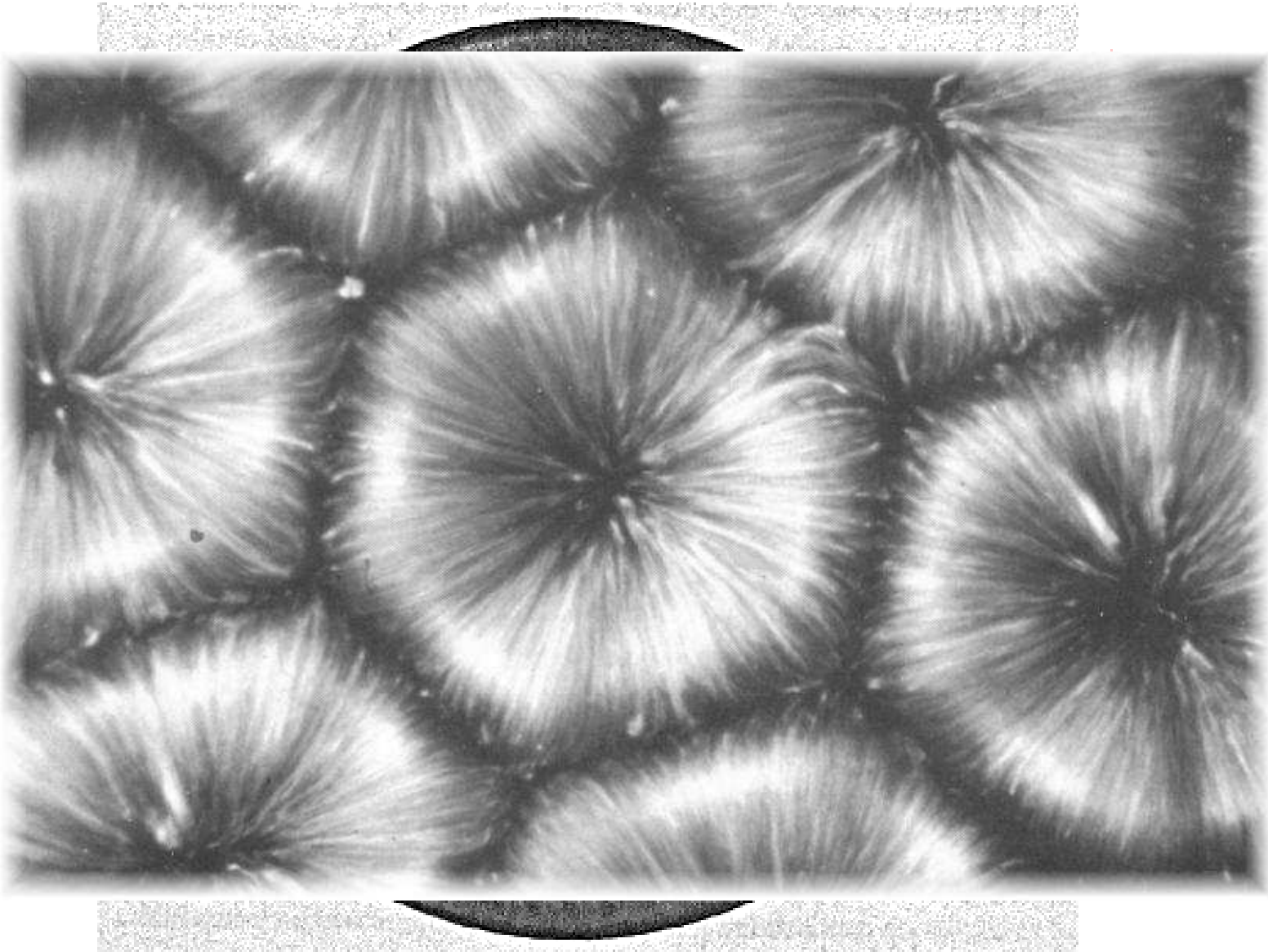
ruota ad acqua di Lorenz



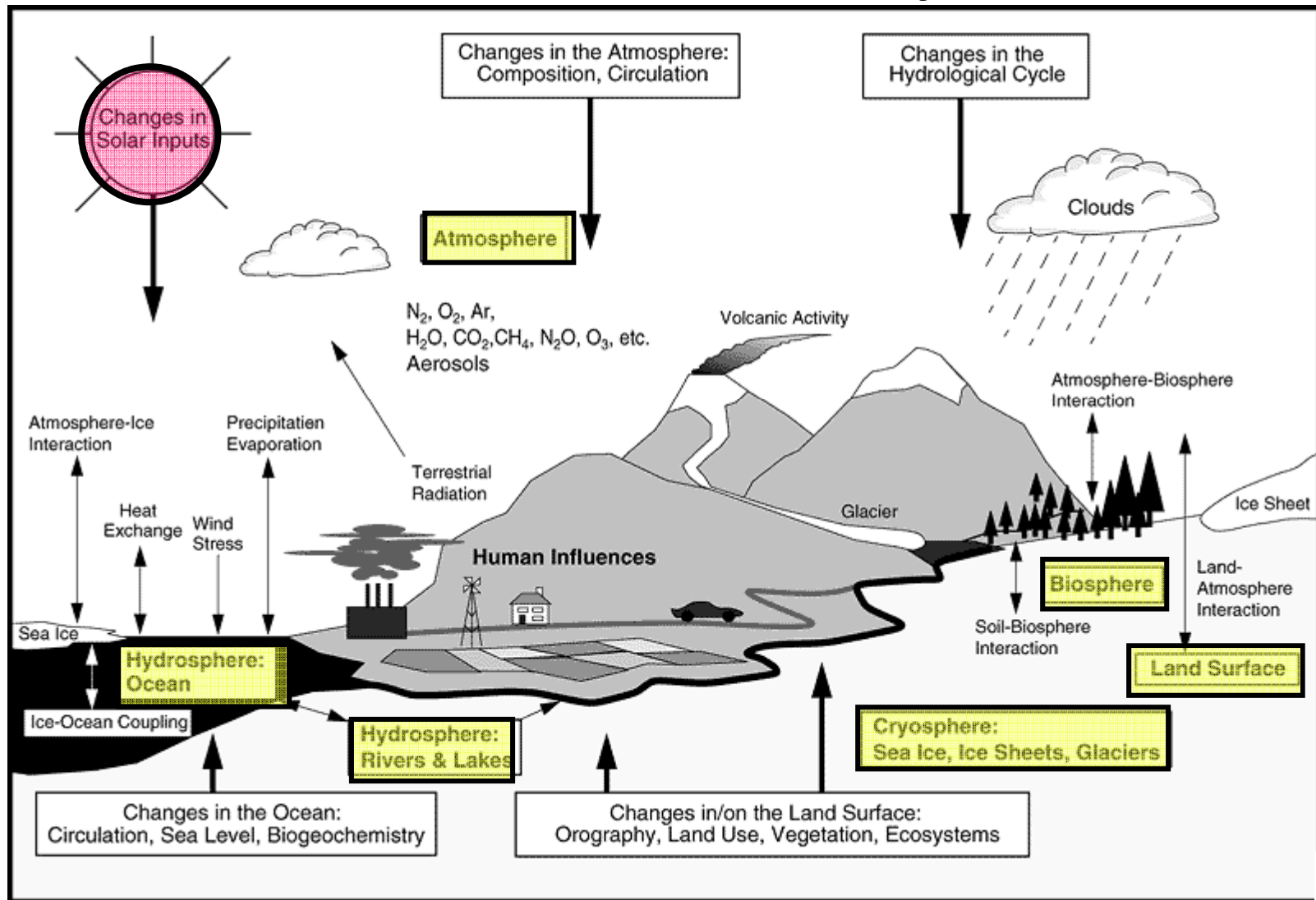
Biliardo ordine



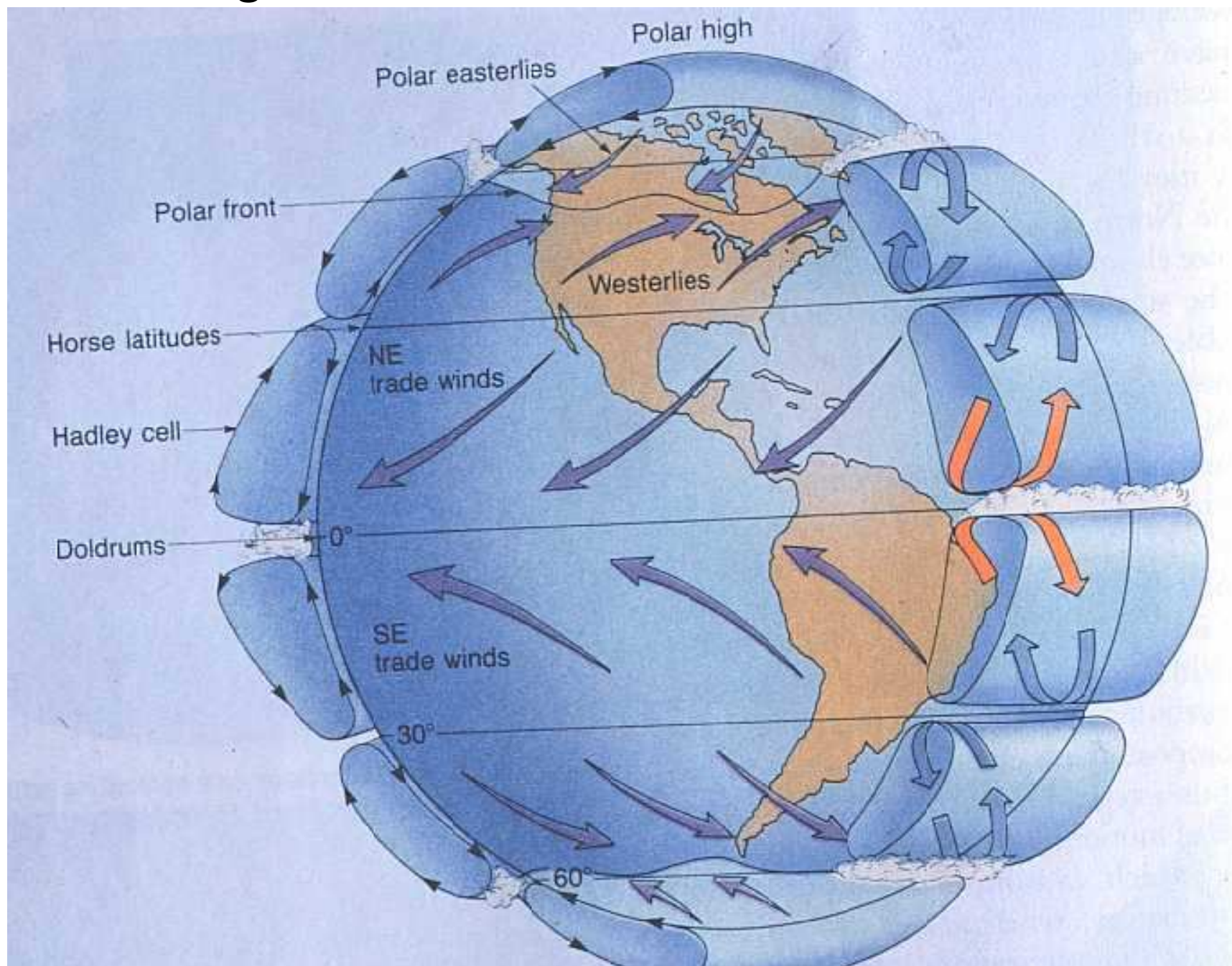
Convezione (Benard)



The Global Climate System



circolazione globale



meccanismi di retroazione (feed back)

una forzatura su una componente del sistema produce un effetto che modifica l'impatto della forzatura

feed back positivo: l'impatto aumenta
instabilità

feed back negativo: l'impatto diminuisce
stabilità



feed back negativo

aumento di T $\Rightarrow$ aumento di wv $\Rightarrow$ aumento di copertura
nubi $\Rightarrow$ aumento albedo planetaria $\Rightarrow$ diminuzione di T

feed back positivo

aumento di T $\Rightarrow$ aumento di wv $\Rightarrow$
aumento effetto serra $\Rightarrow$ aumento di T

diminuzione di T $\Rightarrow$ aumento ghiaccio superficiale $\Rightarrow$
aumento di albedo planetaria $\Rightarrow$ diminuzione di T



Effetto delle nubi sul bilancio energetico terrestre

Le nubi “raffreddano”:

riflettono parte della radiazione solare incidente, impedendole di riscaldare i bassi strati atmosferici e la superficie.

Le nubi “riscaldano”:

assorbono parte della radiazione terrestre, contribuendo all'effetto serra.

L'effetto netto dipende da:

- superficie;
- quantità e distribuzione di WV;
- latitudine;
- struttura microfisica e macrofisica della nube;

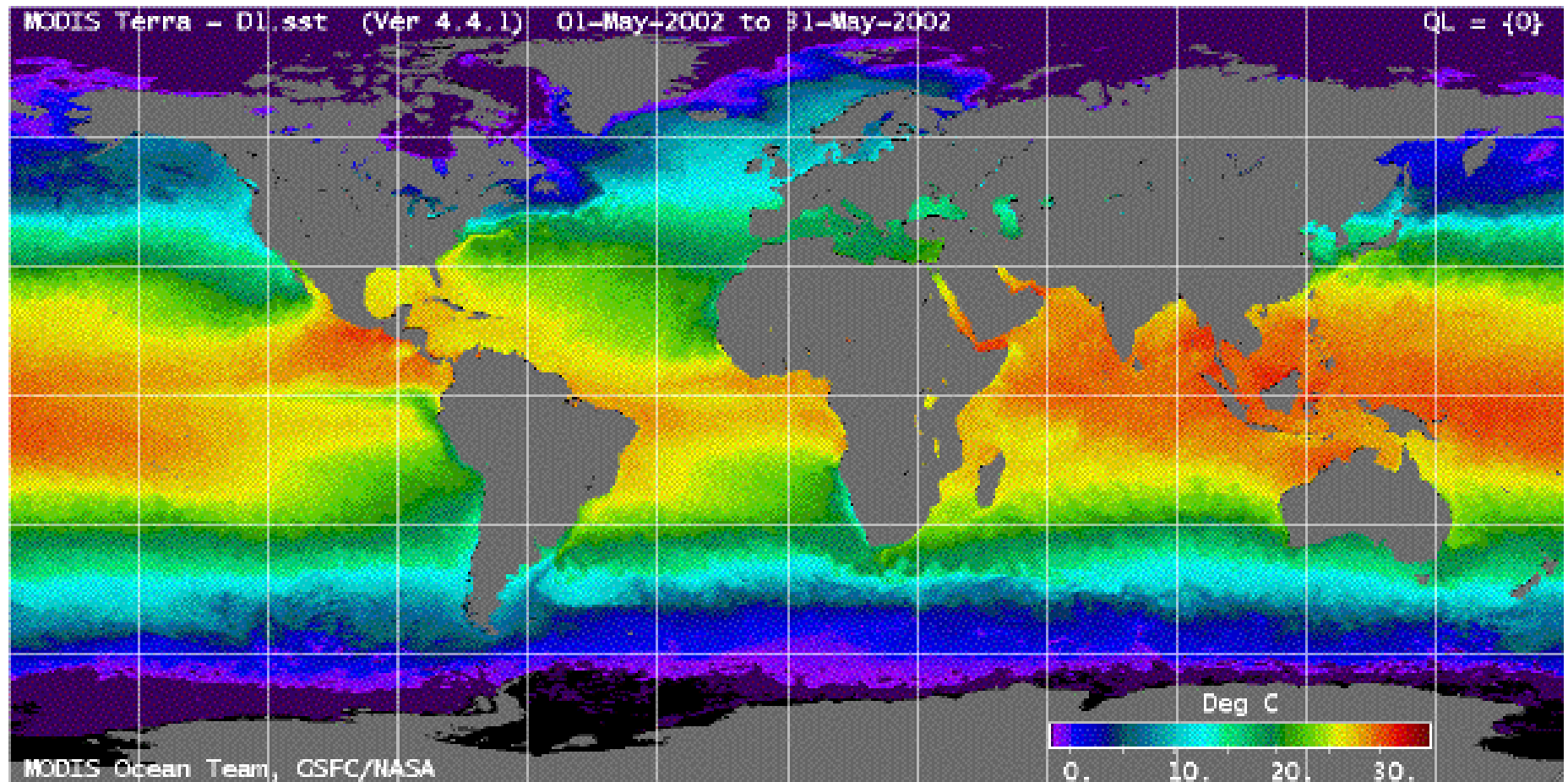


Interazione Atmosfera/Oceano

- l'atmosfera influenza l'oceano principalmente a causa dello stress del vento superficiale;**
- l'oceano influenza l'atmosfera principalmente a causa di anomalie nella temperatura della sua superficie (*Sea Surface Temperature SST*) e del conseguente flusso verticale di calore sensibile e latente.**

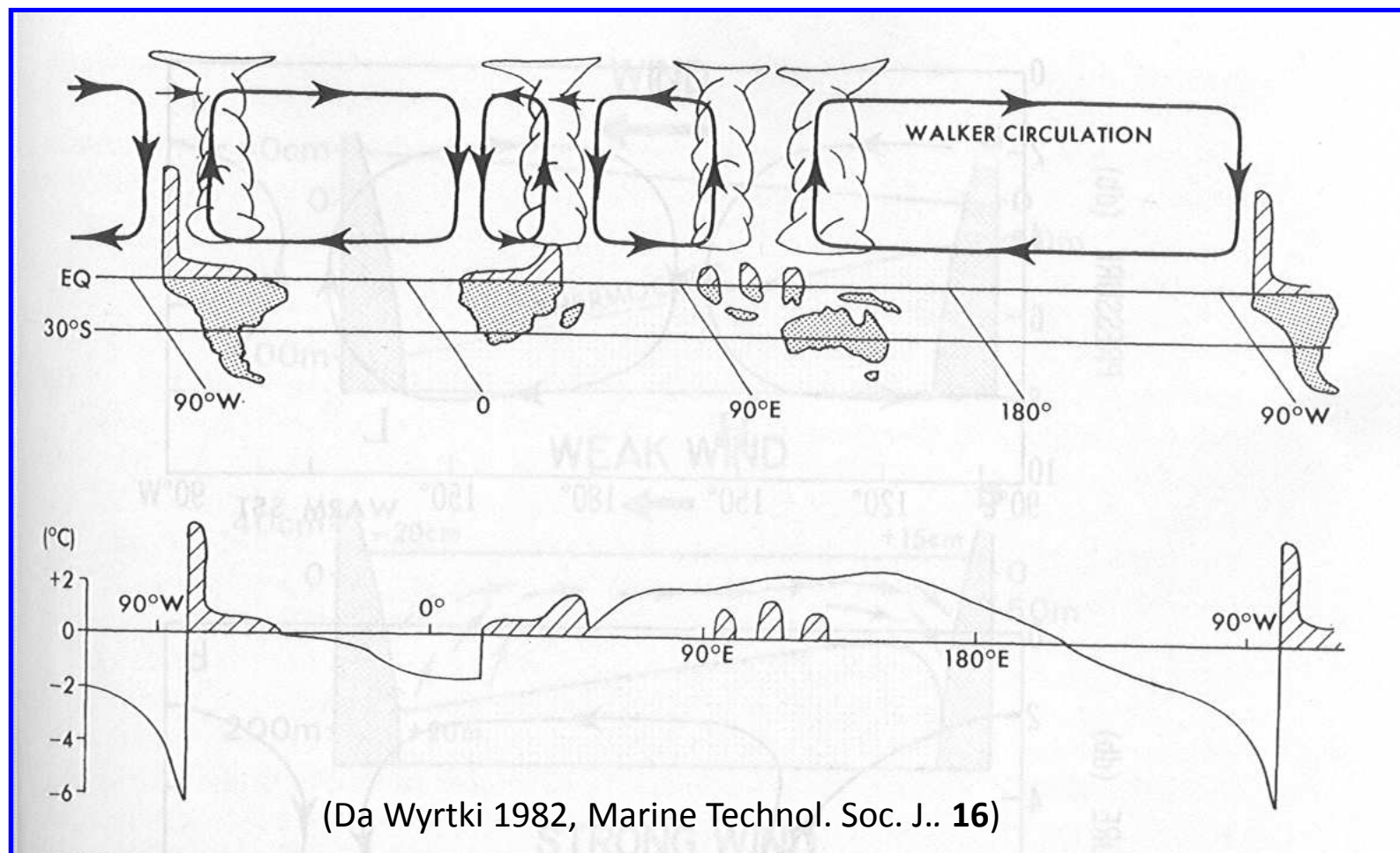


temperatura media oceanica

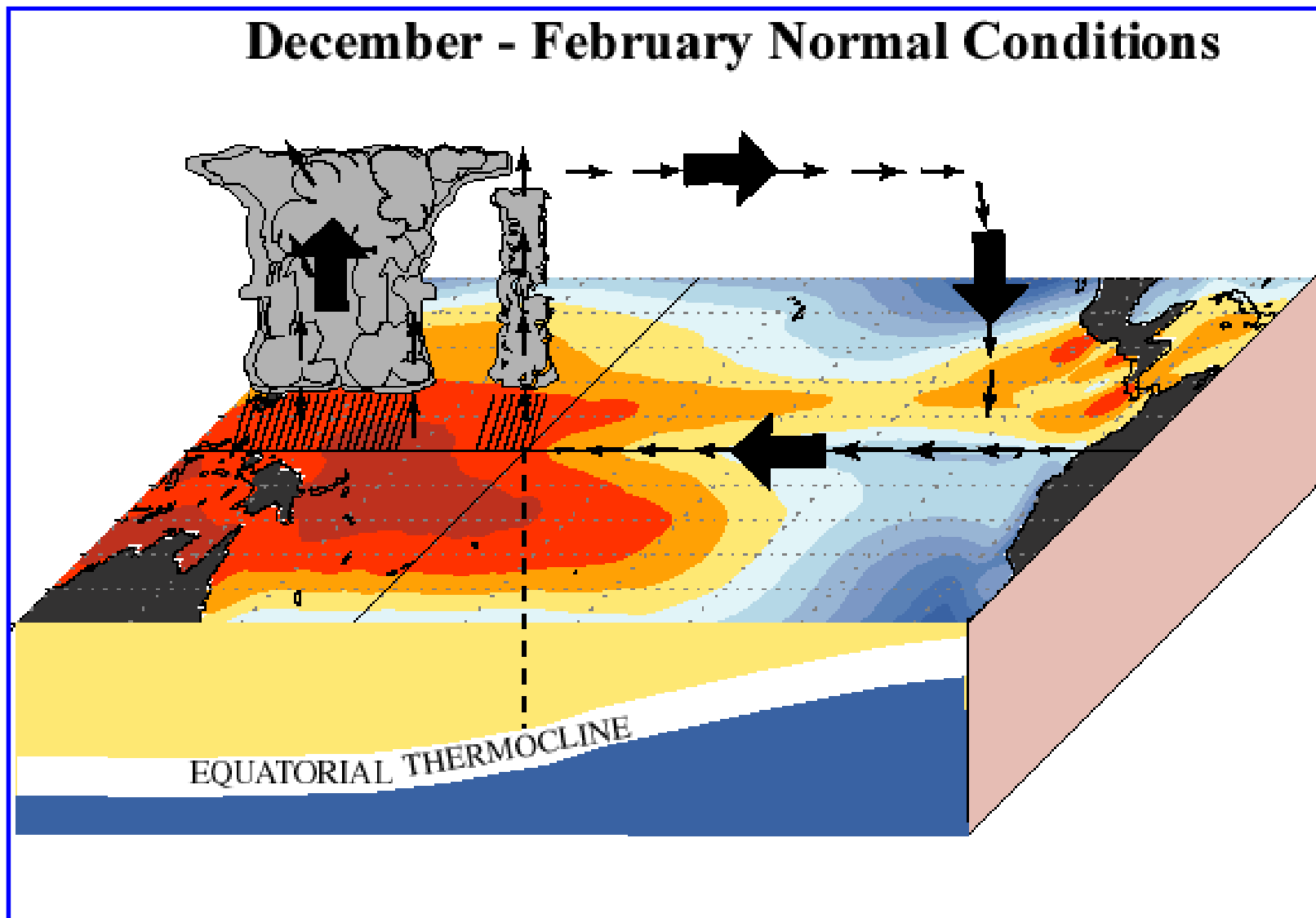


Circolazione Atmosferica Equatoriale

Schema della normale circolazione di Walker lungo l'equatore. Risalita di aria e pioggia insistente sul Indonesia, Pacifico occidentale, Africa sud orientale e Amazzonia, mentre condizioni di scarsa precipitazione nel Pacifico orientale e nell'Africa sud-occidentale. Il grafico in basso mostra inoltre il profilo dell'anomalia di temperatura lungo l'equatore.

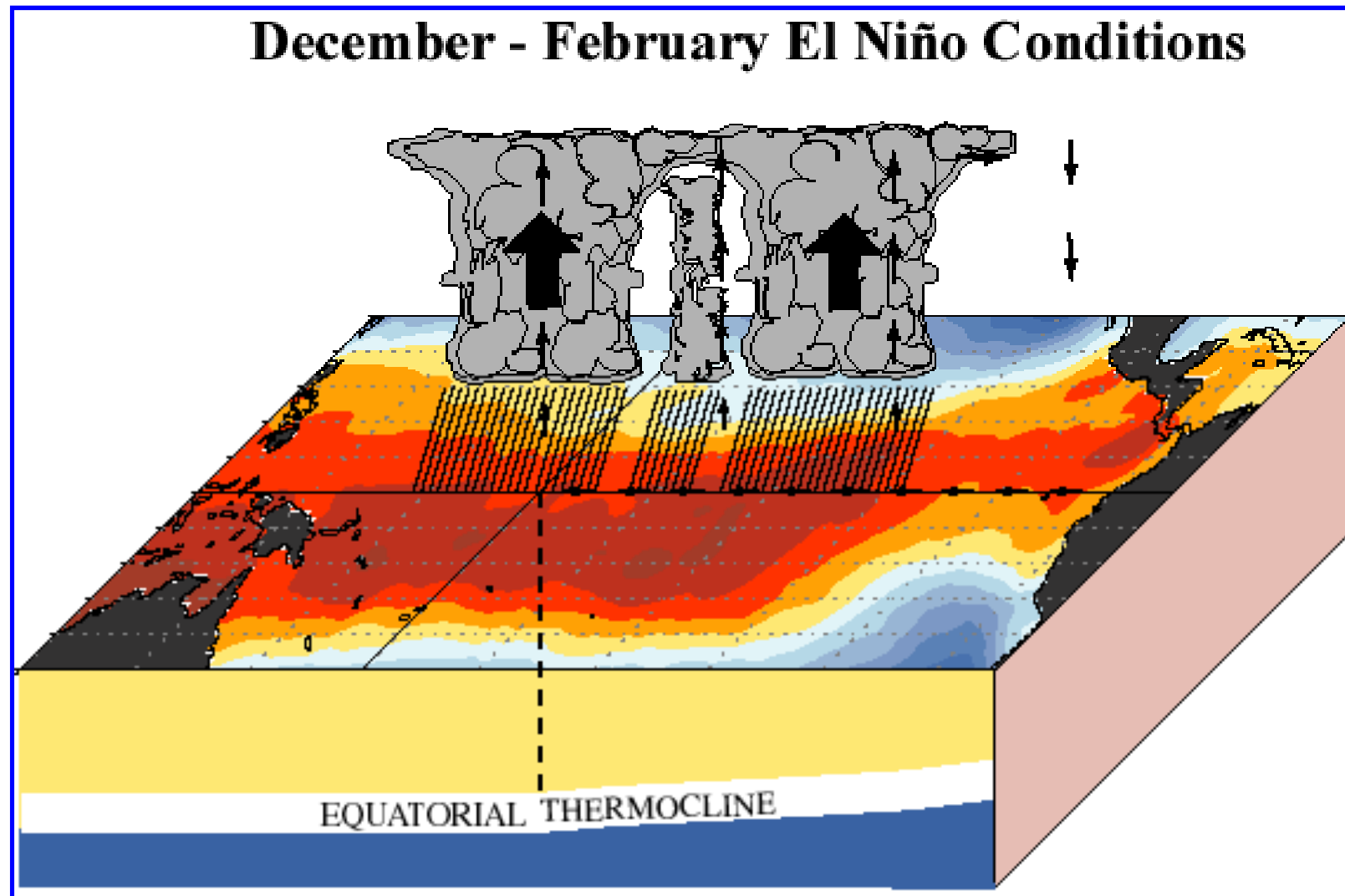


Circolazione Atmosferica Equatoriale



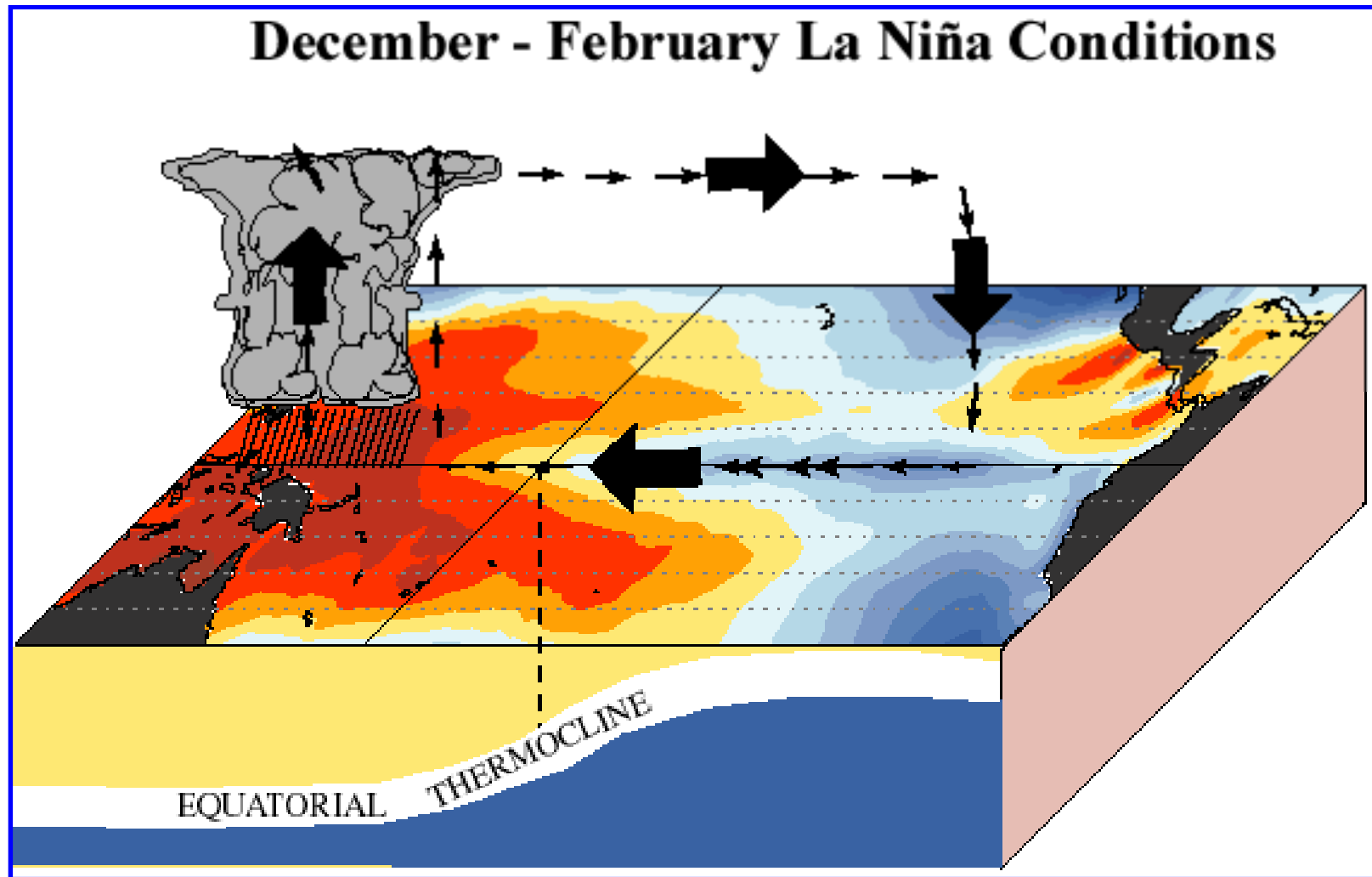
Circolazione Atmosferica Equatoriale

Condizione ENSO – El Niño



Circolazione Atmosferica Equatoriale

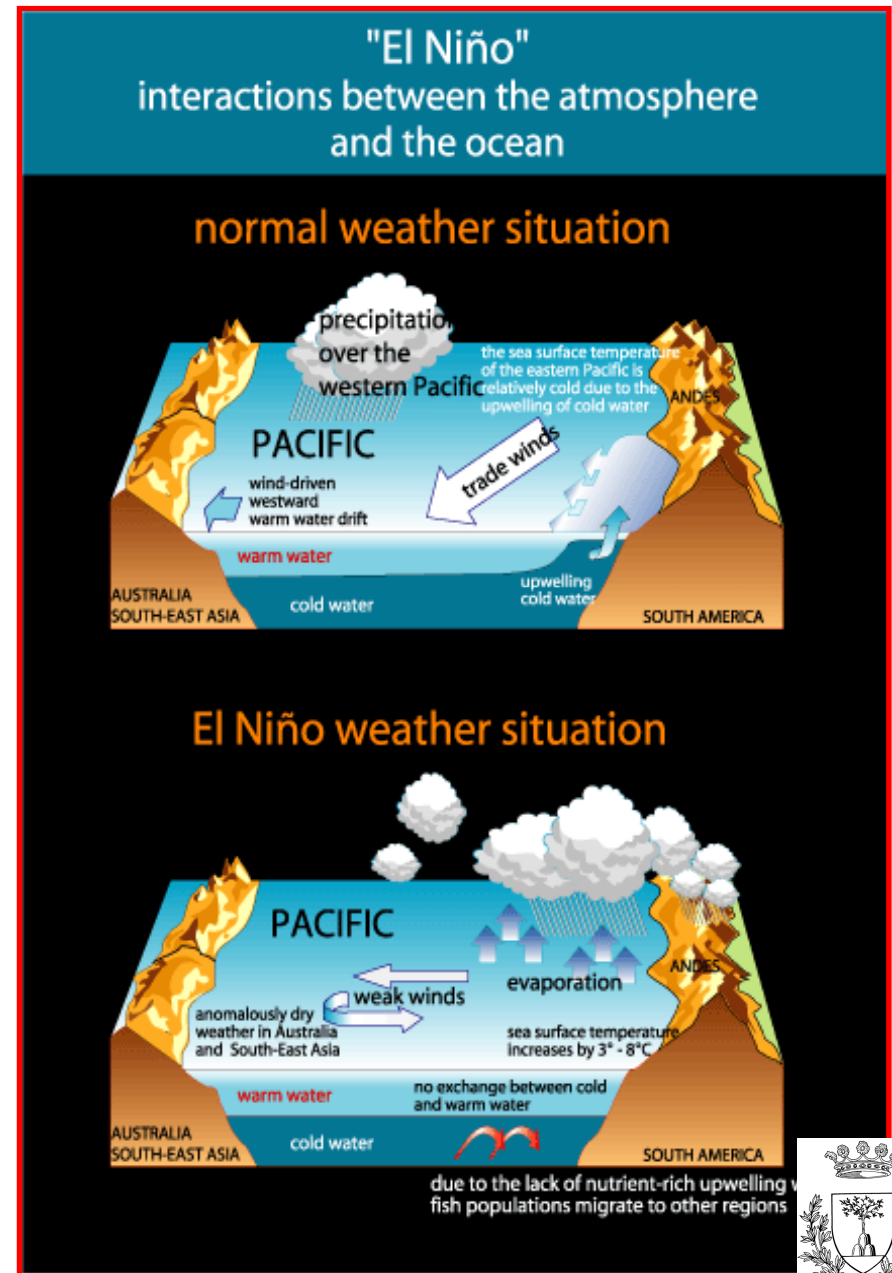
Condizione anti ENSO – La Nina



Circolazione Atmosferica Equatoriale - Condizione ENSO

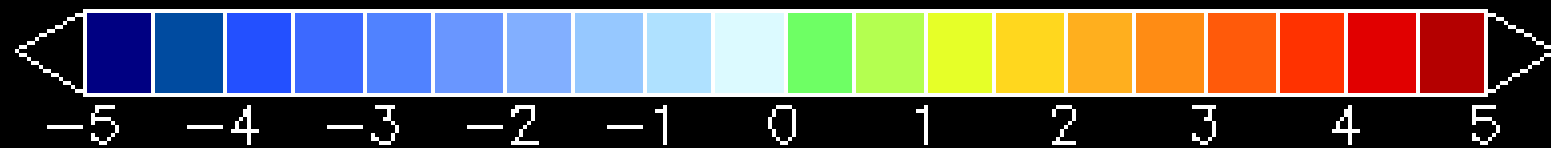
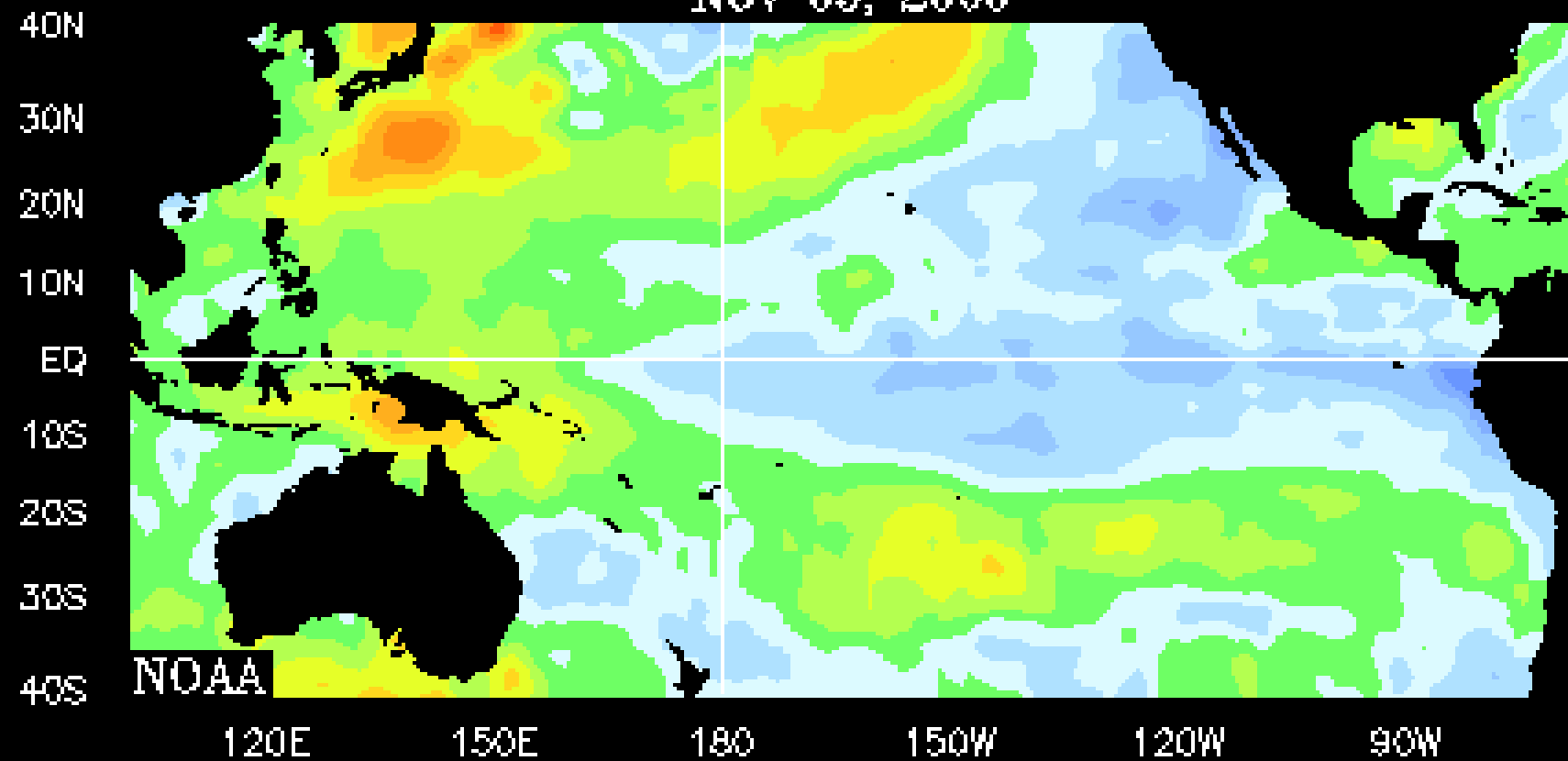
Negli anni “normali” il forte gradiente di temperatura superficiale (freddo a est caldo a ovest) nel Pacifico equatoriale è accompagnato da **forti venti alisei** che spingono le acque superficiali verso ovest permettendo a quelle più fredde e profonde di risalire in superficie. La **risalita delle acque** rafforza a sua volta il gradiente di temperatura superficiale mantenendo gli alisei.

Un **indebolimento degli alisei** nel Pacifico centrale **indebolisce l'upwelling** e fa aumentare la temperatura del Pacifico orientale. Questo fenomeno contribuisce a indebolire ulteriormente gli alisei. Il rafforzarsi vicendevole di questi effetti contribuisce all'instaurarsi di un El Niño.



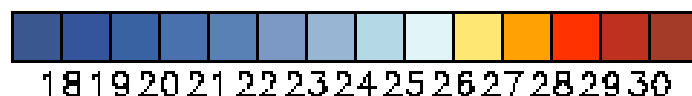
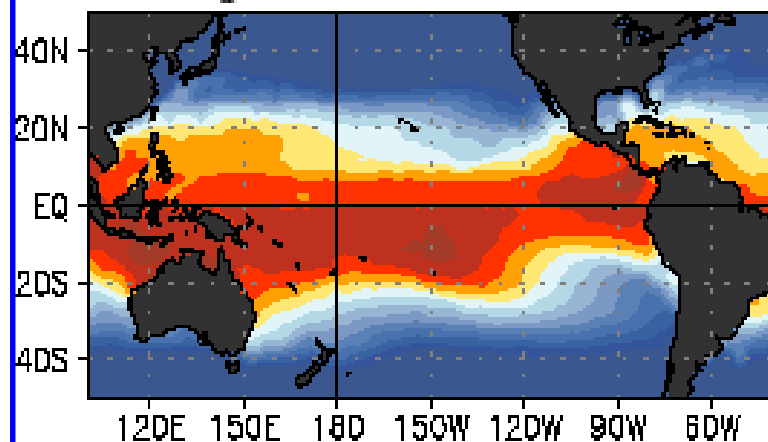
SST ANOMALIES °C

NOV 05, 2000

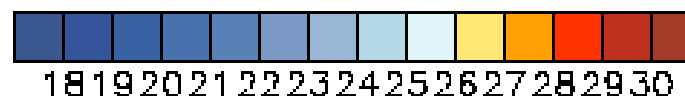
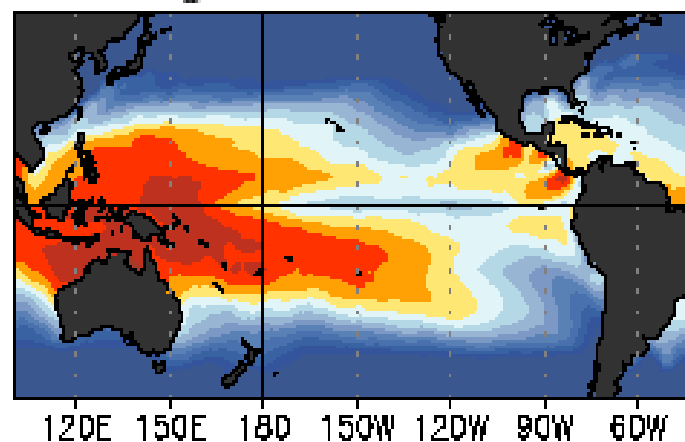


OCEAN TEMPERATURES (°C)

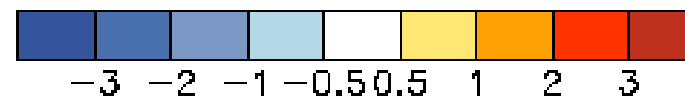
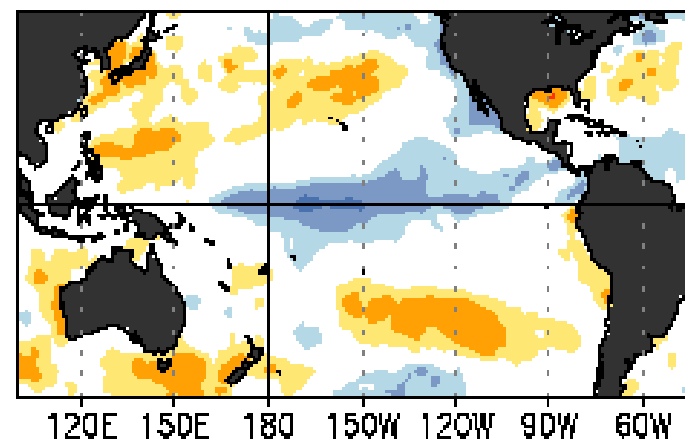
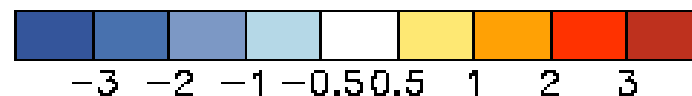
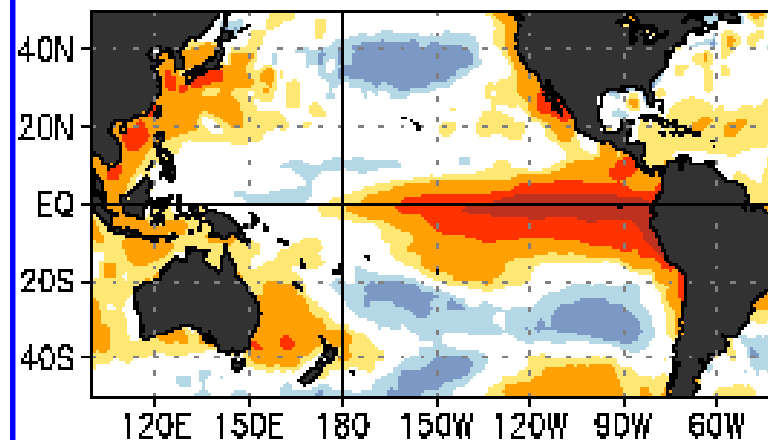
EL NIÑO
Jan-Mar 1998



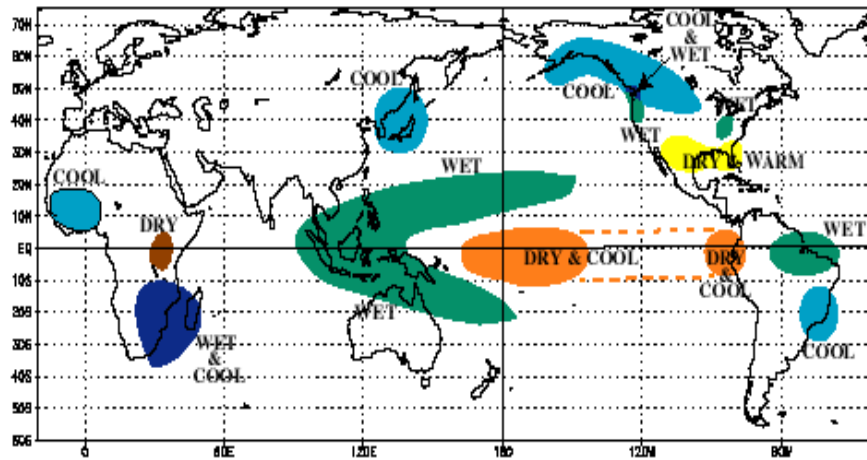
LA NIÑA
Jan-Mar 1989



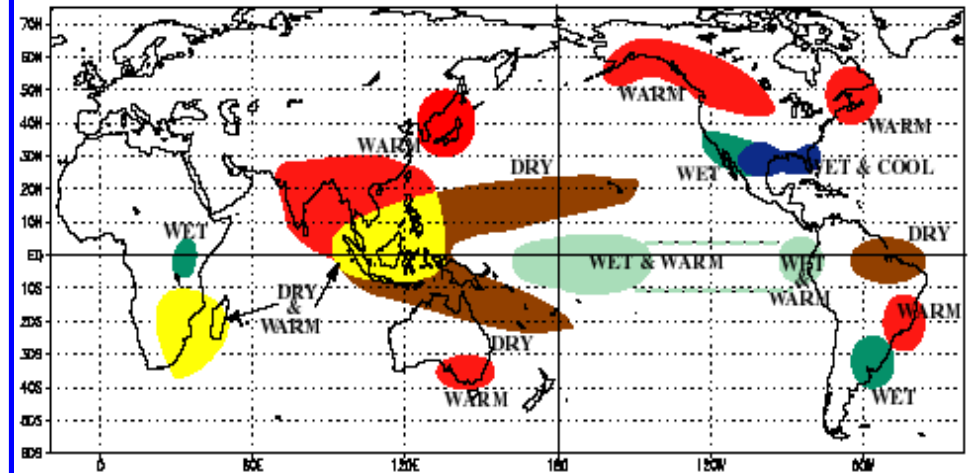
OCEAN TEMPERATURE DEPARTURES (°C)



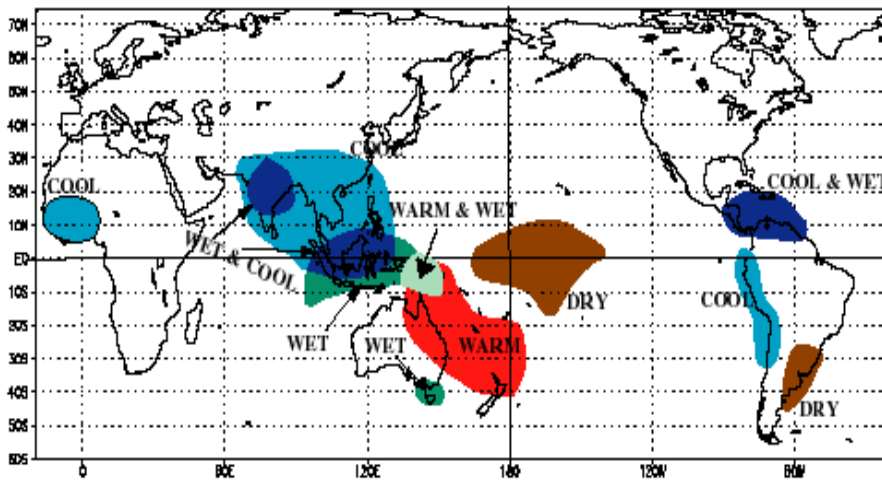
COLD EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



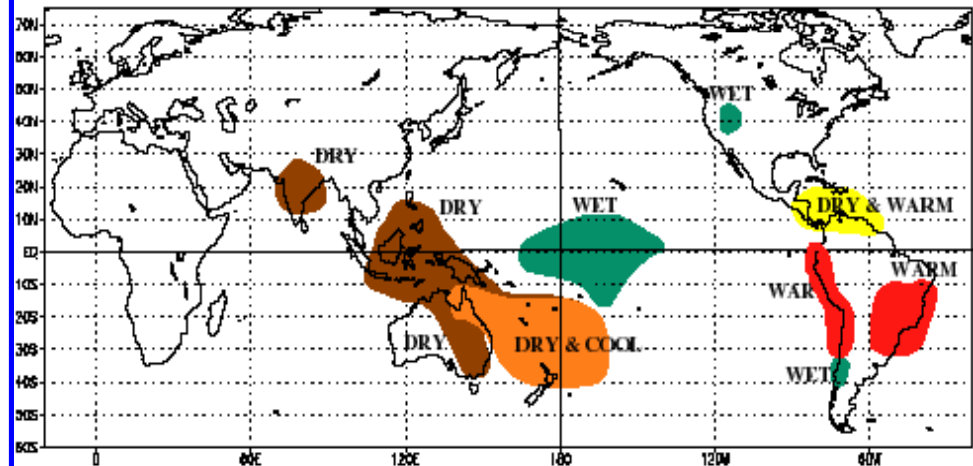
WARM EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



COLD EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST



WARM EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST



Climate Prediction Center
NCEP



Climate Prediction Center
NCEP

FORZANTI NATURALI

VARIAZIONE DELLA RADIAZIONE SOLARE

Diretta



Attività Solare

Indiretta



Milankovitch

INTERAZIONI TRA DIVERSE COMPONENTI DEL SISTEMA

Interazione
atmosfera-oceano



El Niño

ERUZIONI VULCANICHE

Immissione di
aerosol



SO₂ CO₂

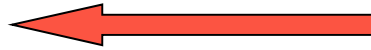
DERIVA DEI CONTINENTI



FORZANTI ANTROPICHE

IMMISSIONE DI GAS SERRA IN ATMOSFERA

SO₂ CO₂ O₃



Combustibili fossili

CO₂ CH₄



Incendi

CH₄



Allevamenti

IMMISSIONE DI AEROSOLS IN ATMOSFERA

Black Carbon, Organic Carbon



Combustibili fossili

Black Carbon



Incendi

SFRUTTAMENTO DEL TERRENO

Variazioni di albedo

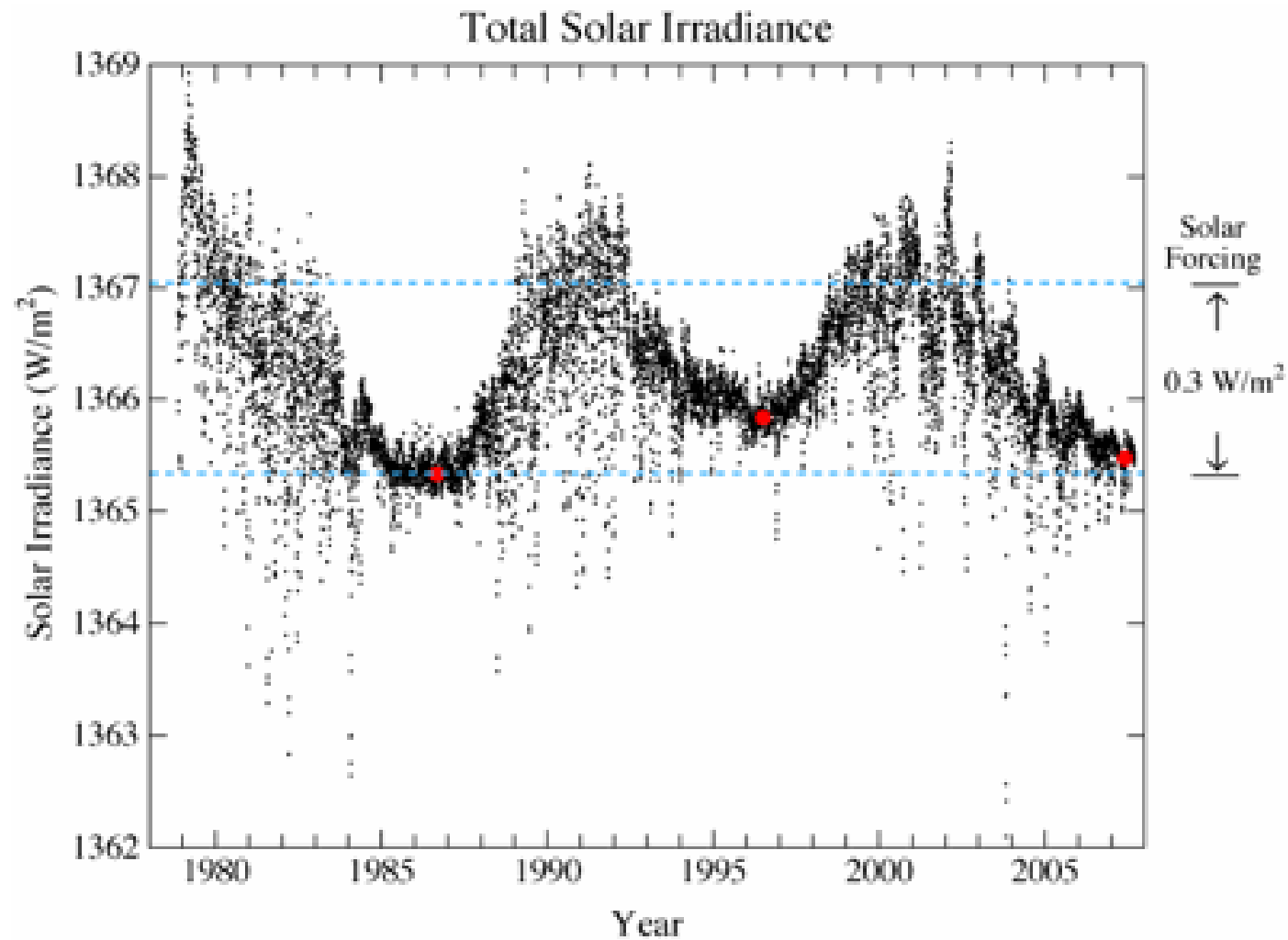


Riduzione delle foreste



CAUSE ASTRONOMICHE

variazione dell'irraggiamento solare (Wm^{-2})

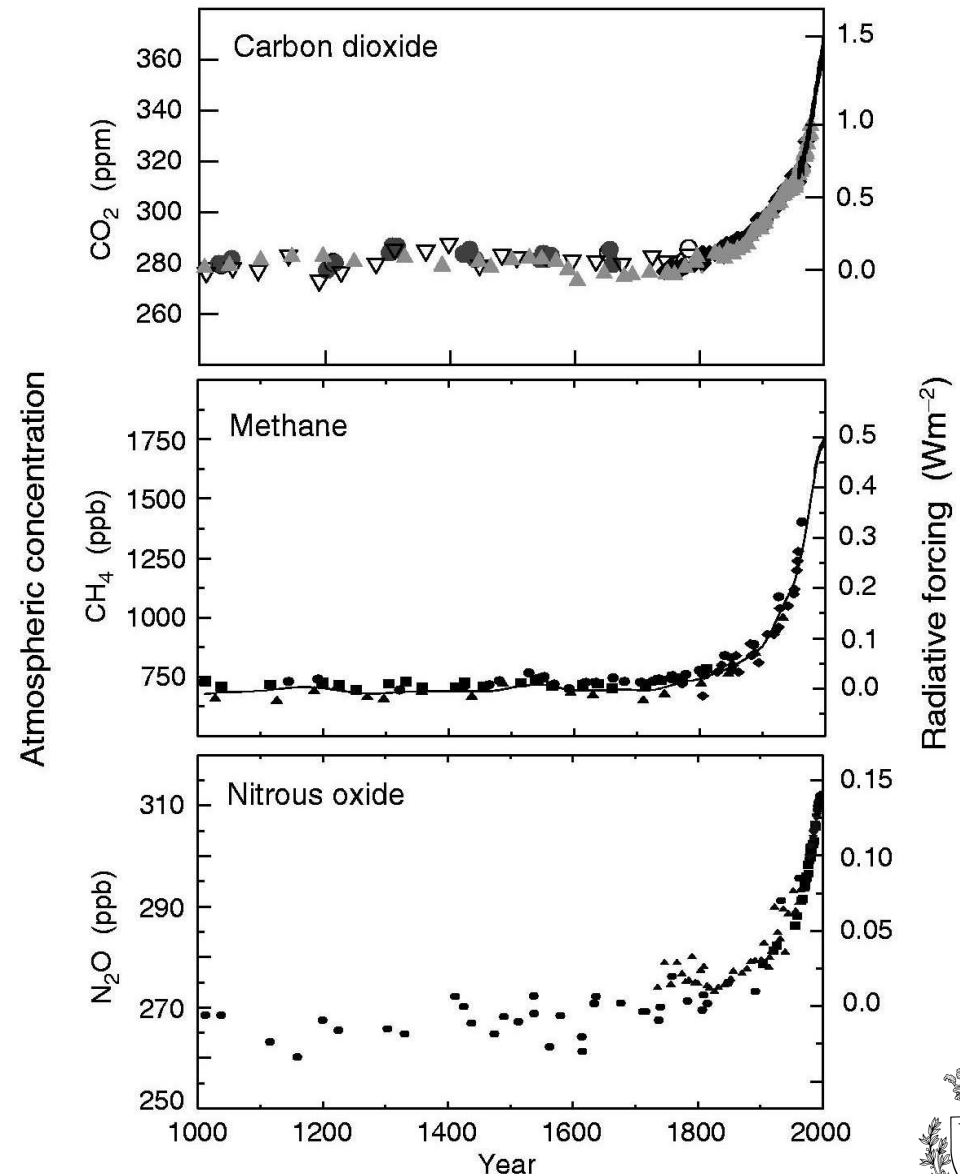


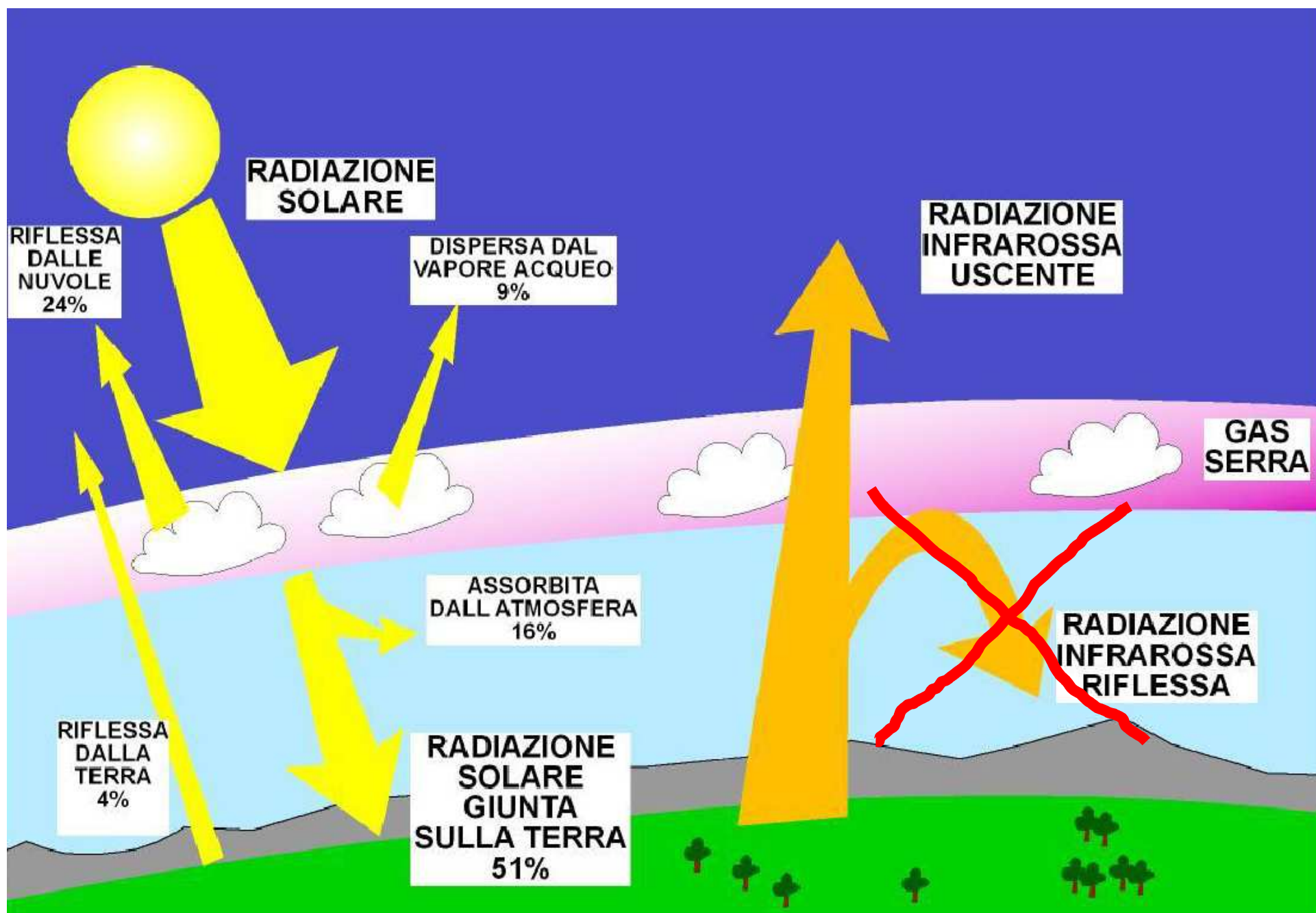
CONCENTRAZIONE DEI GAS SERRA

- L'anidride carbonica (CO_2) è aumentata del 31% dal 1750 ad oggi con crescita nelle ultime due decadi di 1.5 ppm (0.4%) per anno

- Il metano (CH_4) è cresciuto di 1060 ppb (151%) dal 1750; tale crescita è rallentata negli anni '90 rispetto agli anni '80.

- L'ossido di azoto (N_2O) è cresciuto di 46 ppb (17%) dal 1750 (1/3 è di origine antropogenica).





L'effetto serra

Energia Solare

Circa il 30%
delle radiazioni
infrarosse
si diffonde
nello spazio

I gas serra lasciano passare l'energia solare e intrappolano parte del calore creato dai raggi del sole

Radiazione
solare
assorbita
dalla Terra

Calore
intrappolato
immediato
dai gas serra

Una parte dell'energia
solare che raggiunge
il nostro pianeta viene
riflessa verso l'atmosfera
sotto forma di radiazioni
infrarosse

Anidride
carbonica
rilasciata
dagli aerei

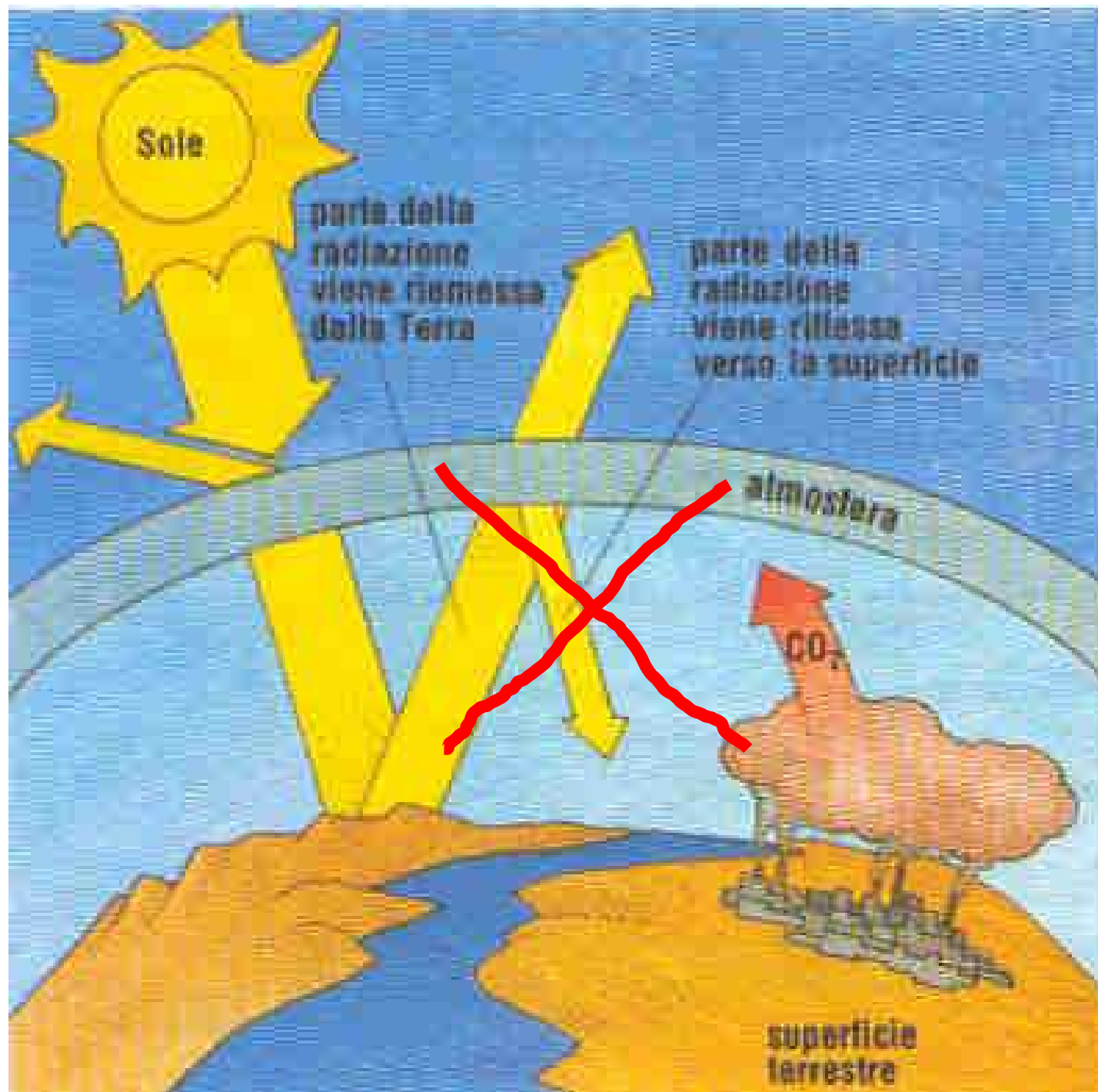
Le navi
bruciano
combustibile

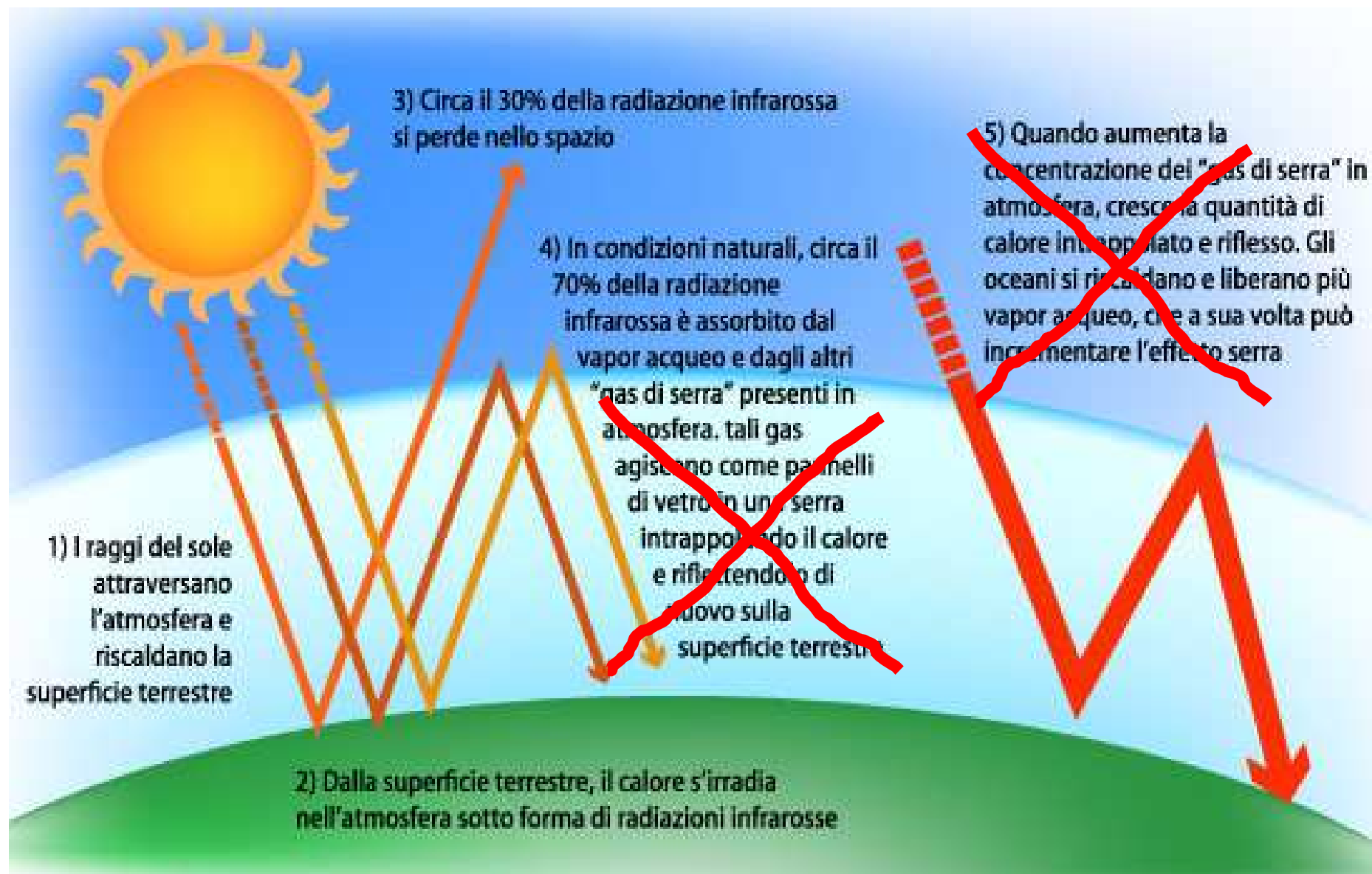
Mari e oceani
si scaldano,
l'acqua evapora
e il vapore così
formato viene
intrappolato
dai gas serra

Le industrie
rilasciano
anidride
carbonica

Taglio
delle
foreste

Consumo
di combustibili
fossili

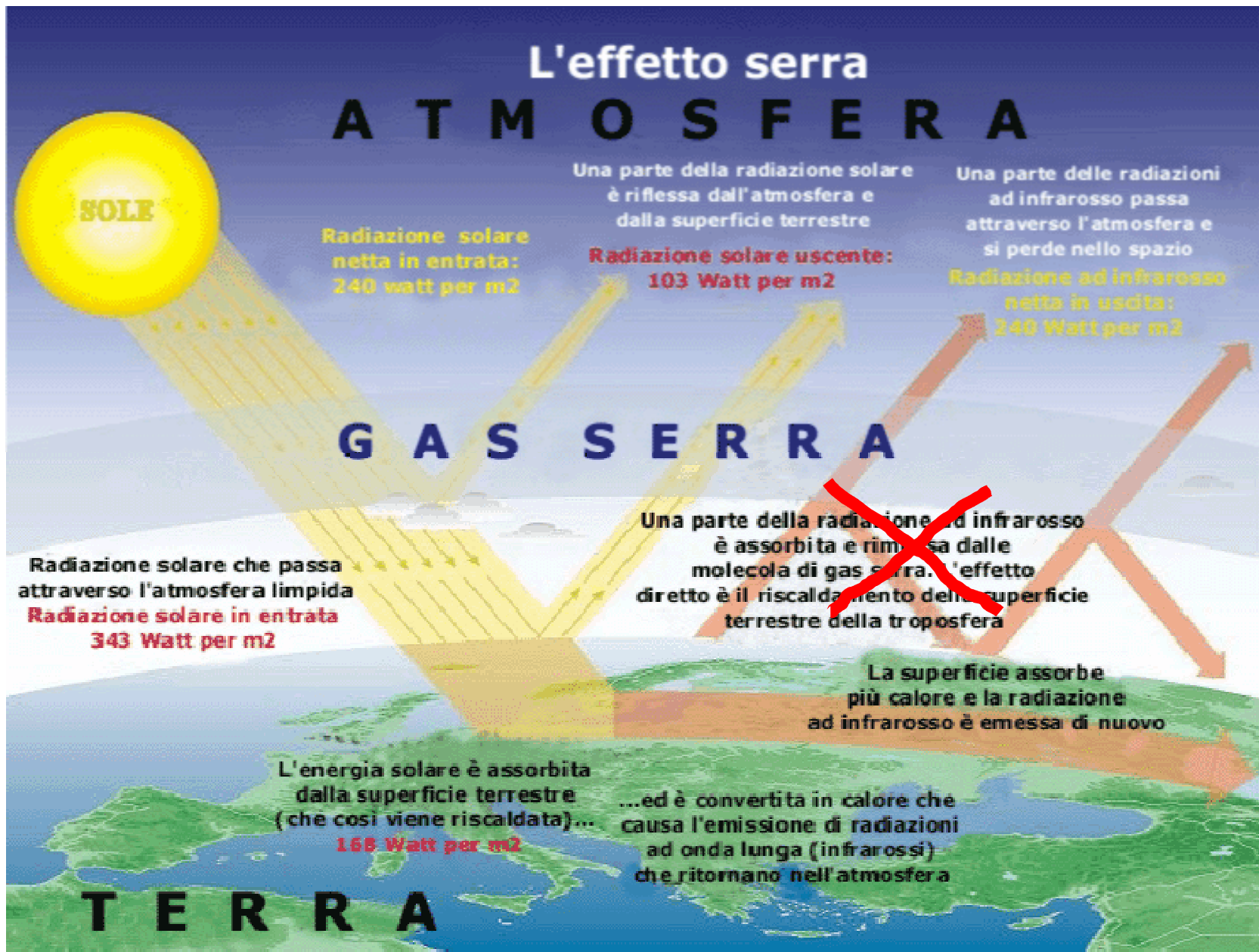




Alcune radiazioni
solari sono riflesse
dalla Terra
e dall'atmosfera

L'accumulo di gas serra
negli strati medi
dell'atmosfera favorisce
l'intrappolamento
dell'energia riflessa
delle radiazioni solari
determinando
un aumento
della temperatura
sulla superficie
terrestre



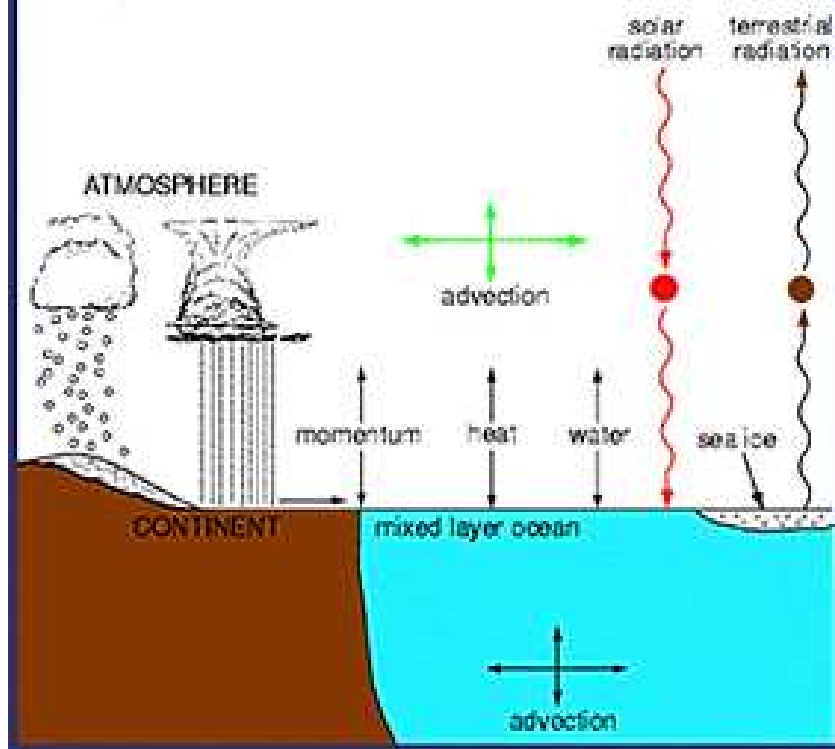


Schematic for Global Atmospheric Model

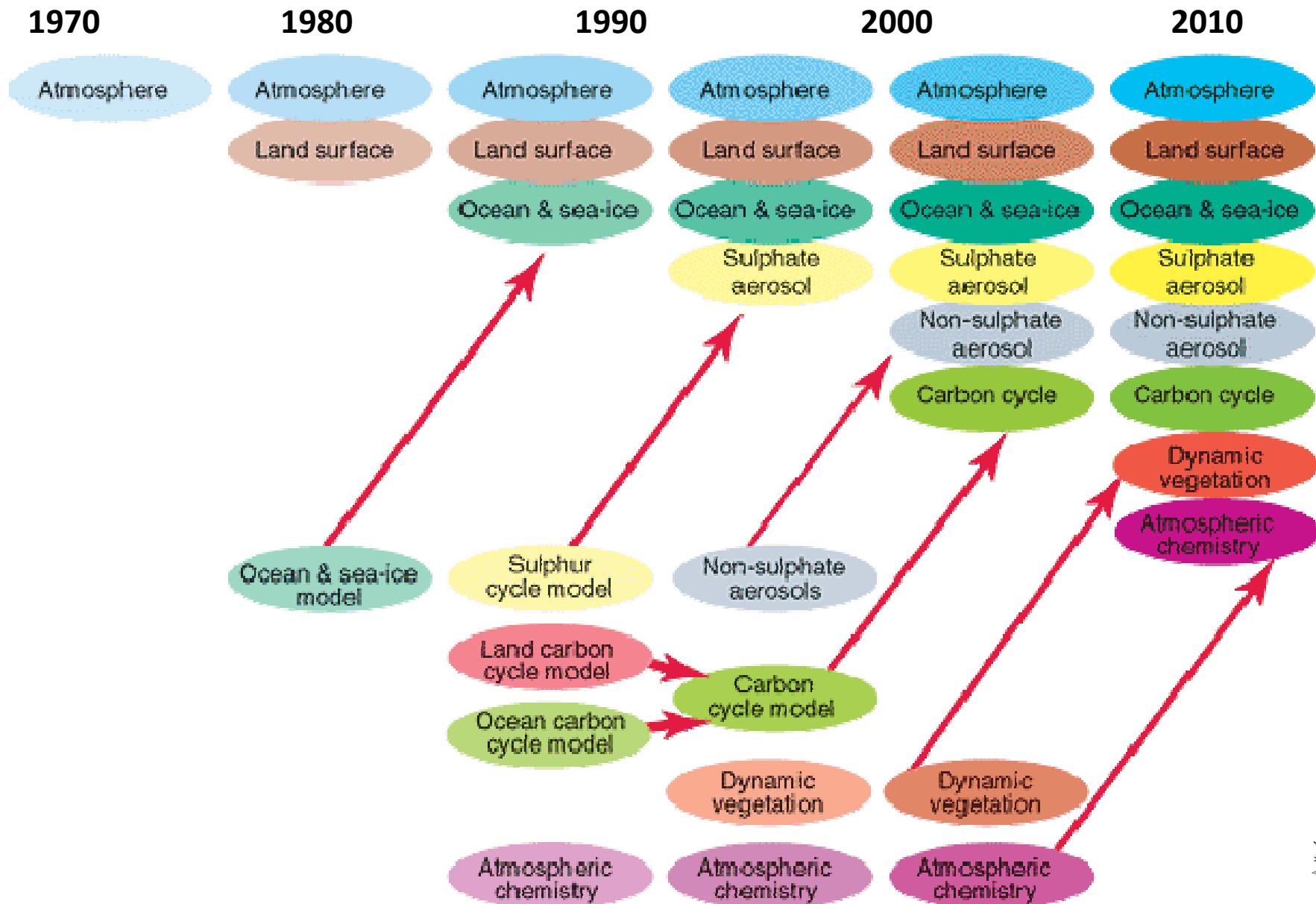
Horizontal Grid (latitude - longitude)

Vertical Grid (height or pressure)

Physical Processes in a Model

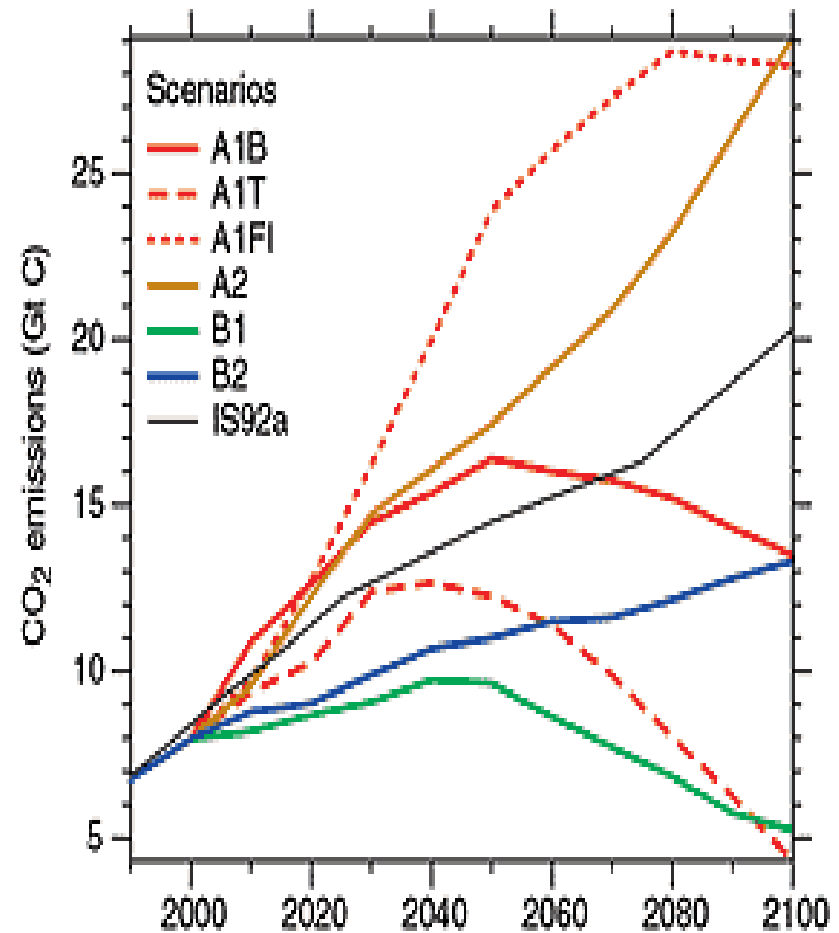


evoluzione dei modelli climatici

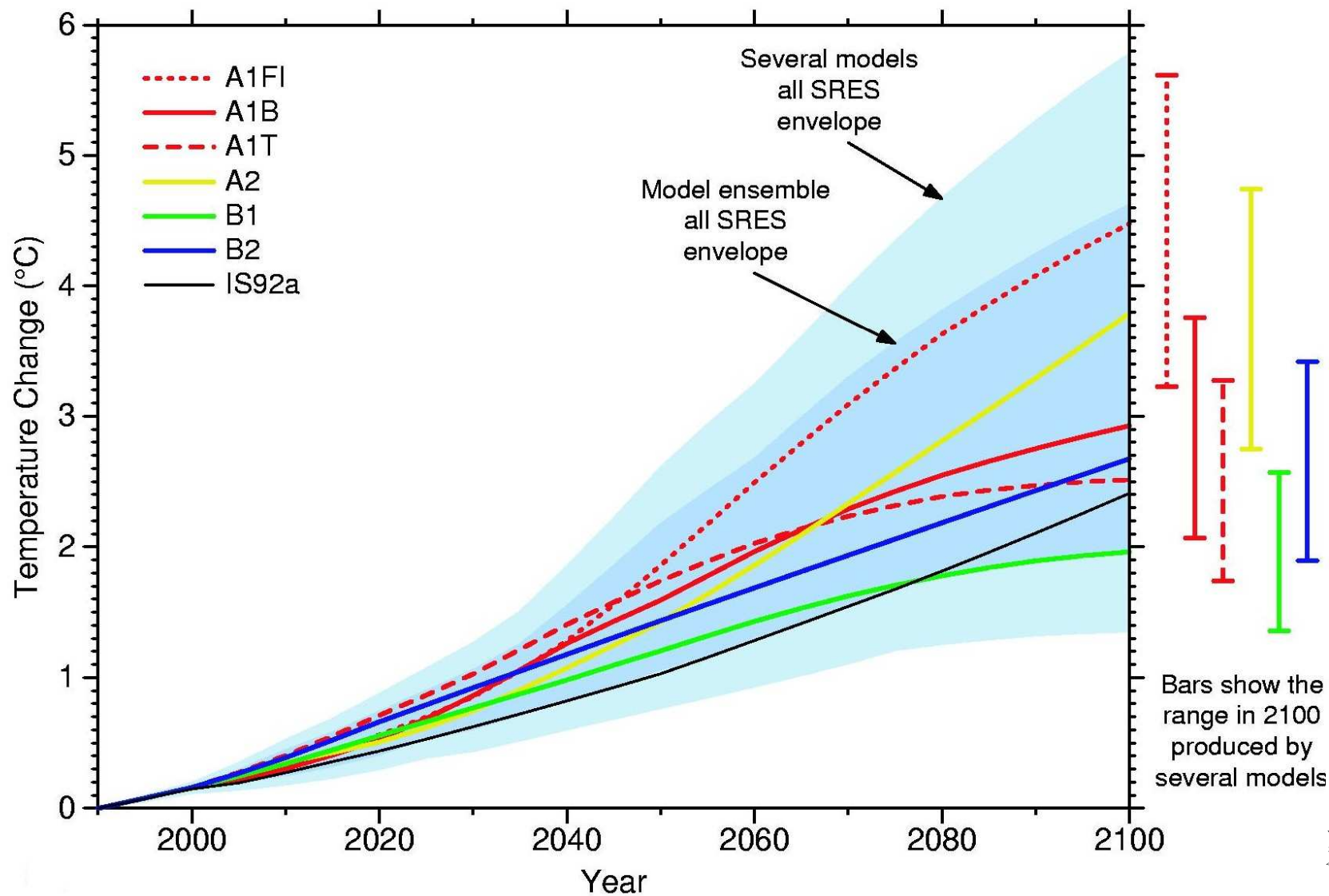


Future Climate Change

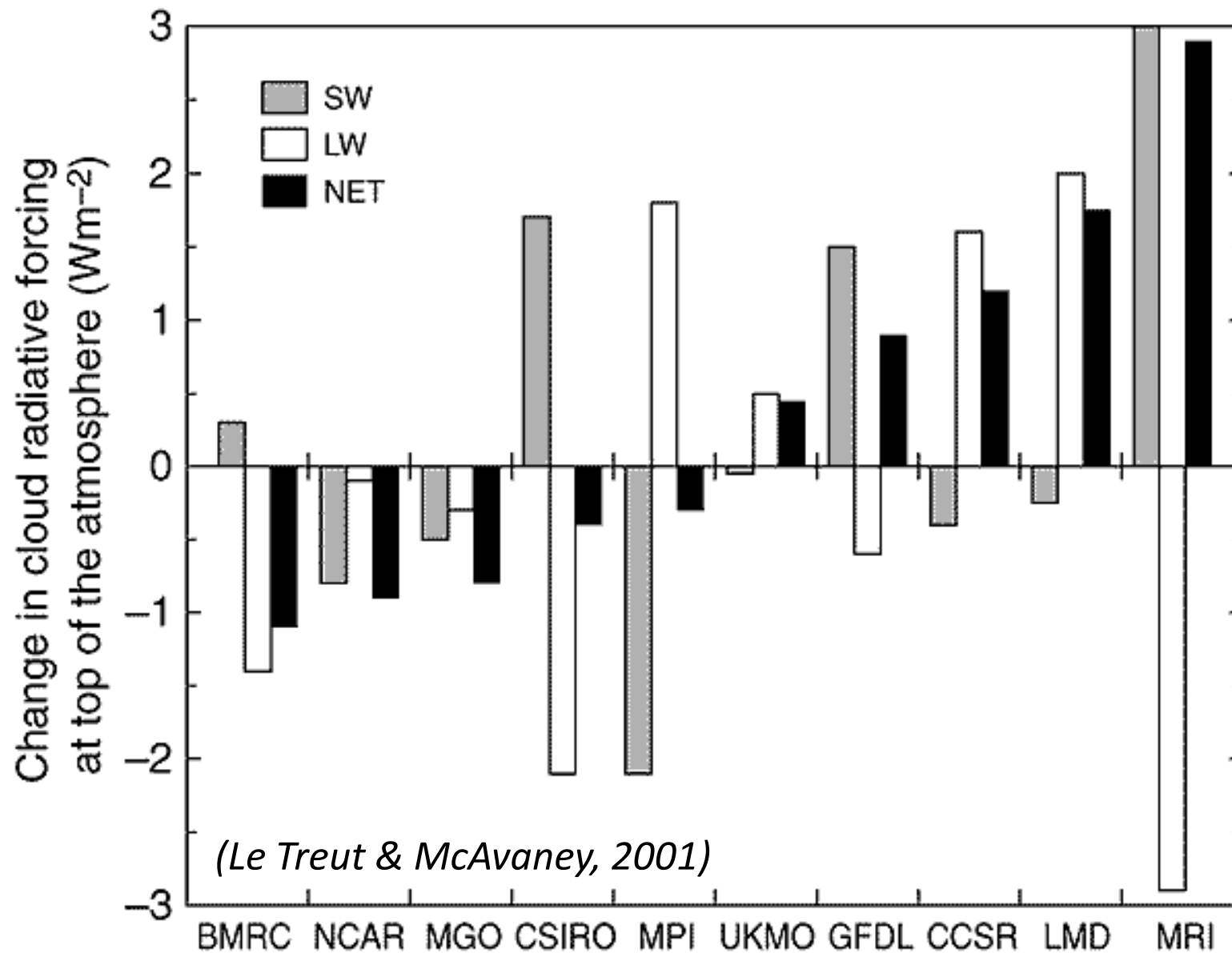
- A1: rapida crescita economica con sviluppo tecnologico
 - A1FI: uso intensivo di combustibili fossili
 - A1T: uso di combustibili non-fossili
 - A1B: bilancio di fonti di energia
- A2: espansione demografica
- B1: piu' attenzione ai problemi ambientali
- B2: piu' attenzione alle tematiche locali



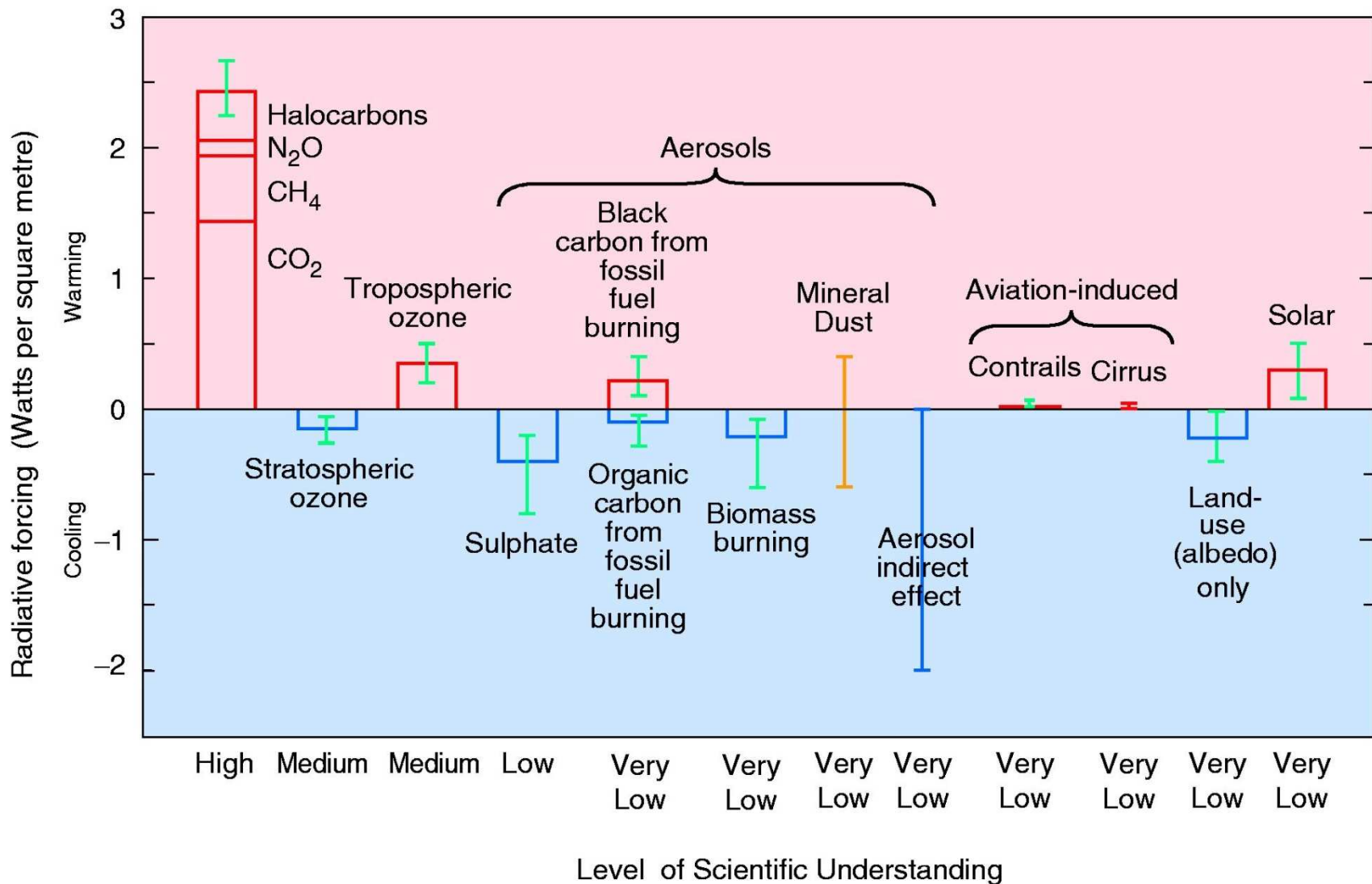
per la **temperatura globale** si prevede una **crescita**
da **1.4 a 5.8°C** nel periodo **1990-2100**



Stime di Δ CRF al raddoppio di CO_2



The global mean radiative forcing of the climate system for the year 2000, relative to 1750



**Prediction is very
difficult, especially if
it's about the future.**

-Nils Bohr-

Osservazioni di stato e tendenza del sistema climatico terrestre

*Federico Porcù (**porcu@fe.infn.it**)*

Dipartimento di Fisica, Università di Ferrara



La scienza è fatta di dati come una casa di pietre.

Ma un ammasso di dati non è scienza più di quanto un mucchio di pietre sia una casa.

-Henri Poincaré-





definizioni e impostazione del problema;



evidenze della tendenza climatica;



osservazioni;



CLIMA E TEMPO METEOROLOGICO

diversa scala temporale

diversità di metodo, dati e formulazioni teoriche

tempo meteorologico stato del sistema (in particolare dell'atmosfera) ad un preciso istante.

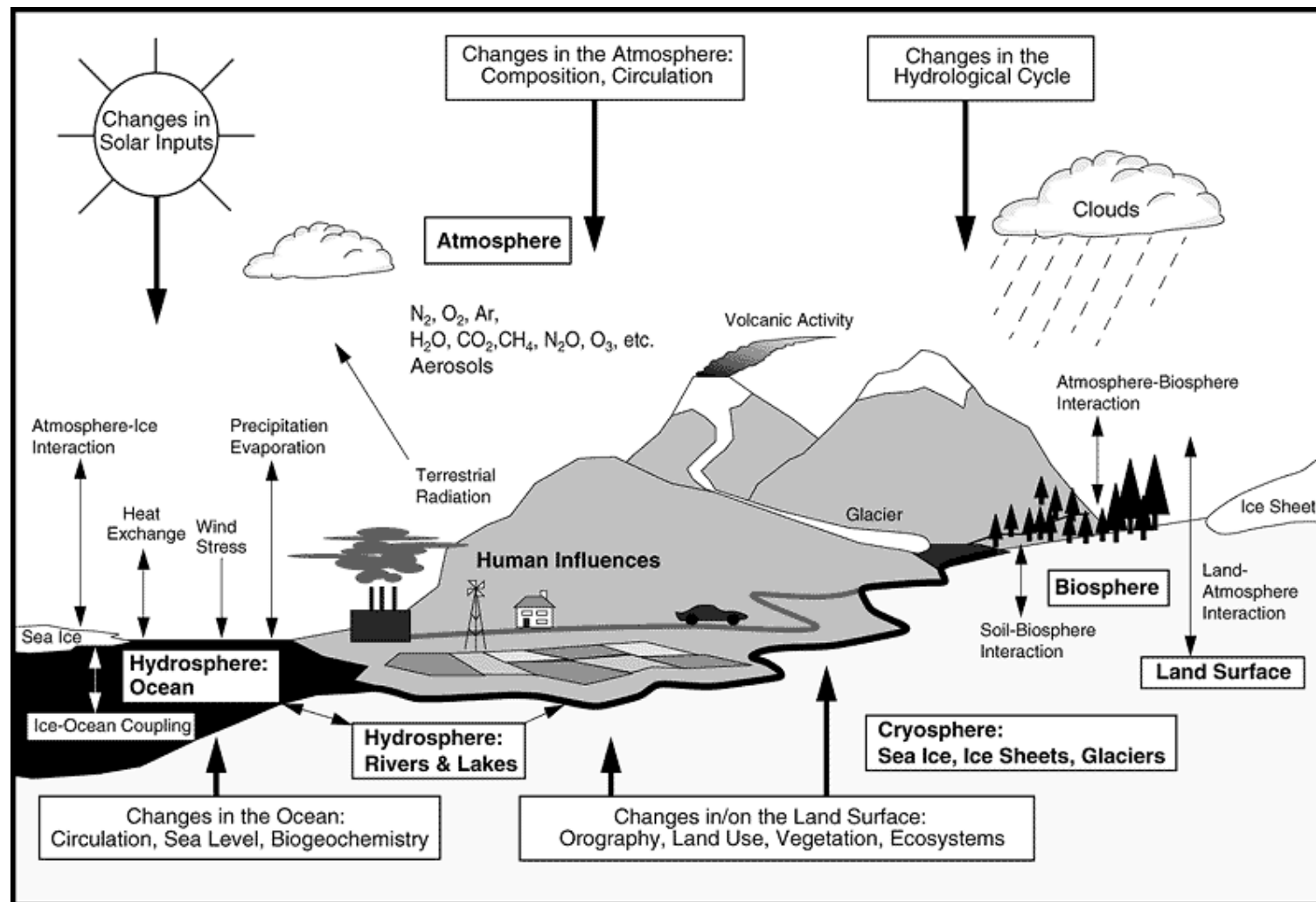
clima stato medio del sistema e sue variazioni nel tempo.



definizione dello stato e delle sue variazioni
monitoraggio **indicatori**

previsioni sull'evoluzione del sistema
modelli **parametrizzazioni**





caratteristiche del sistema climatico:

- 1) diversi sottosistemi con:
diversi scale spazio-temporali,
diverse metodologie di studio,
diversi livelli di conoscenza;
- 2) interazioni tra sottosistemi:
difficilmente osservabili,
poco studiate,
- 3) necessità di tempi “sperimentali” lunghi;
- 4) sistema caotico.



*The key to gaining a better understanding of the **global environment** is exploring how the Earth's systems of air, land, water, and life interact with each other, **blending together** fields like meteorology, oceanography, biology, and atmospheric sciences*

1991: Earth Science Enterprise

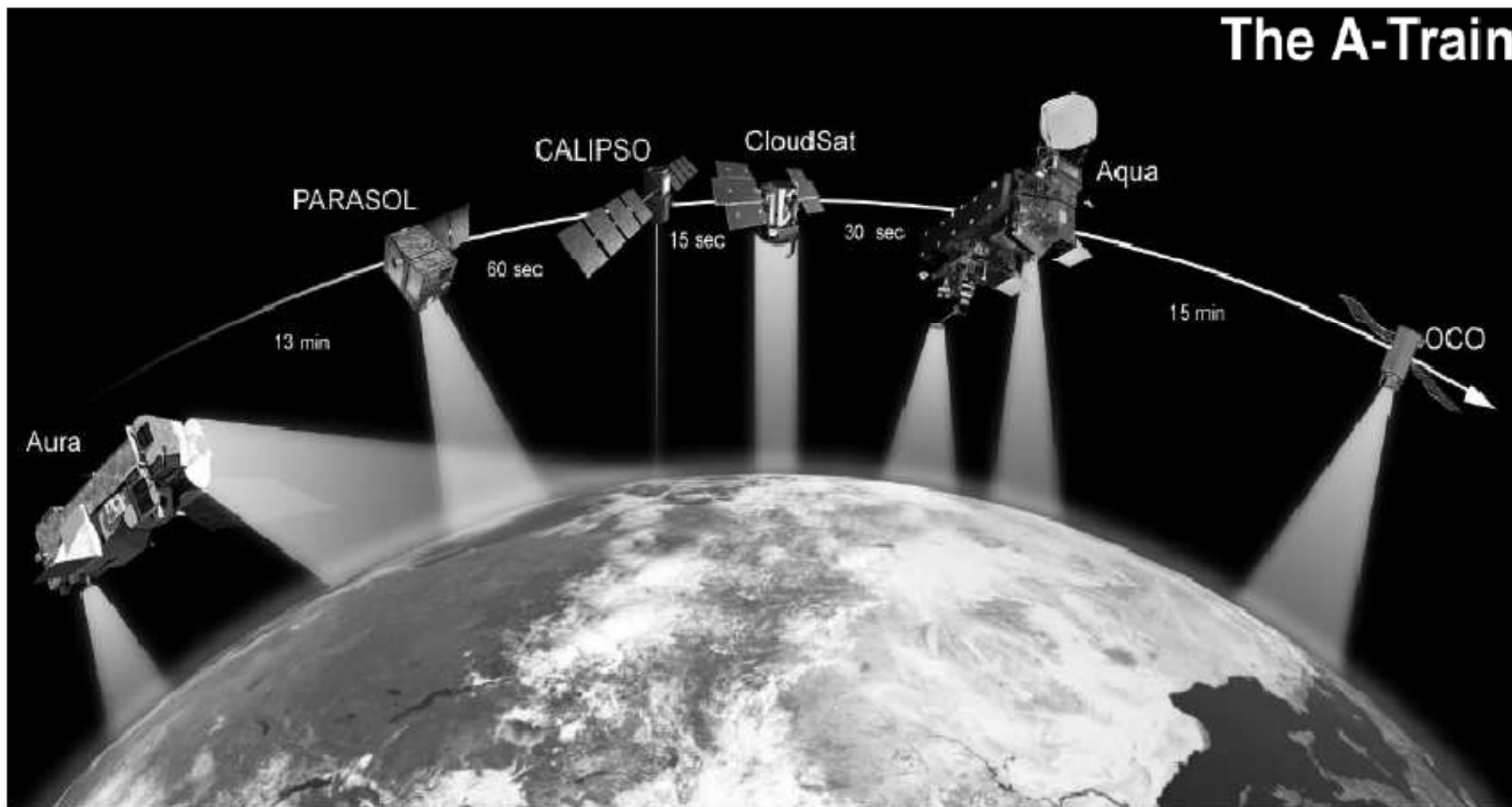
1999: Earth Observing System



*EOS will observe the key physical variables needed to advance understanding of the entire Earth system and develop a **deeper comprehension** of the **components** of that system and the **interactions** among the components*



The A-Train



24 EOS Measurements



ATMOSPHERE

Cloud Properties
(amount, optical properties, height)

MODIS, GLAS, AMSR-E, MISR, AIRS, ASTER, SAGE III

Radiative Energy Fluxes
(top of atmosphere, surface)

CERES, ACRIM III, MODIS, AMSR-E, GLAS, MISR, AIRS, ASTER, SAGE III

Precipitation

AMSR-E

Tropospheric Chemistry
(ozone, precursor gases)

TES, MOPITT, SAGE III, MLS, HIRDLS, LIS

Stratospheric Chemistry
(ozone, ClO, BrO, OH, trace gases)

MLS, HIRDLS, SAGE III, OMI, TES

Aerosol Properties
(stratospheric, tropospheric)

SAGE III, HIRDLS
MODIS, MISR, OMI, GLAS

Atmospheric Temperature

AIRS/AMSU-A, MLS, HIRDLS, TES, MODIS

Atmospheric Humidity

AIRS/AMSU-A/HSB, MLS, SAGE III, HIRDLS, Poseidon 2/JMR/DORIS, MODIS, TES

Lightning
(events, area, flash structure)

LIS

SOLAR RADIATION

Total Solar Irradiance

ACRIM III, TIM

Solar Spectral Irradiance

SIM, SOLSTICE

24 EOS Measurements



LAND	Land Cover & Land Use Change	ETM+, MODIS, ASTER, MISR
	Vegetation Dynamics	MODIS, MISR, ETM+, ASTER
	Surface Temperature	ASTER, MODIS, AIRS, AMSR-E, ETM+
	Fire Occurrence (extent, thermal anomalies)	MODIS, ASTER, ETM+
	Volcanic Effects (frequency of occurrence, thermal anomalies, impact)	MODIS, ASTER, ETM+, MISR
	Surface Wetness	AMSR-E
OCEAN	Surface Temperature	MODIS, AIRS, AMSR-E
	Phytoplankton & Dissolved Organic Matter	MODIS
	Surface Wind Fields	SeaWinds, AMSR-E, Poseidon 2/JMR/DORIS
	Ocean Surface Topography (height, waves, sea level)	Poseidon 2/JMR/DORIS

24 EOS Measurements



CRYOSPHERE

Land Ice

(ice sheet topography, ice sheet volume change, glacier change)

GLAS, ASTER, ETM+

Sea Ice

(extent, concentration, motion, temperature)

AMSR-E, Poseidon 2/JMR/DORIS, MODIS, ETM+, ASTER

Snow Cover

(extent, water equivalent)

MODIS, AMSR-E, ASTER, ETM+

misure della tendenza

temperatura dell'aria

altezza del mare

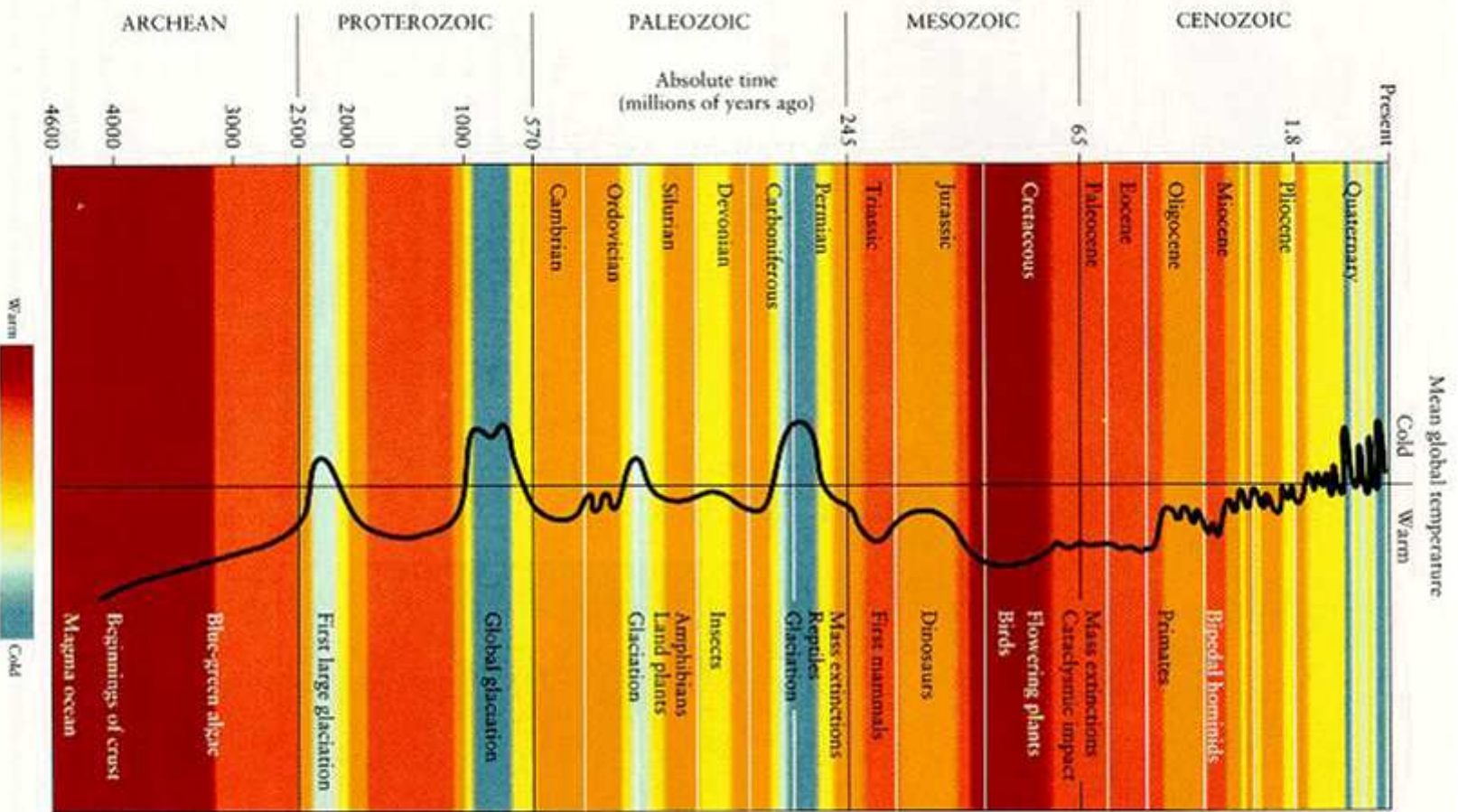
**precipitazione, vegetazione, insolazione,
estensione dei ghiacci,**

temperatura dell'aria



^{18}O enriched water ← EQUATOR

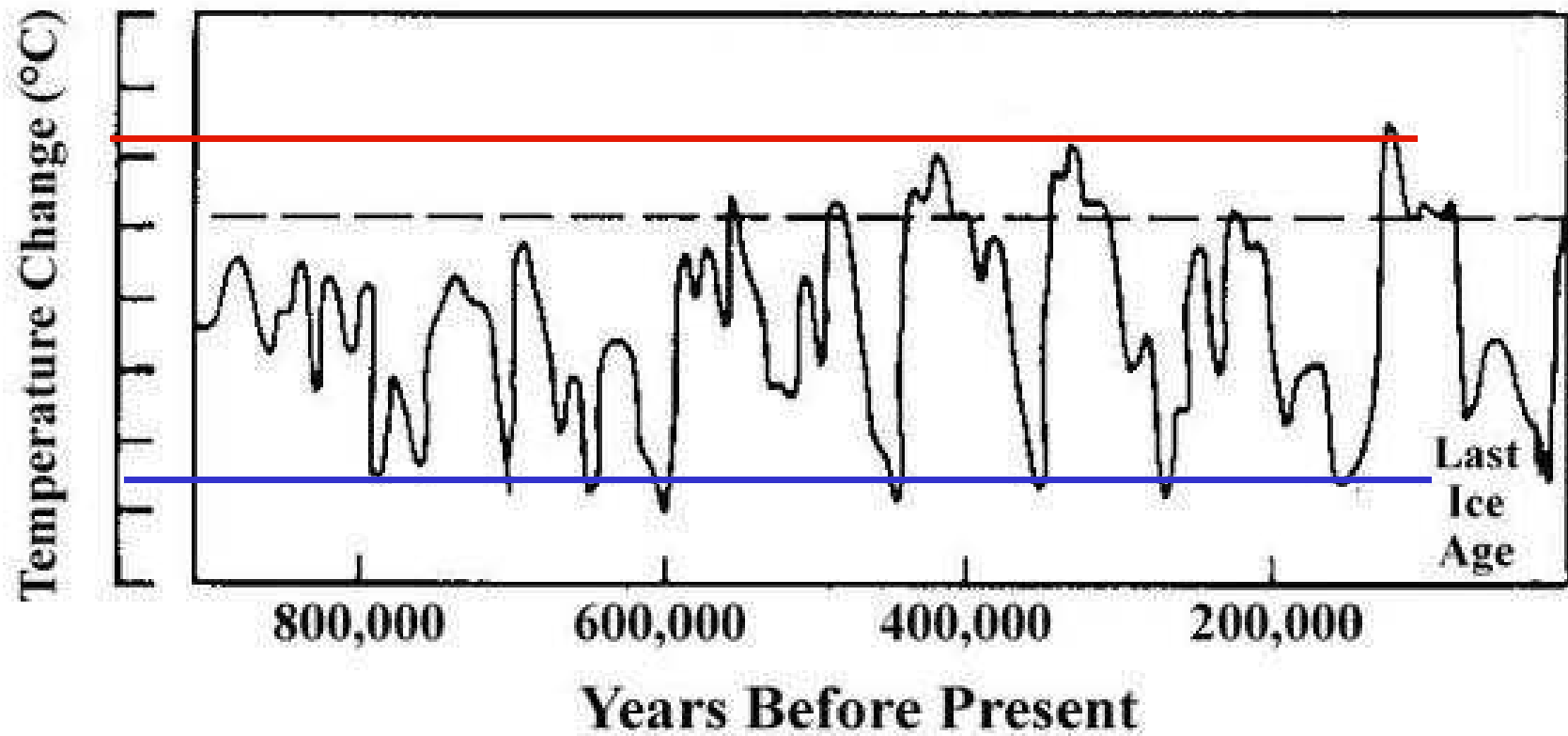
POLE →
K.A. Lemke



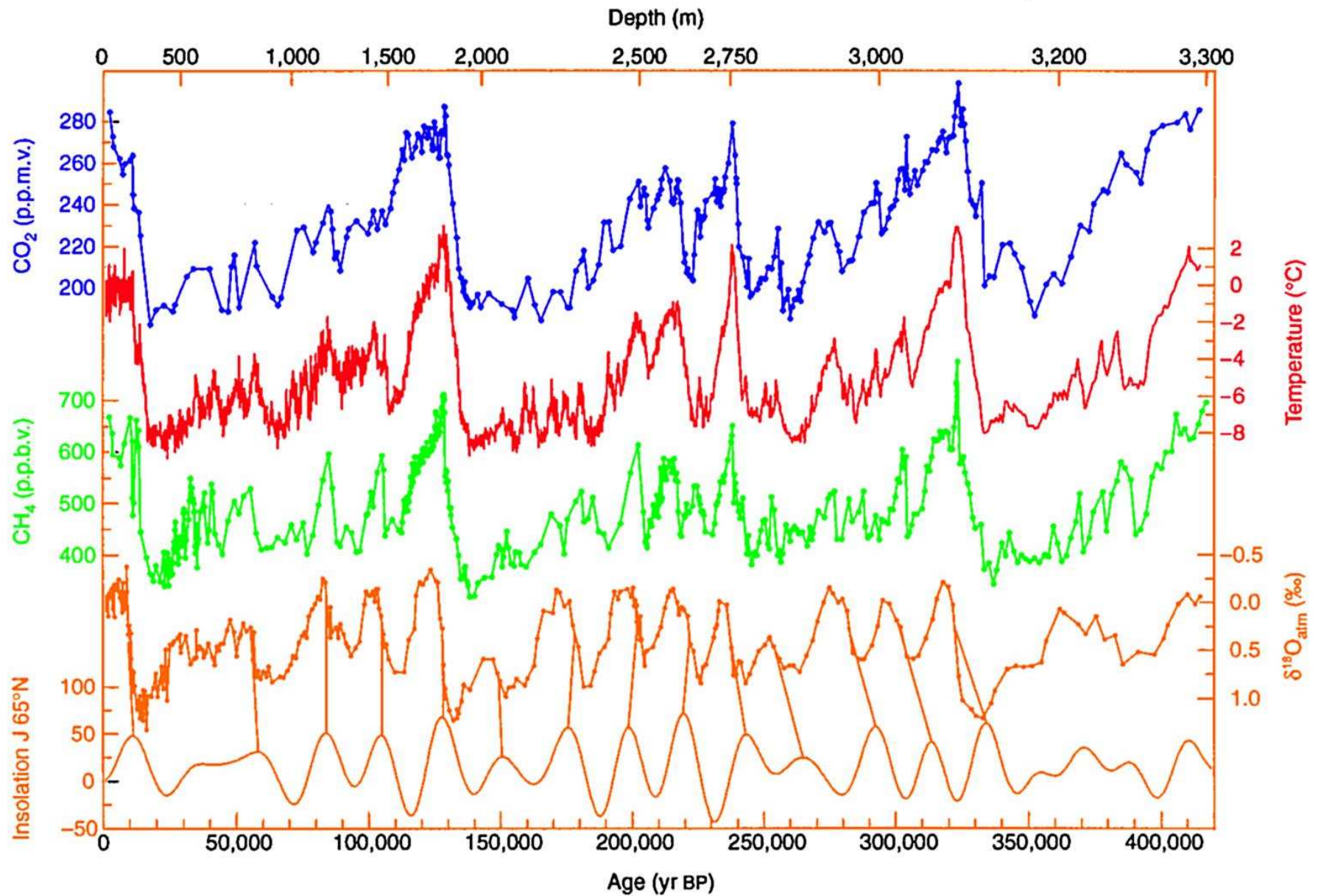
4.5 MILIARDI



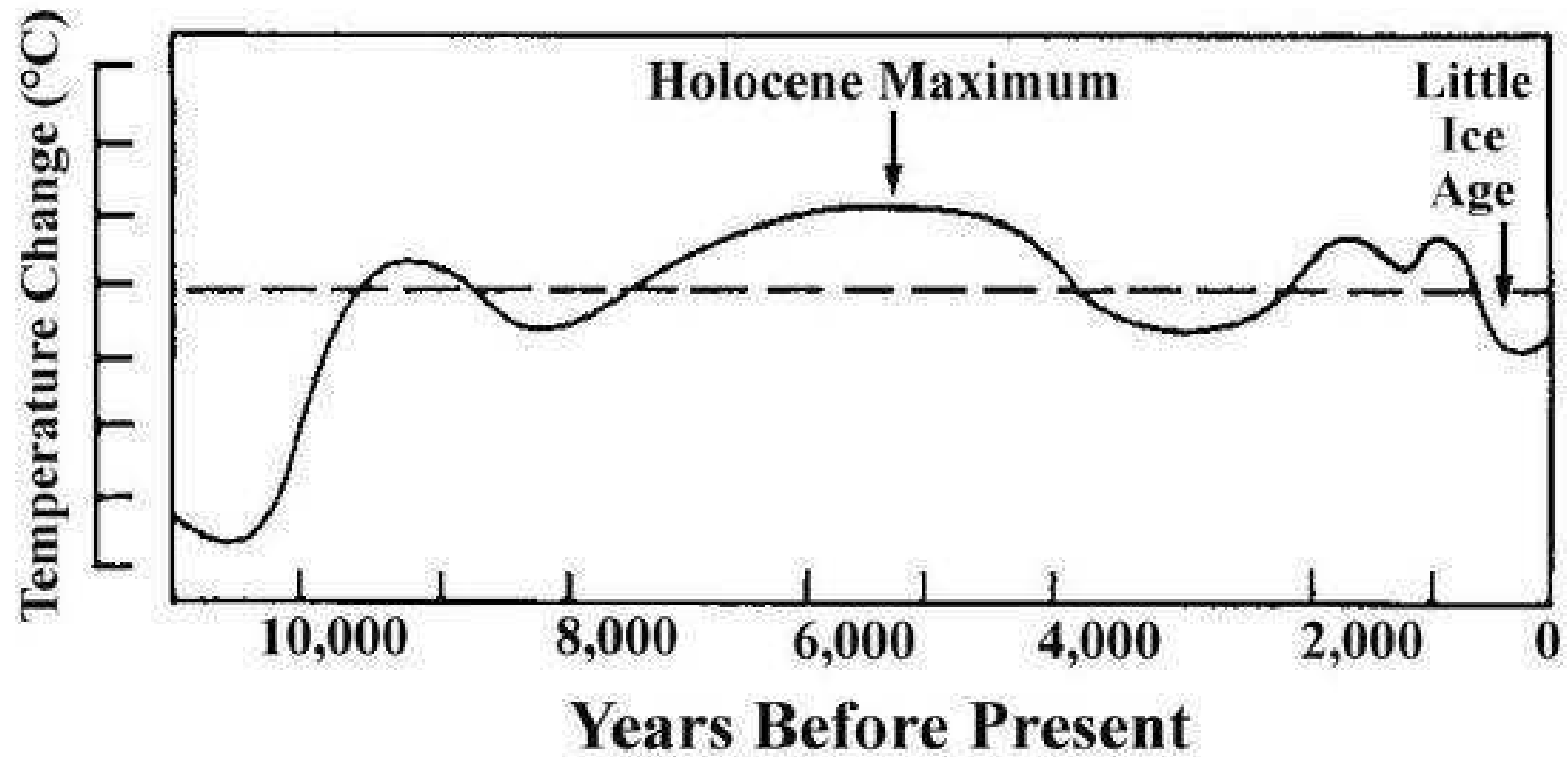
1 MILIONE DI ANNI



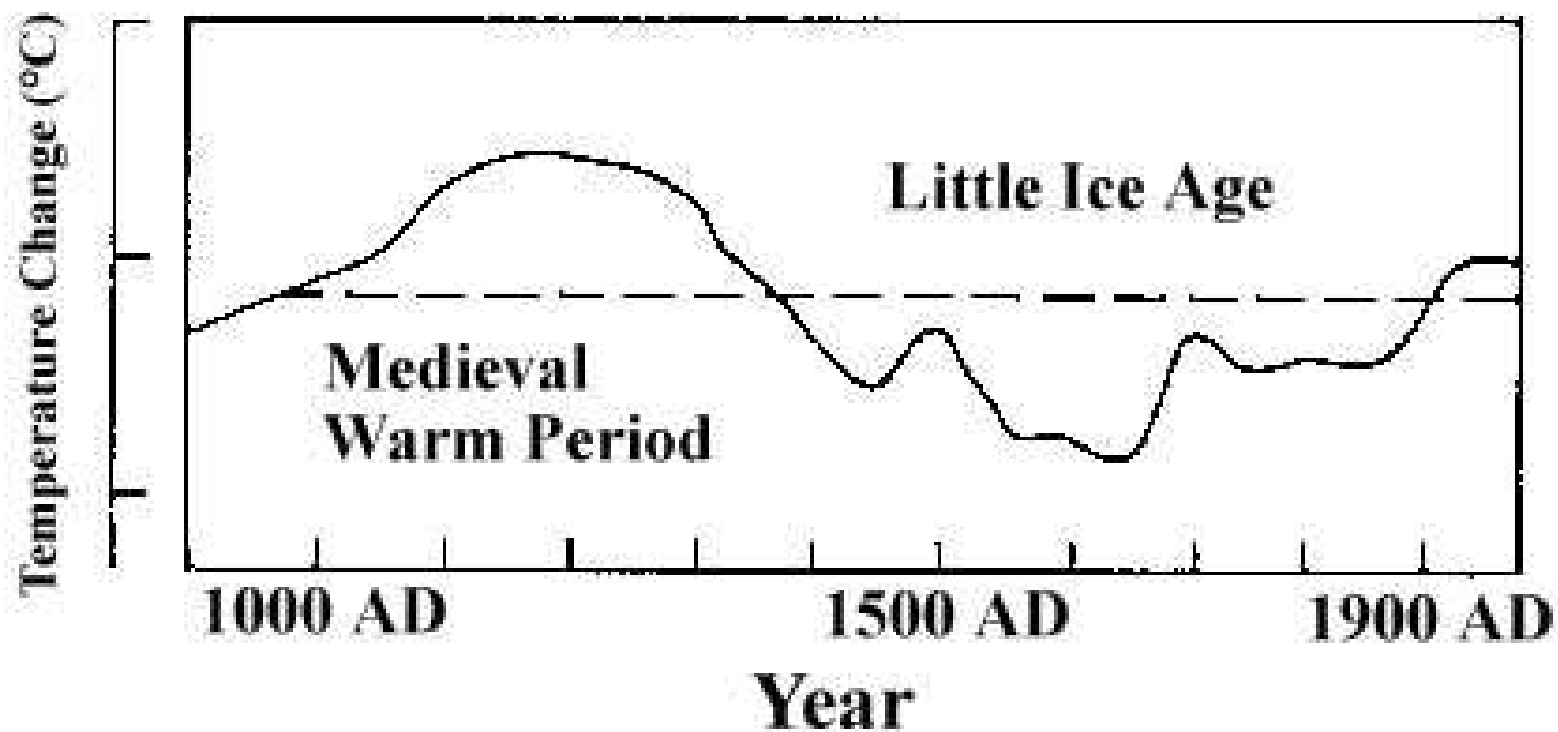
420,000 ANNI + Vostok Ice Core



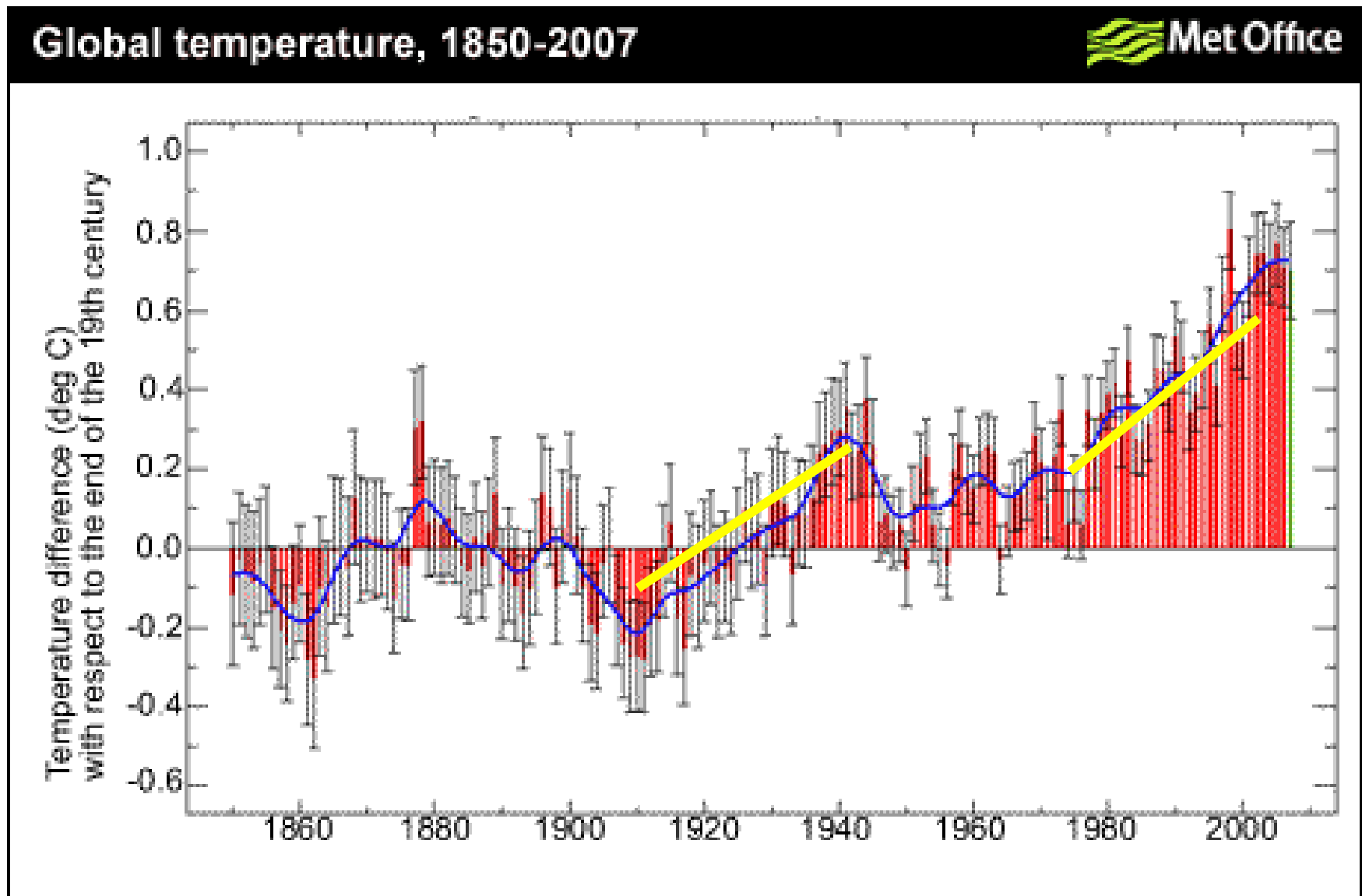
10.000 ANNI



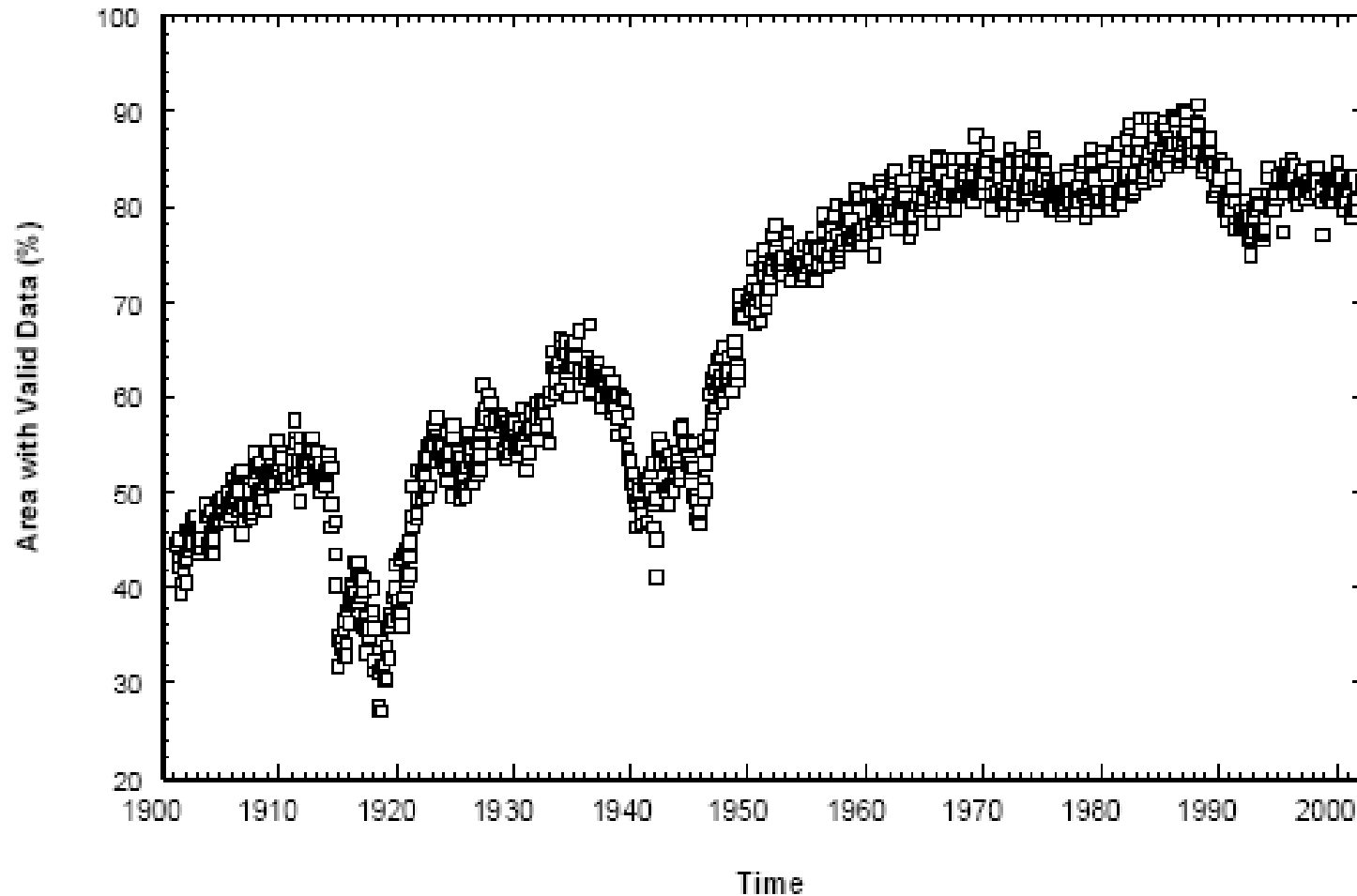
1.000 ANNI



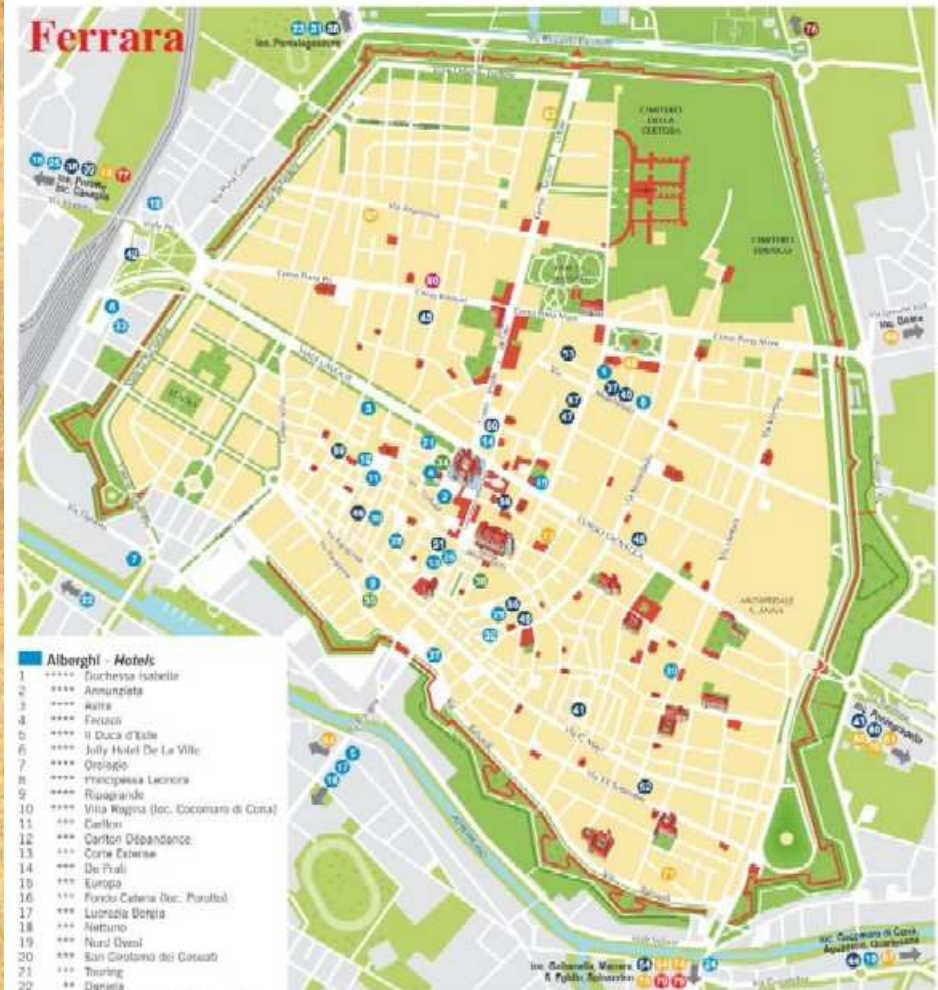
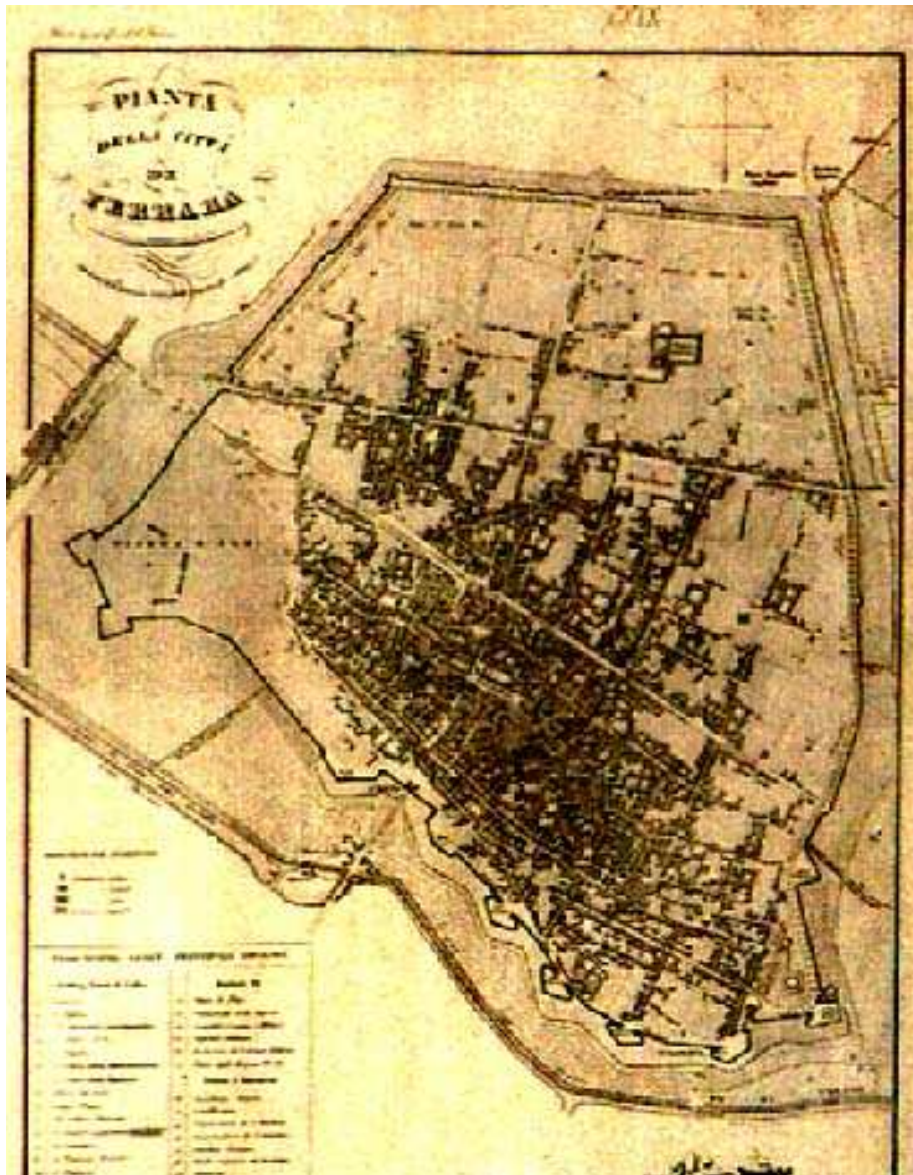
100 ANNI



Problema I: copertura dei sensori
la frazione di superficie globale monitorata varia
 $5^\circ \times 5^\circ \sim 550 \times 400 \text{ km}^2$



Problema II: effetti urbani da meta' ottocento la struttura urbana e' mutata



Problema III: manutenzione delle stazioni **non controllabile, variabile, importante**

capannine “bianche”

areate

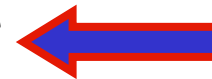
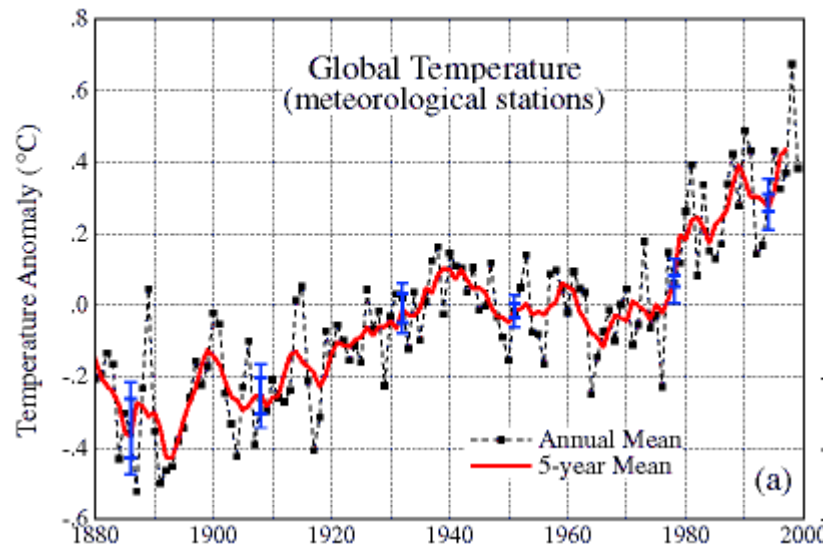
modalita' di lettura

tipo di strumento

operatori

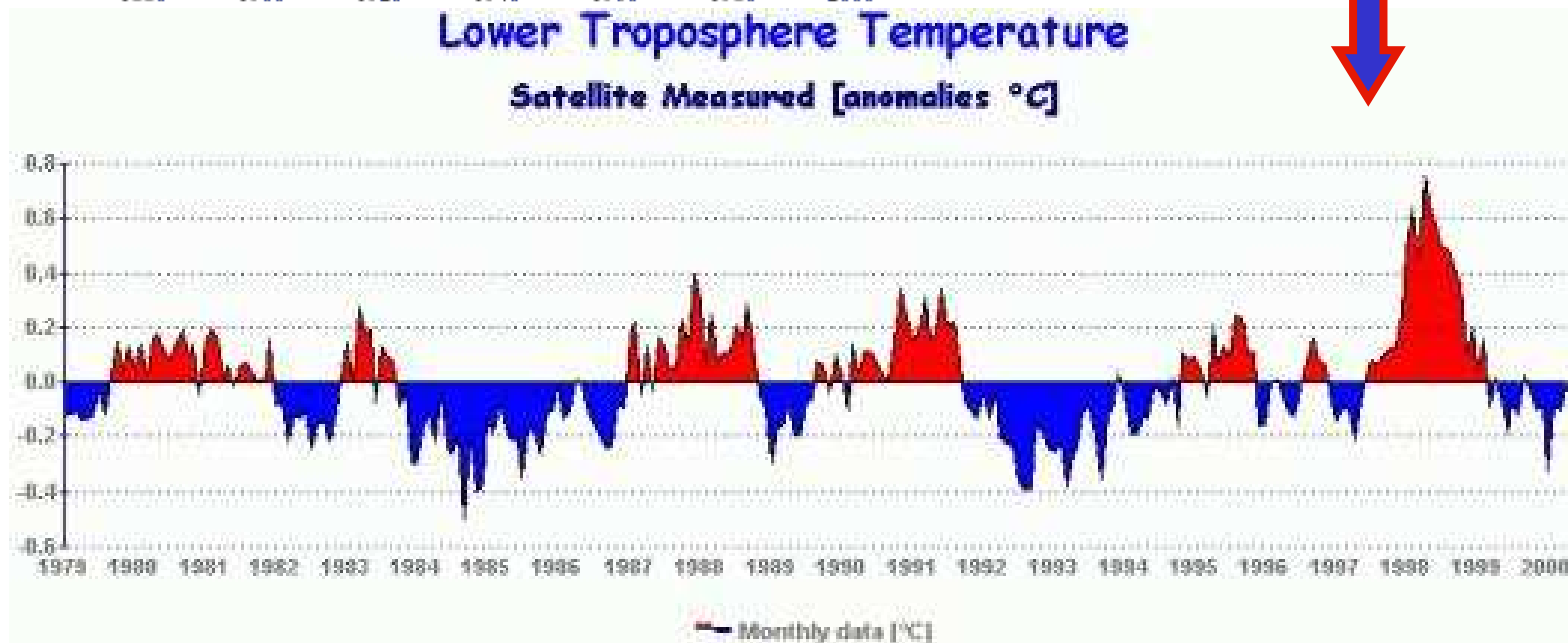


Problema IV: confronti con dati da satellite



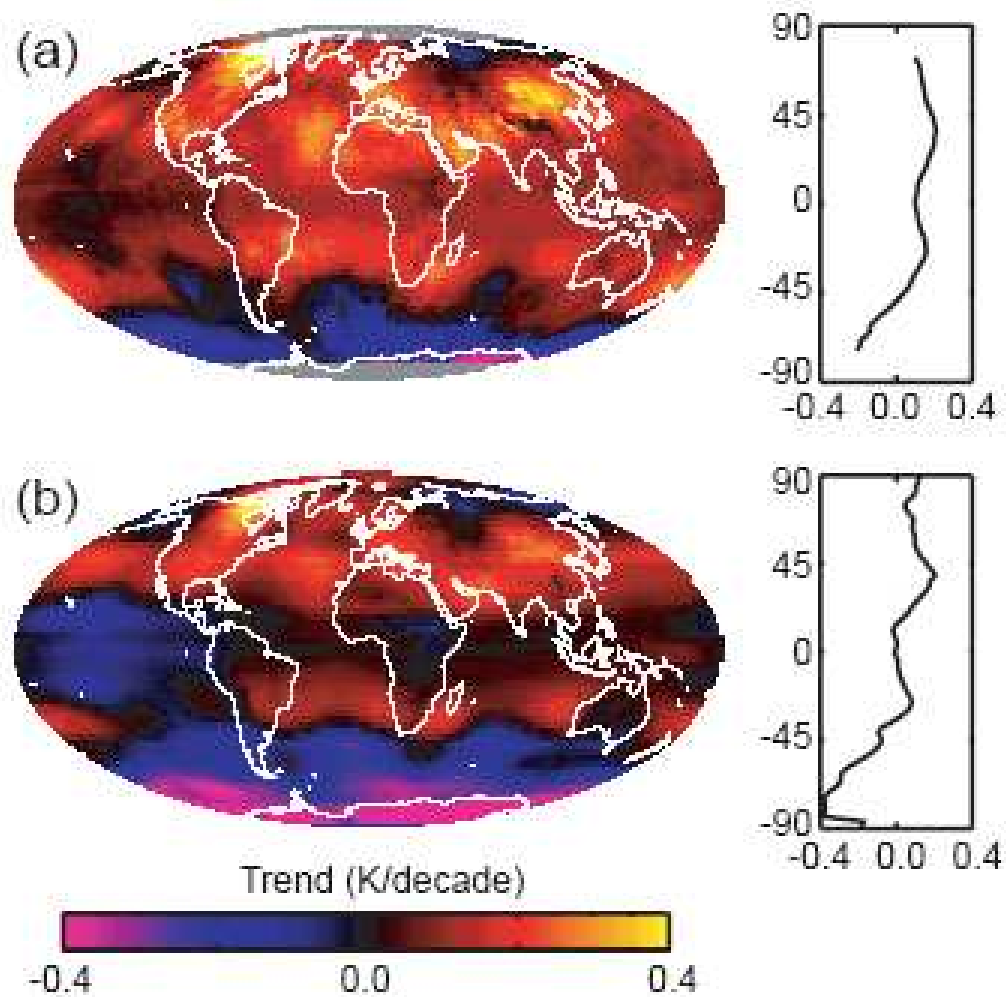
0,2 K/decade

0,09 K/decade



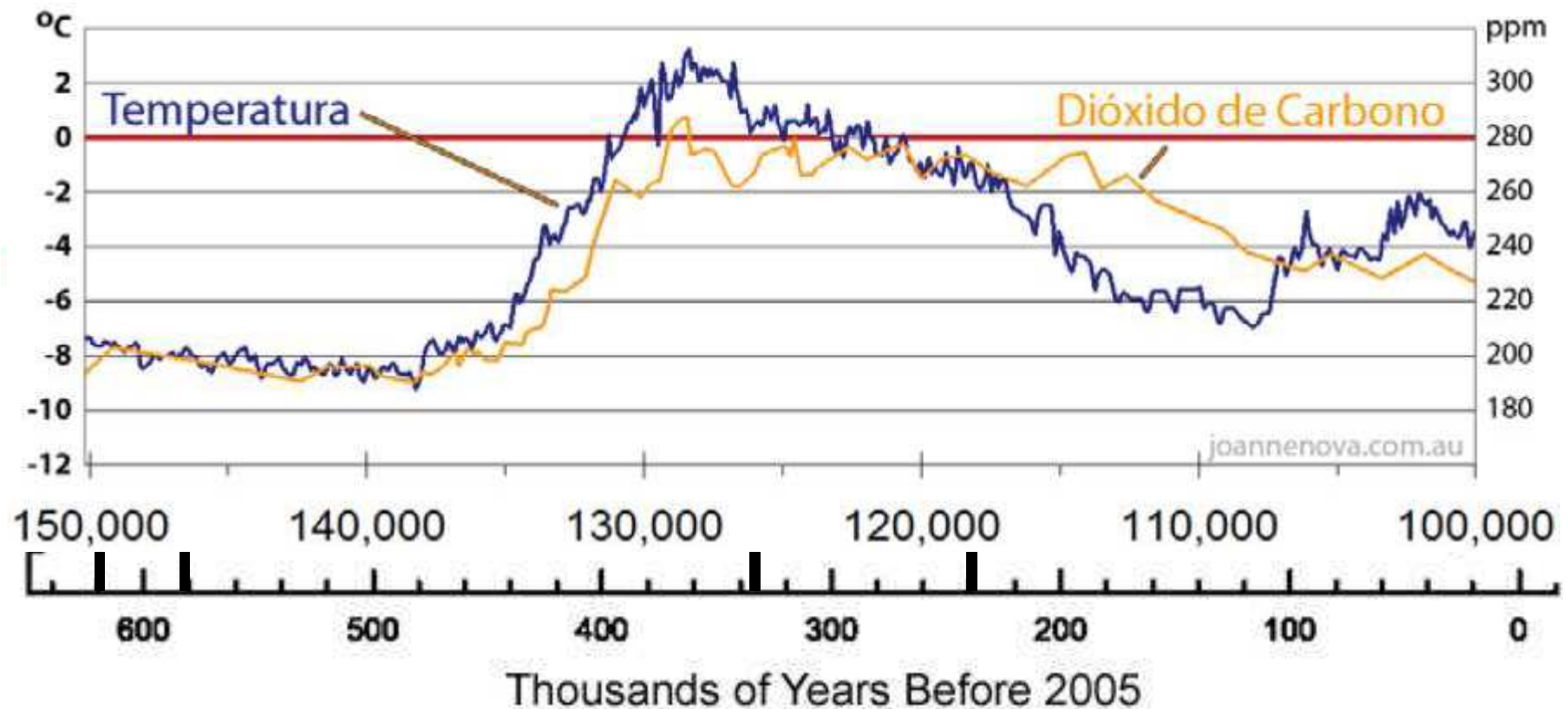
Problema IV: confronti con dati da satellite

Microwave Sounding Unit (MSU)

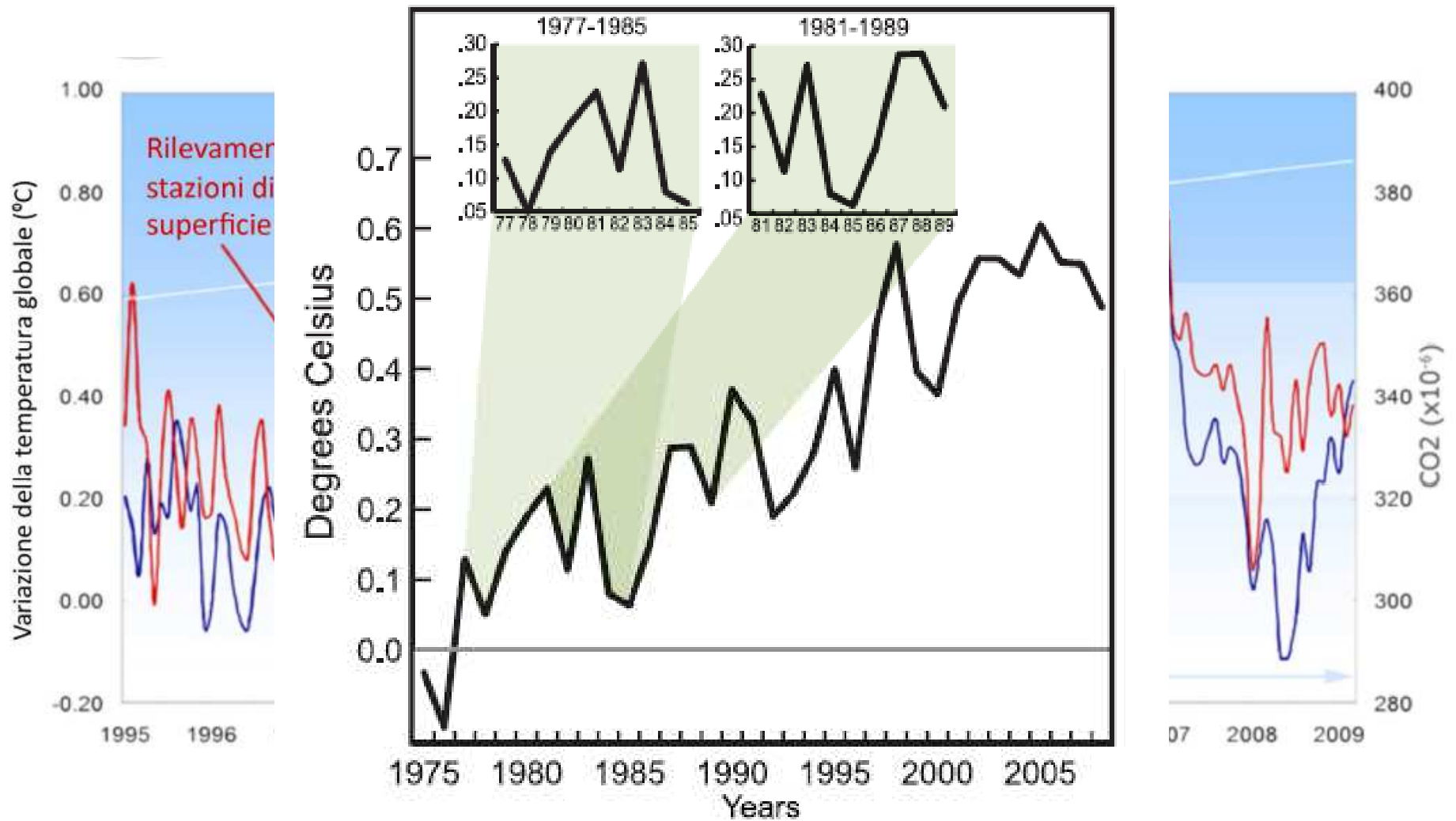


Problema V: l'aumento di concentrazione di CO₂ causa riscaldamento o viceversa ?

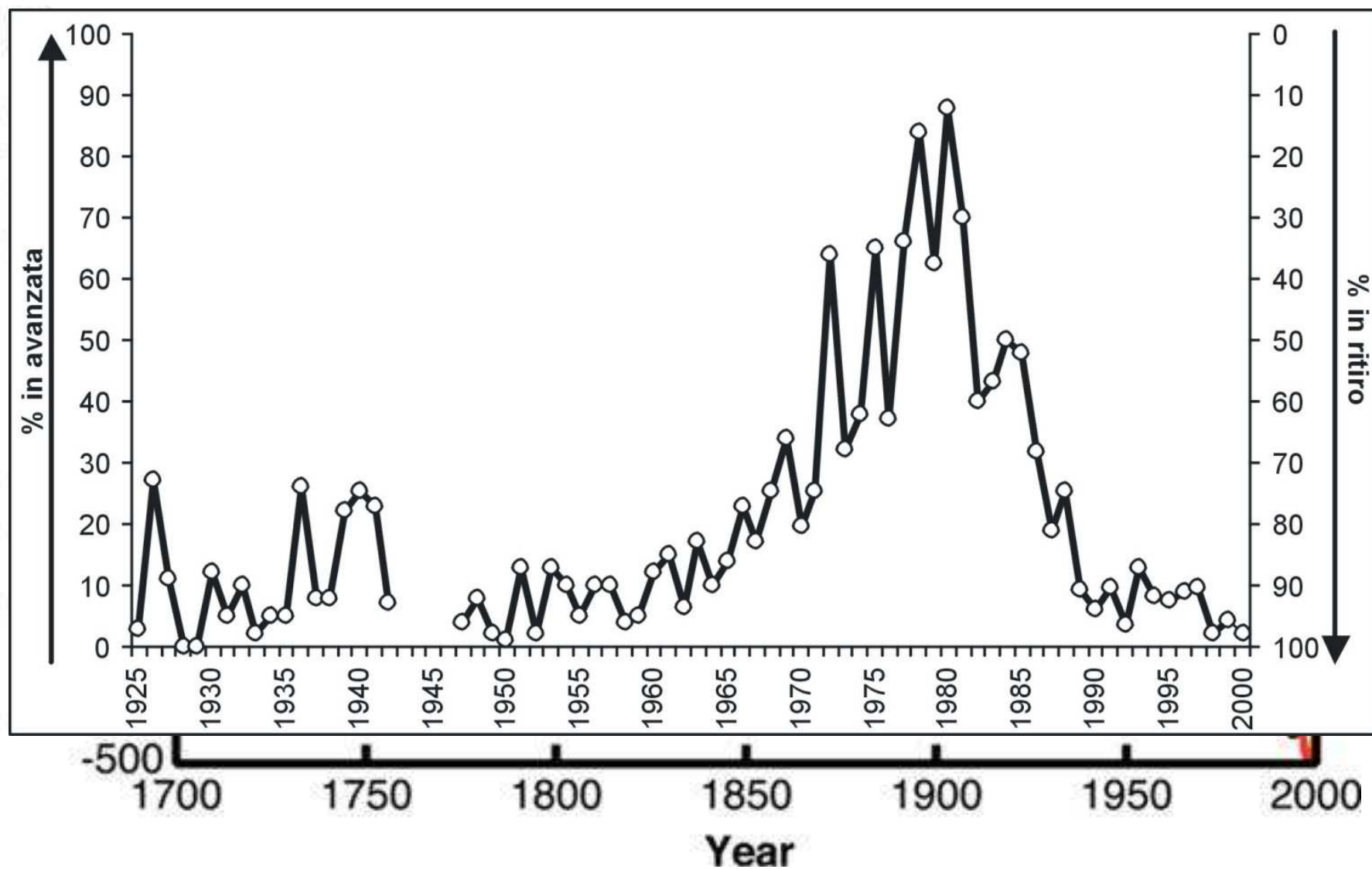
Historical Climate Reconstruction (Ice Cores)



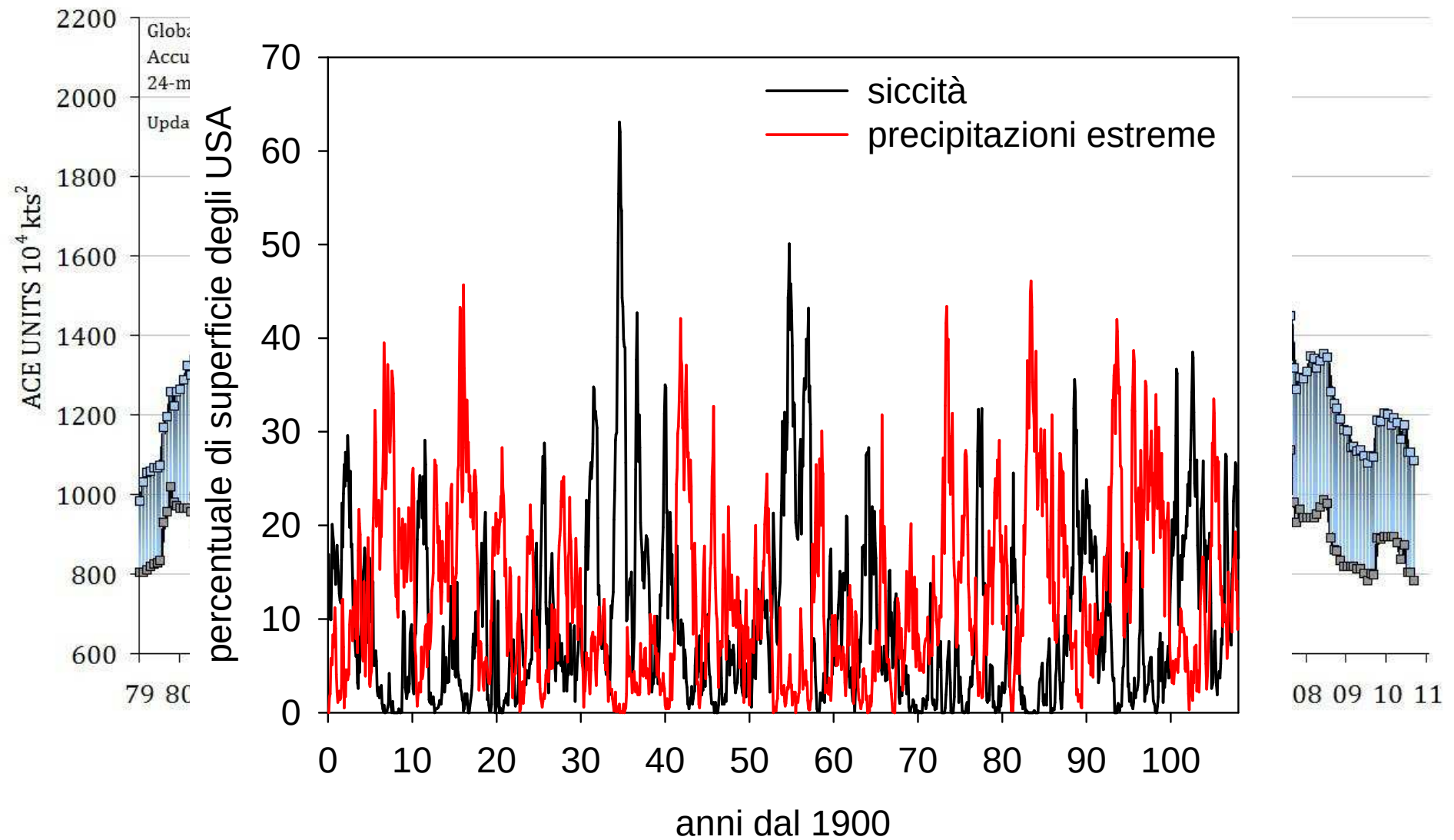
Problema VI: ultimi 10 anni di non riscaldamento



Problema VII: ritiro dei ghiacciai



Problema VIII: segnali minimi sugli eventi estremi



VARIAZIONE DEL LIVELLO DEL MARE

LIVELLO DEI MARI

cause:

1) dilatazione termica $\sim 0.5 \text{ m} / \text{K}$

2) scioglimento del ghiaccio:

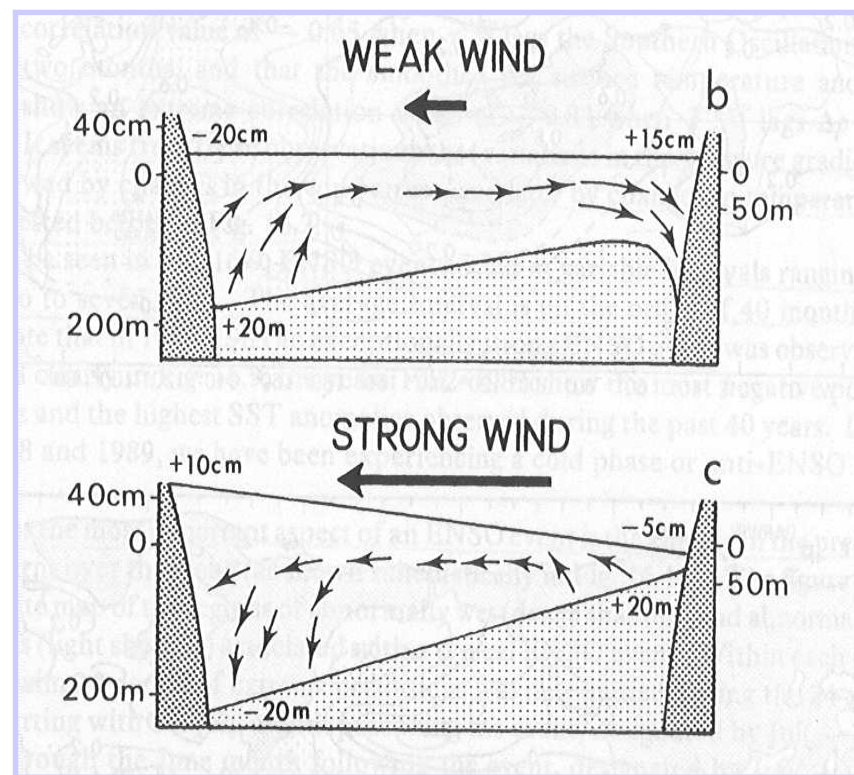
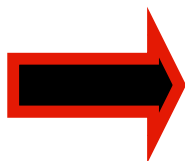
a) ghiacciai	+ 0.5 m
b) Antartide e Groenlandia	+ 68.8 m
c) ghiaccio marino	$\sim 0.1 \text{ m}$

3) innalzamento (Scandinavia $\sim + 1 \text{ m} / 100 \text{ anni}$)

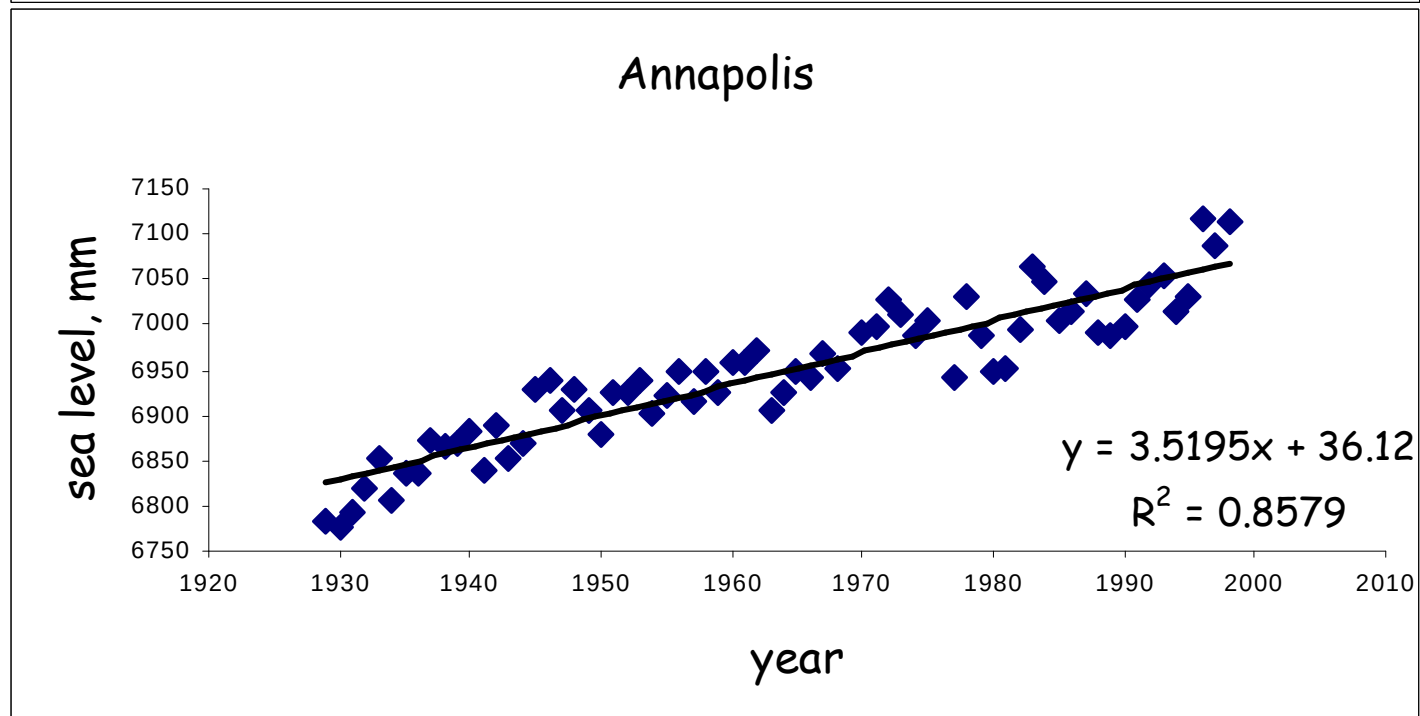
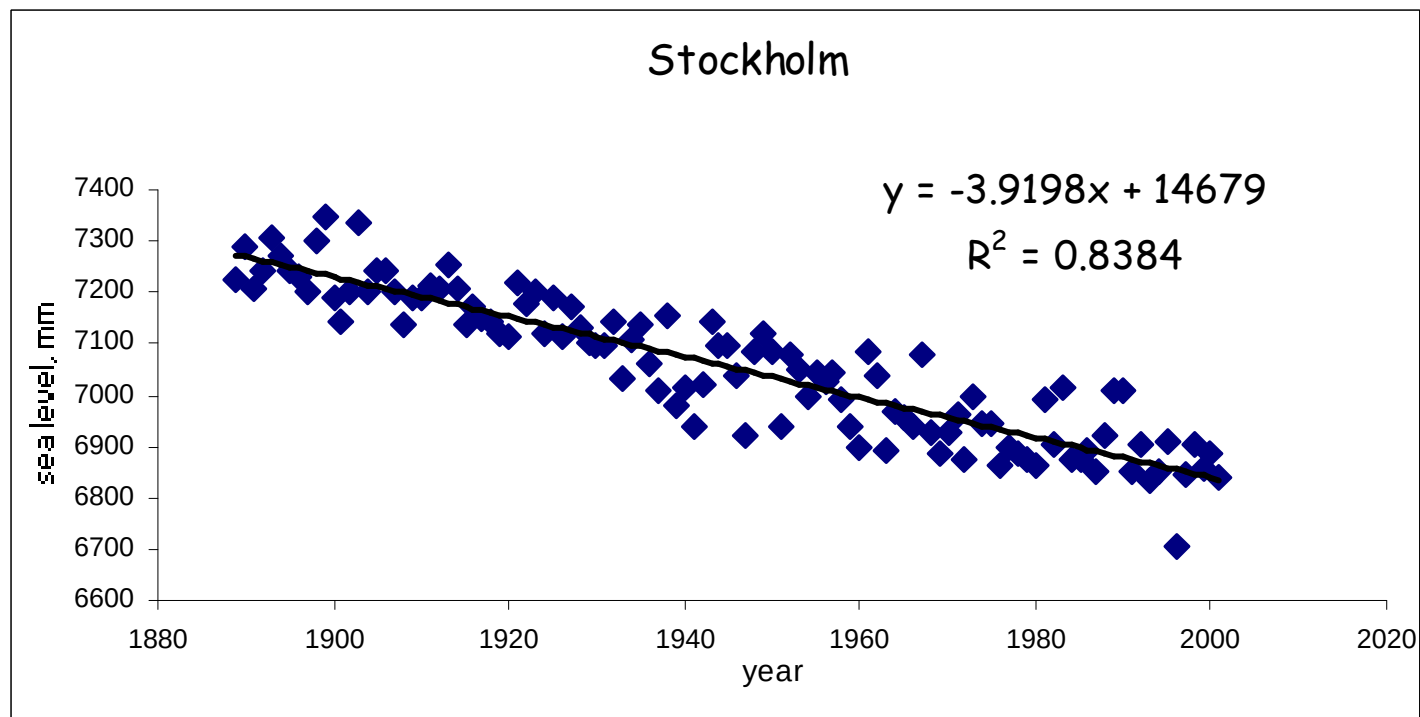
4) subsidenza (Thailandia $\sim - 1 \text{ m} / 30 \text{ anni}$)

il livello del mare varia
localmente per forzature
dinamiche (vento, correnti)

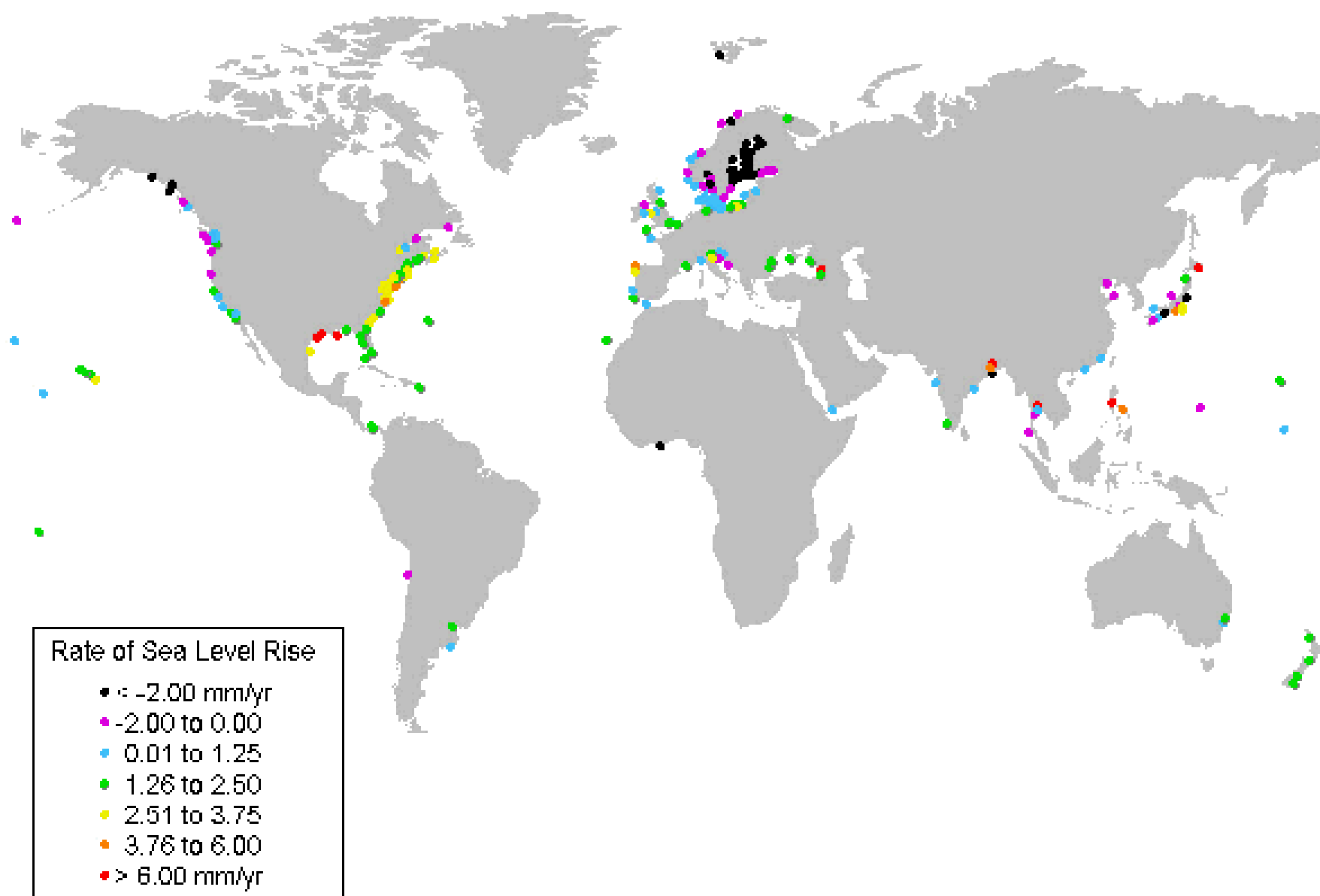
Pacifico equatoriale
influenzato da El niño



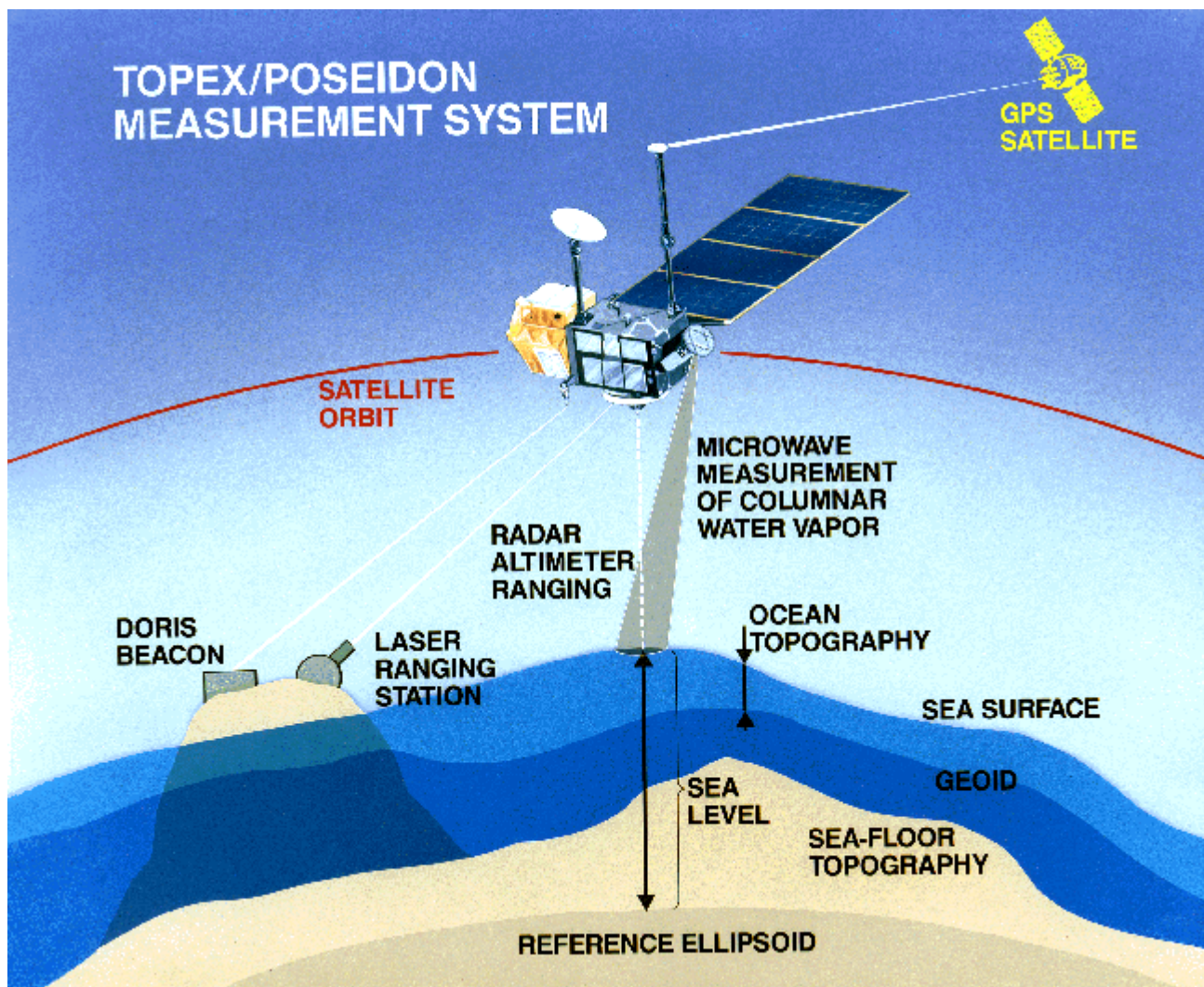
Acqua alta nella
laguna di Venezia



LIVELLO DEI MARI

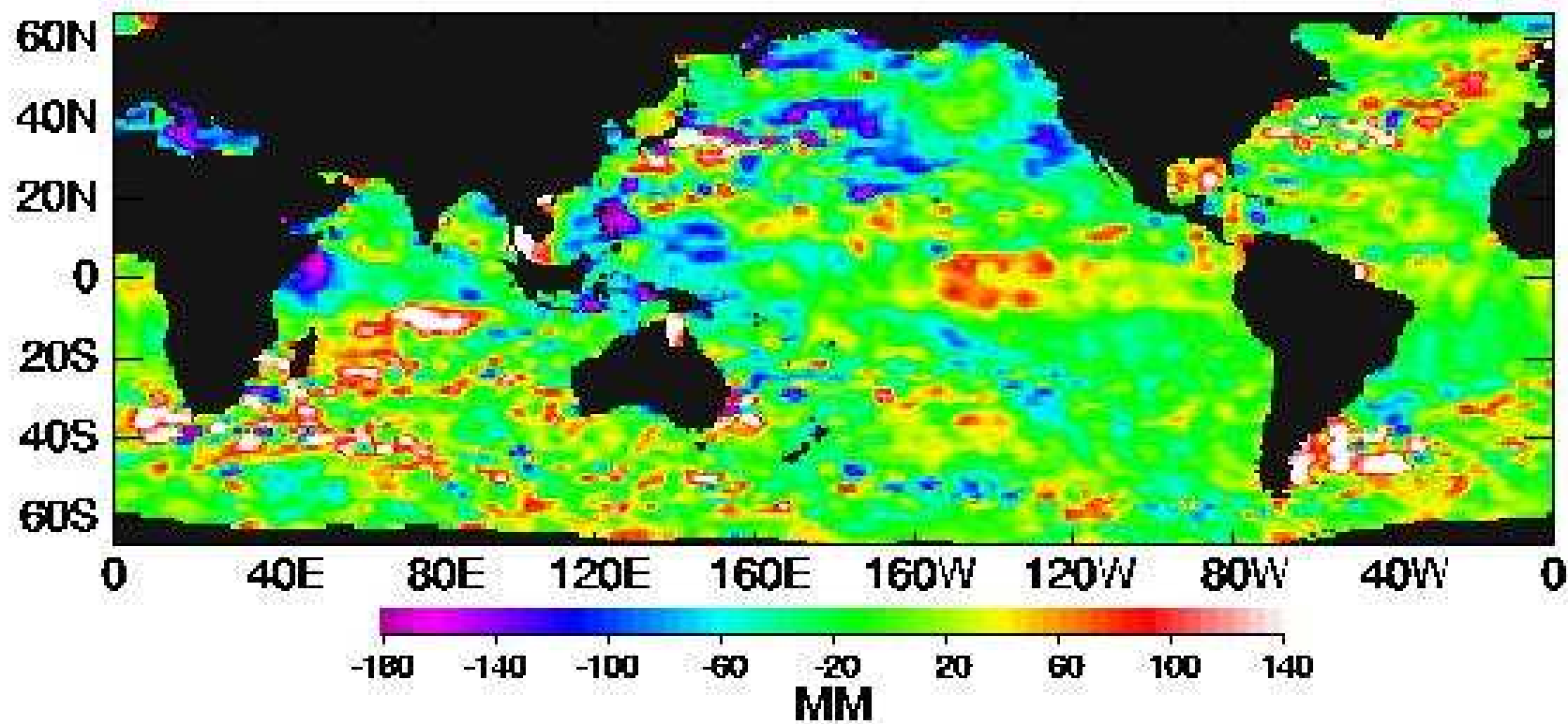


LIVELLO DEI MARI

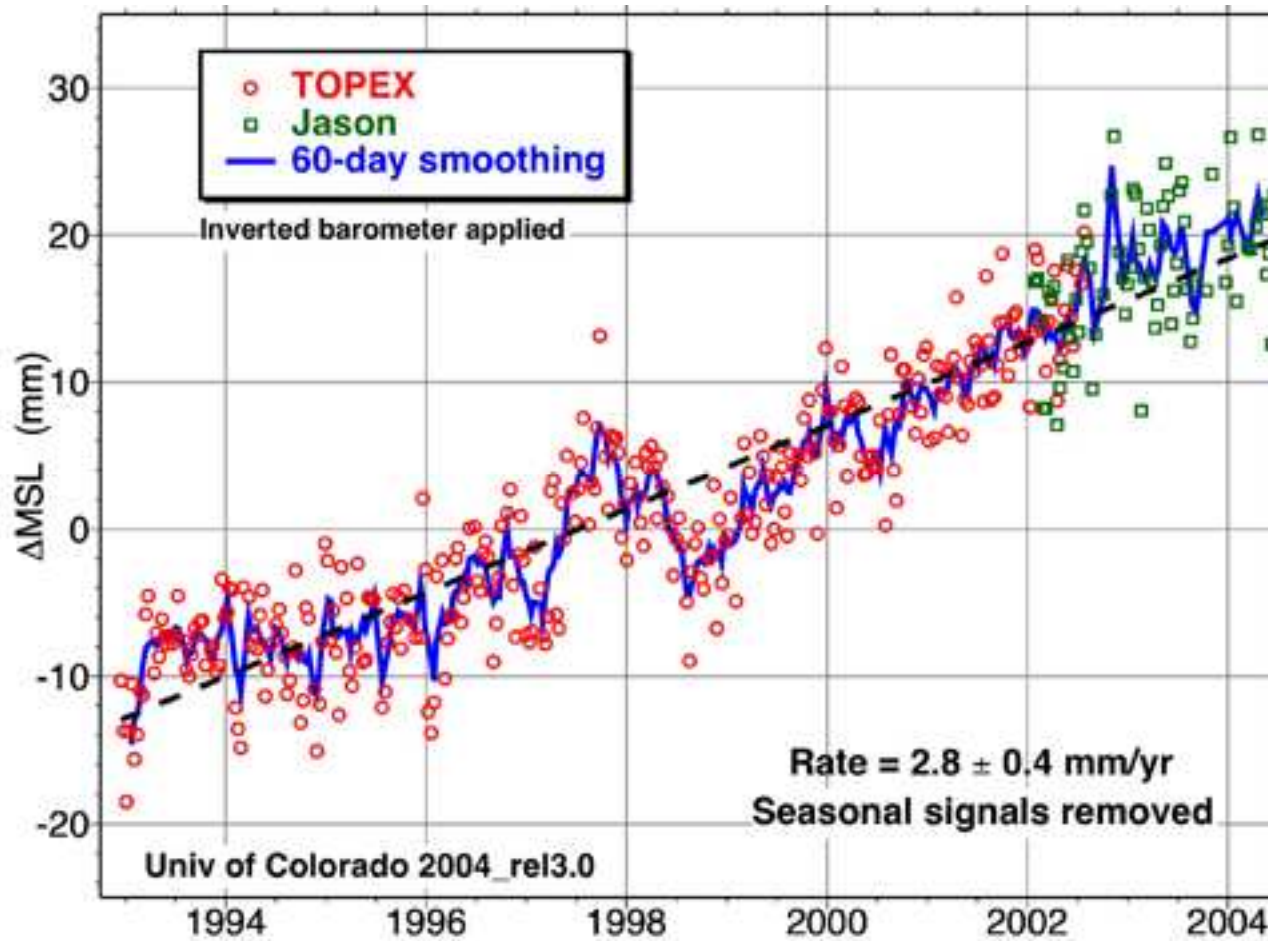


LIVELLO DEI MARI

Jason Sea Level Residuals JAN 11 2005



LIVELLO DEI MARI



con le boe:

1-2 mm/y

osservazioni dallo spazio

vulcani,

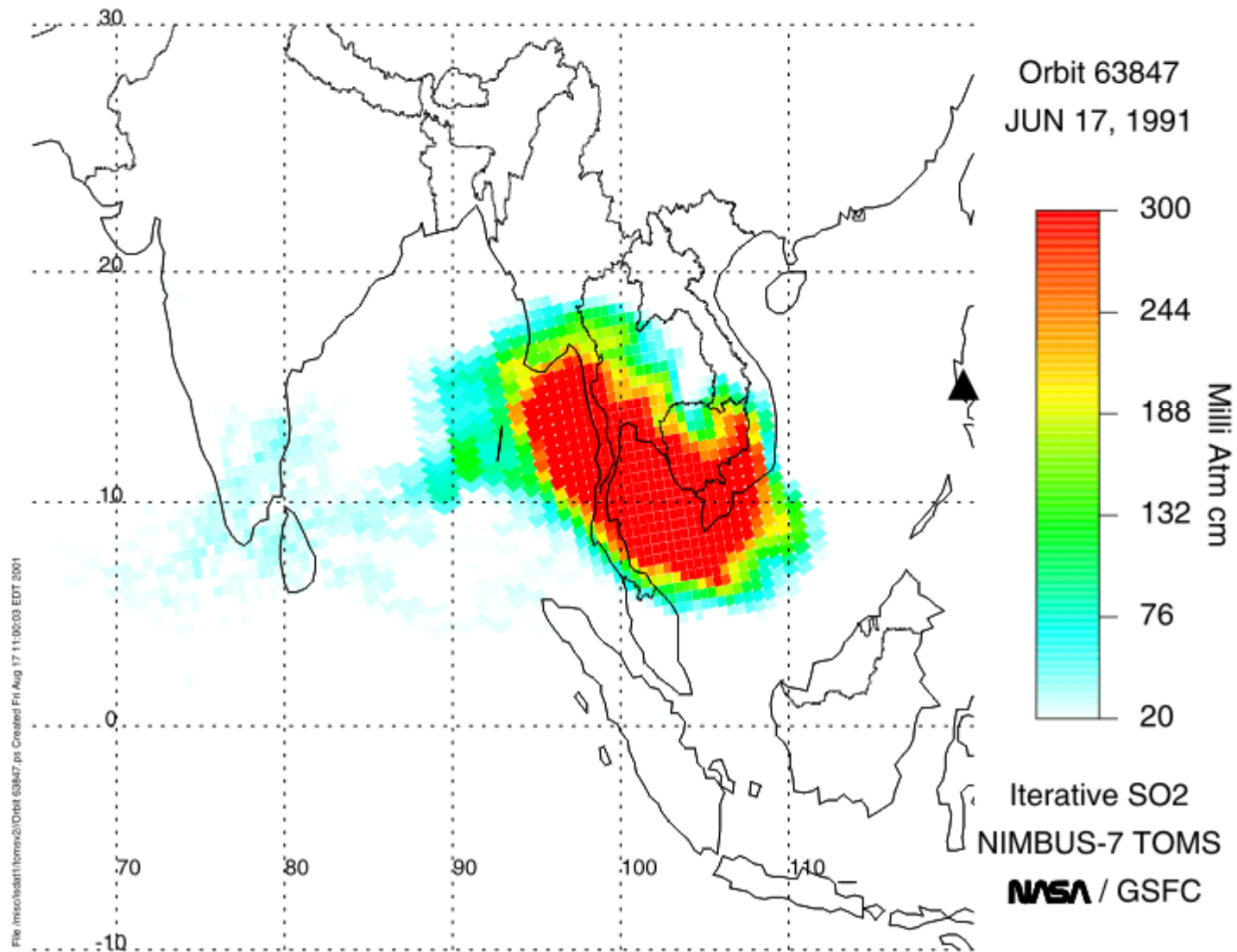
vegetazione,

el nino.

eruzione del monte Pinatubo (12-16/06/91)



eruzione del monte Pinatubo

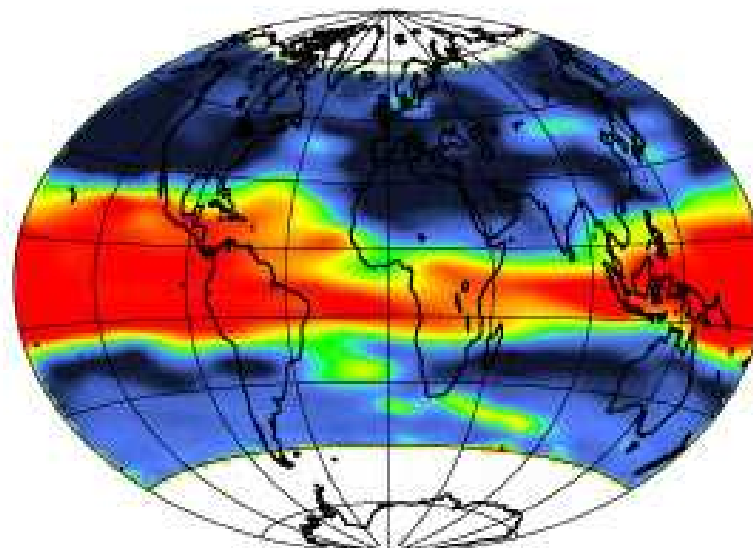


eruzione del monte Pinatubo

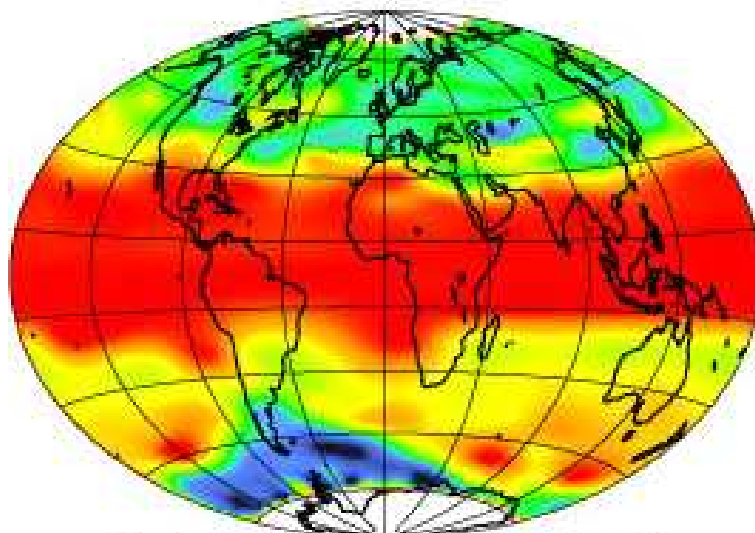
SAGE II 1020 nm Optical Depth



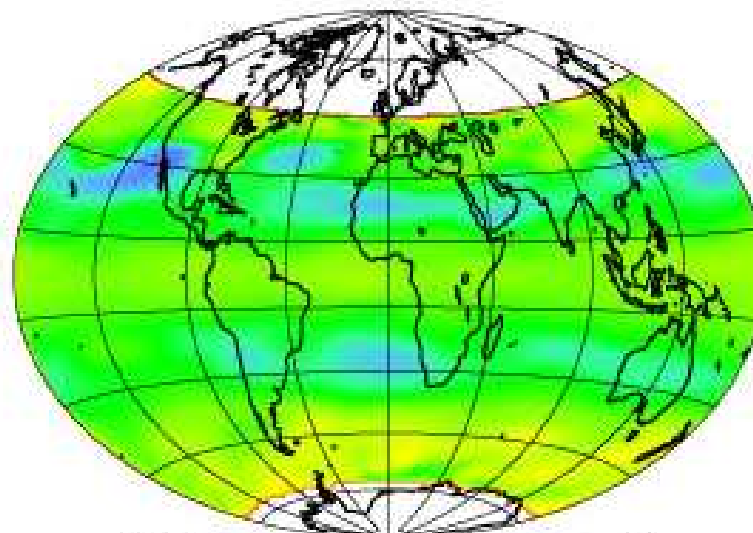
91-April-10 to 91-May-13



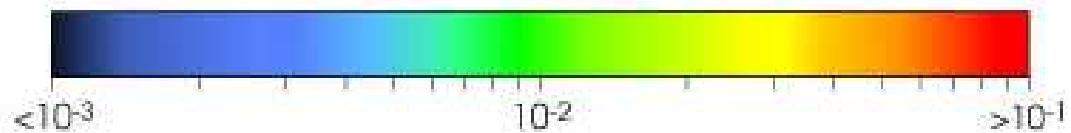
91-June-15 to 91-July-25

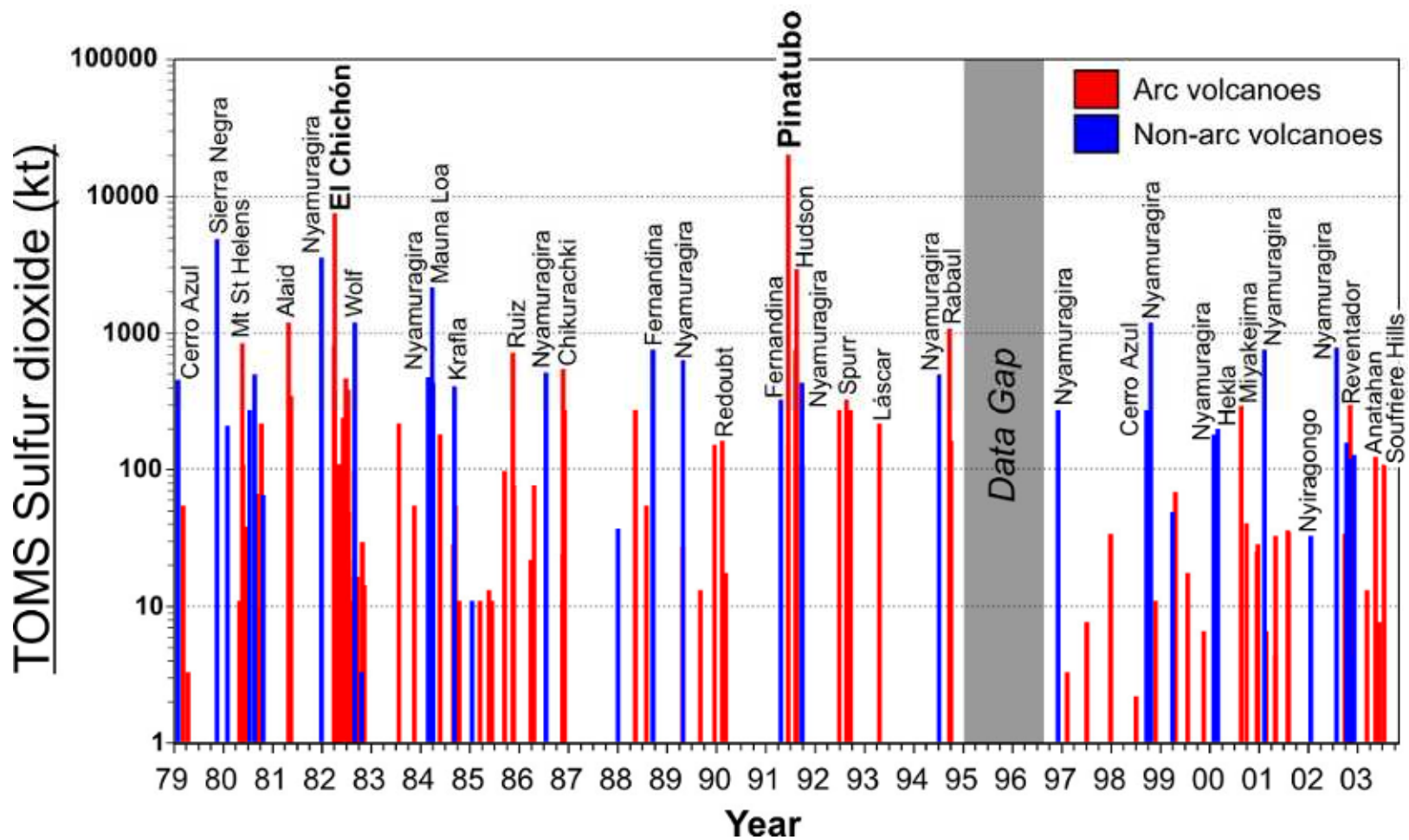


91-August-23 to 91-September-30



93-December-5 to 94-January-16

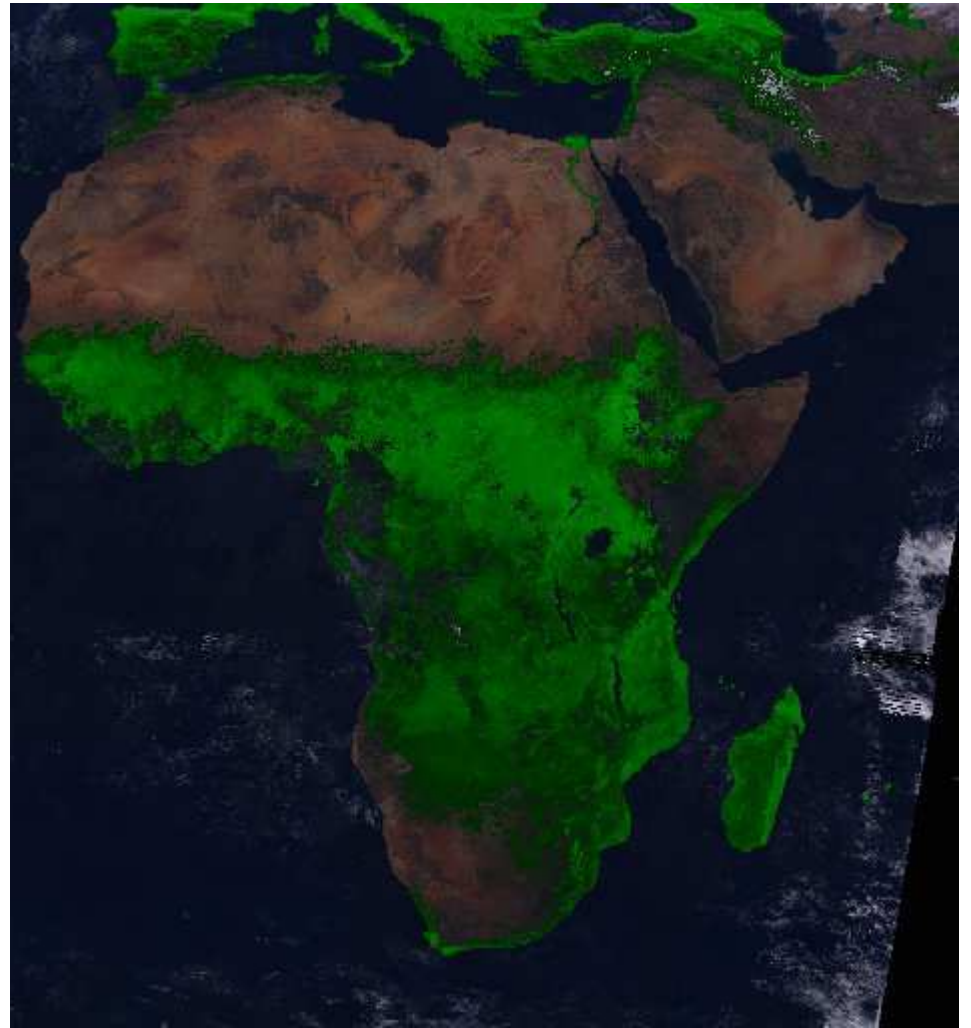


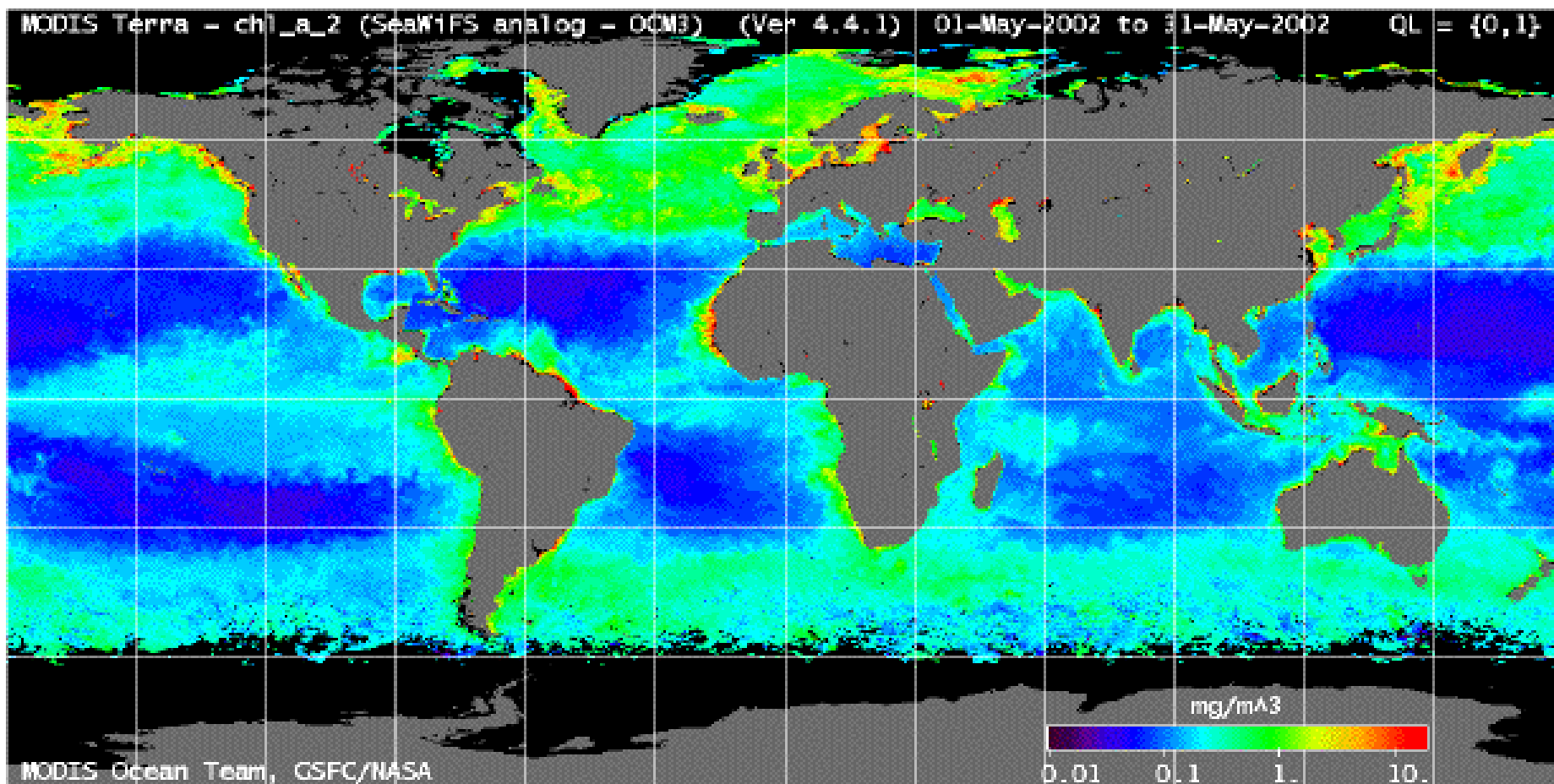


1984

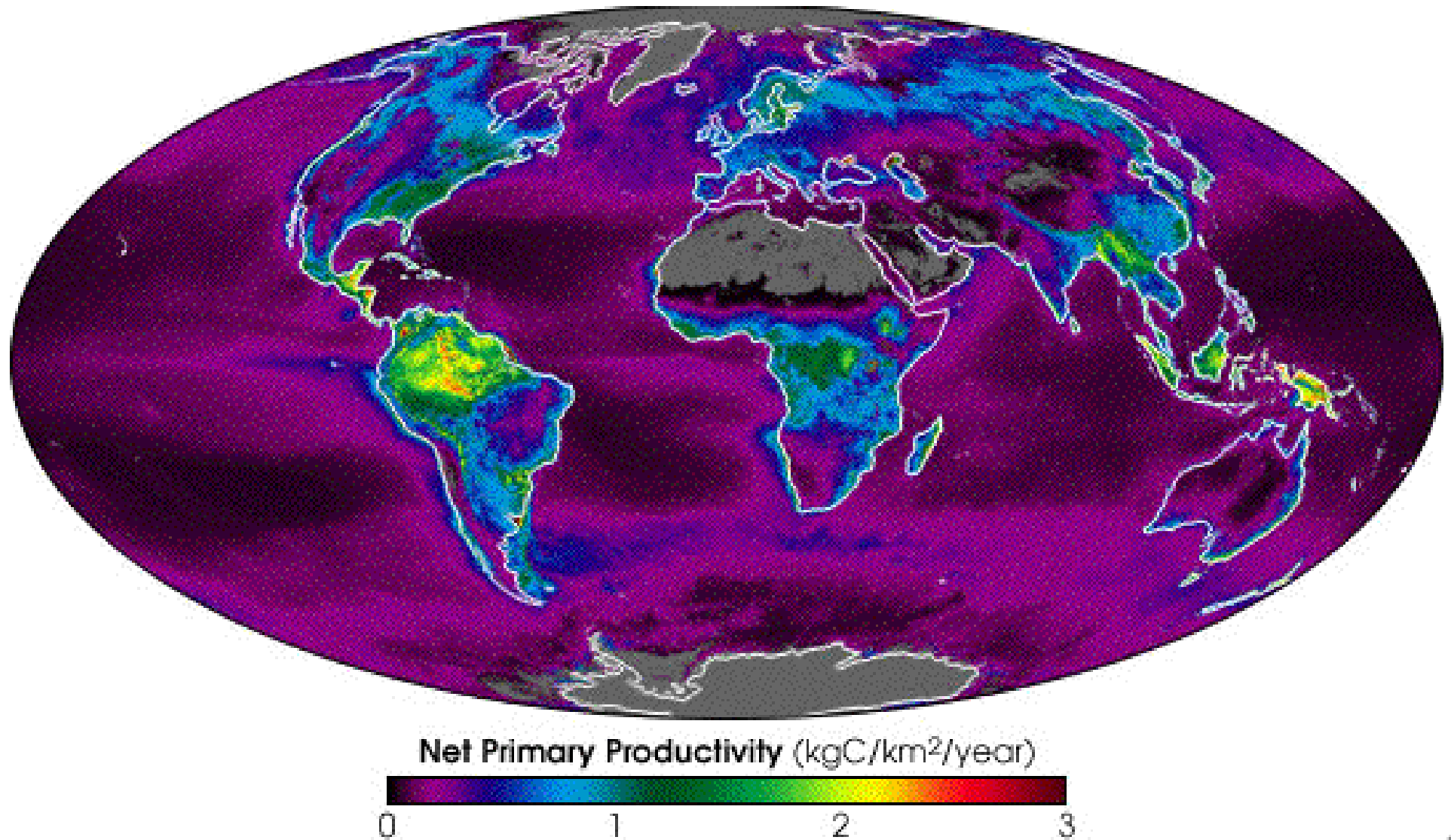


1994





flusso annuo di Carbonio verso la superficie (vegetazione)



The global mean radiative forcing of the climate system for the year 2000, relative to 1750

