



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.



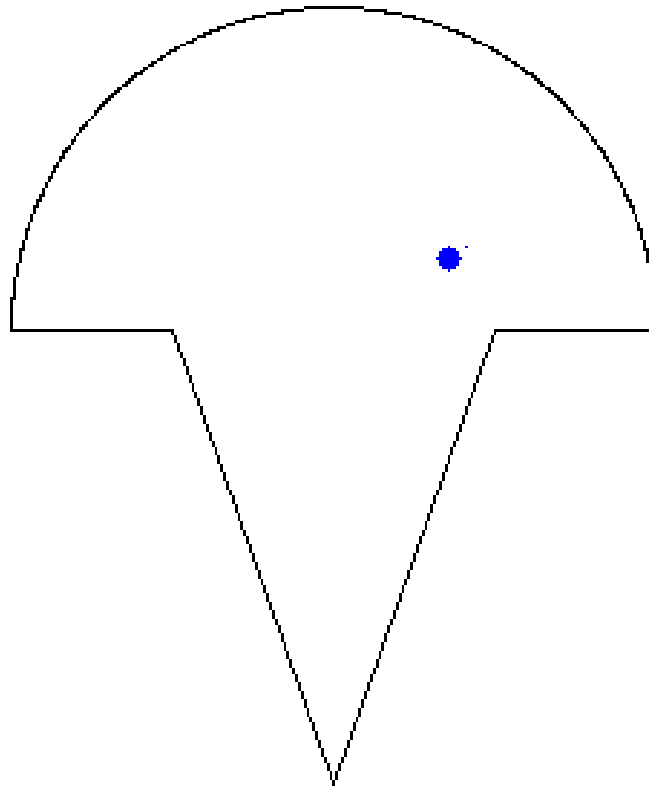
Caratteristiche di un sistema non lineare:

- 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

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

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

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

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

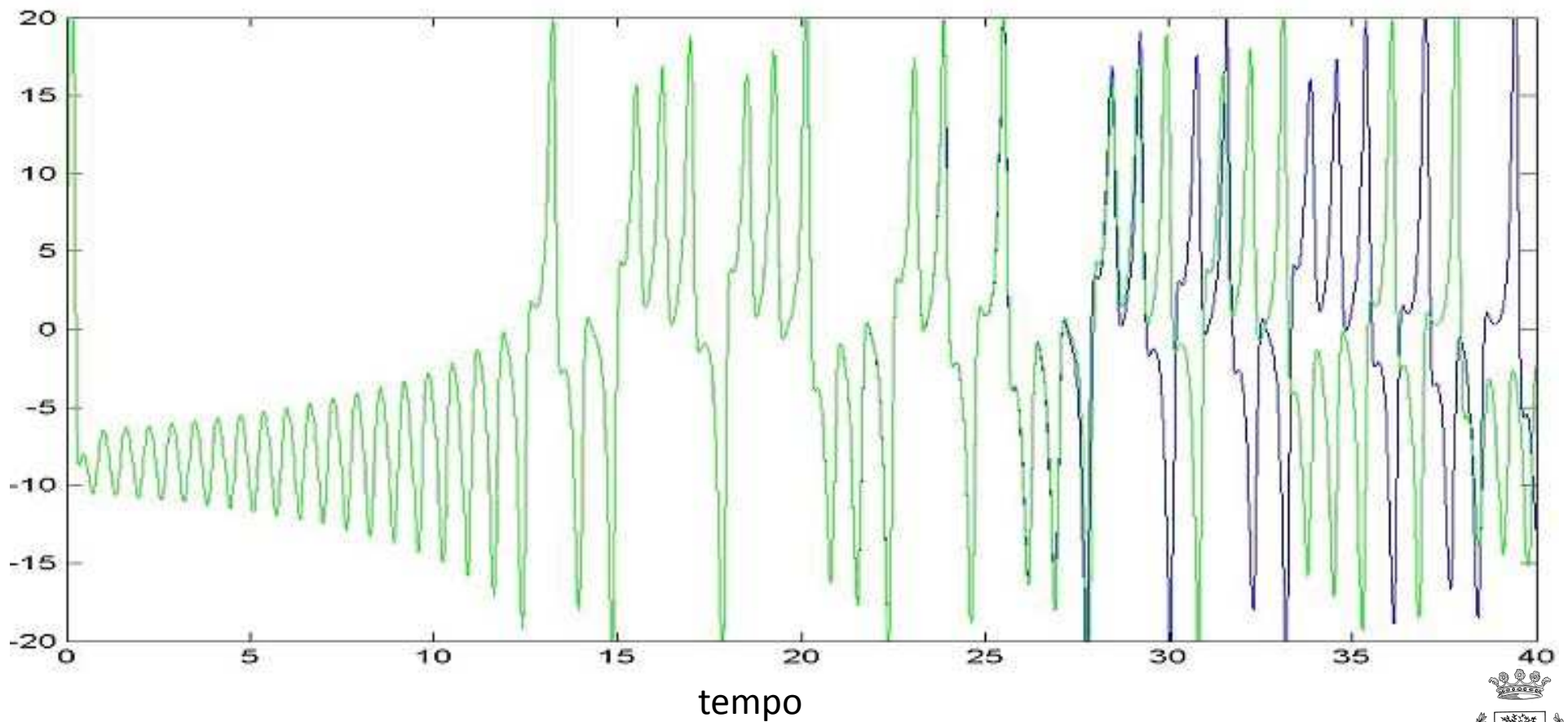
$$y_{(t=0)} = 1$$

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

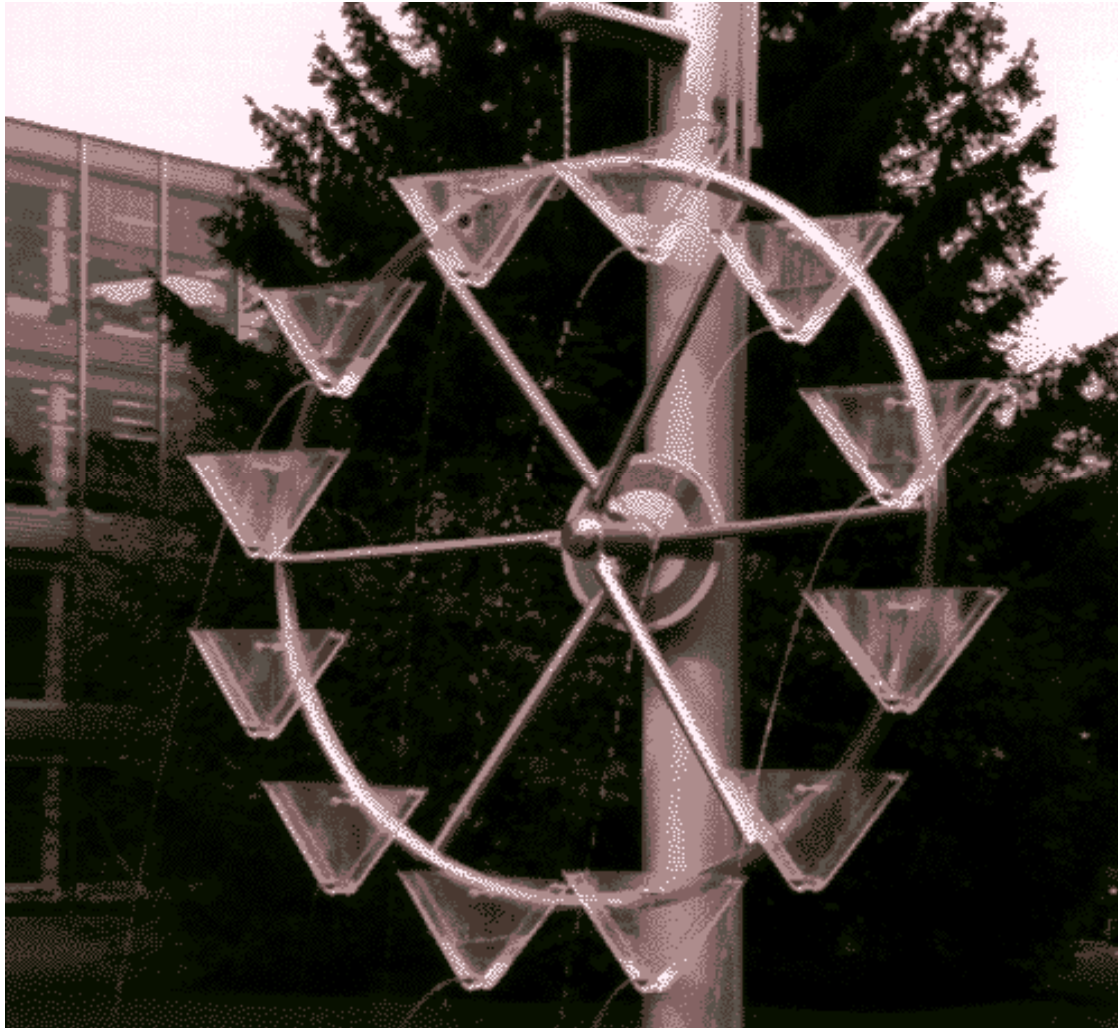
$$x_{(t=0)} = 8$$

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

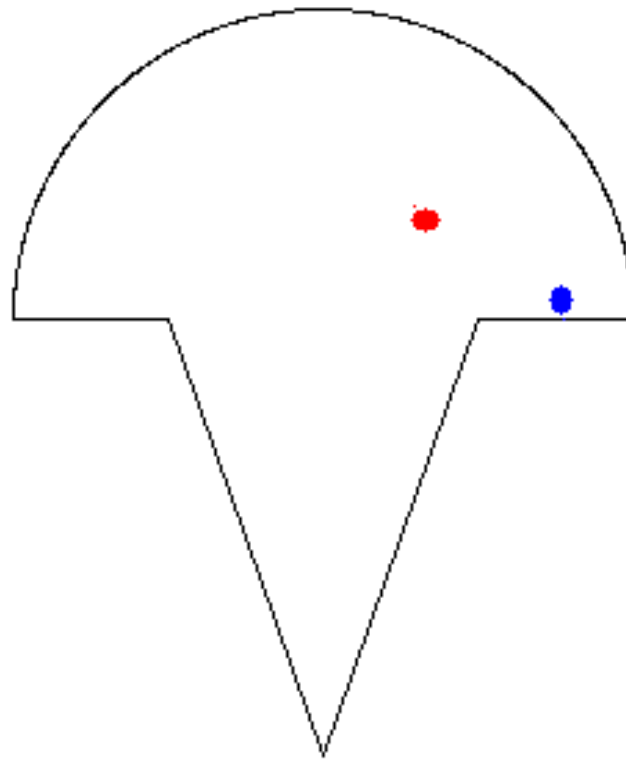
$$z_{(t=0)} = 1$$



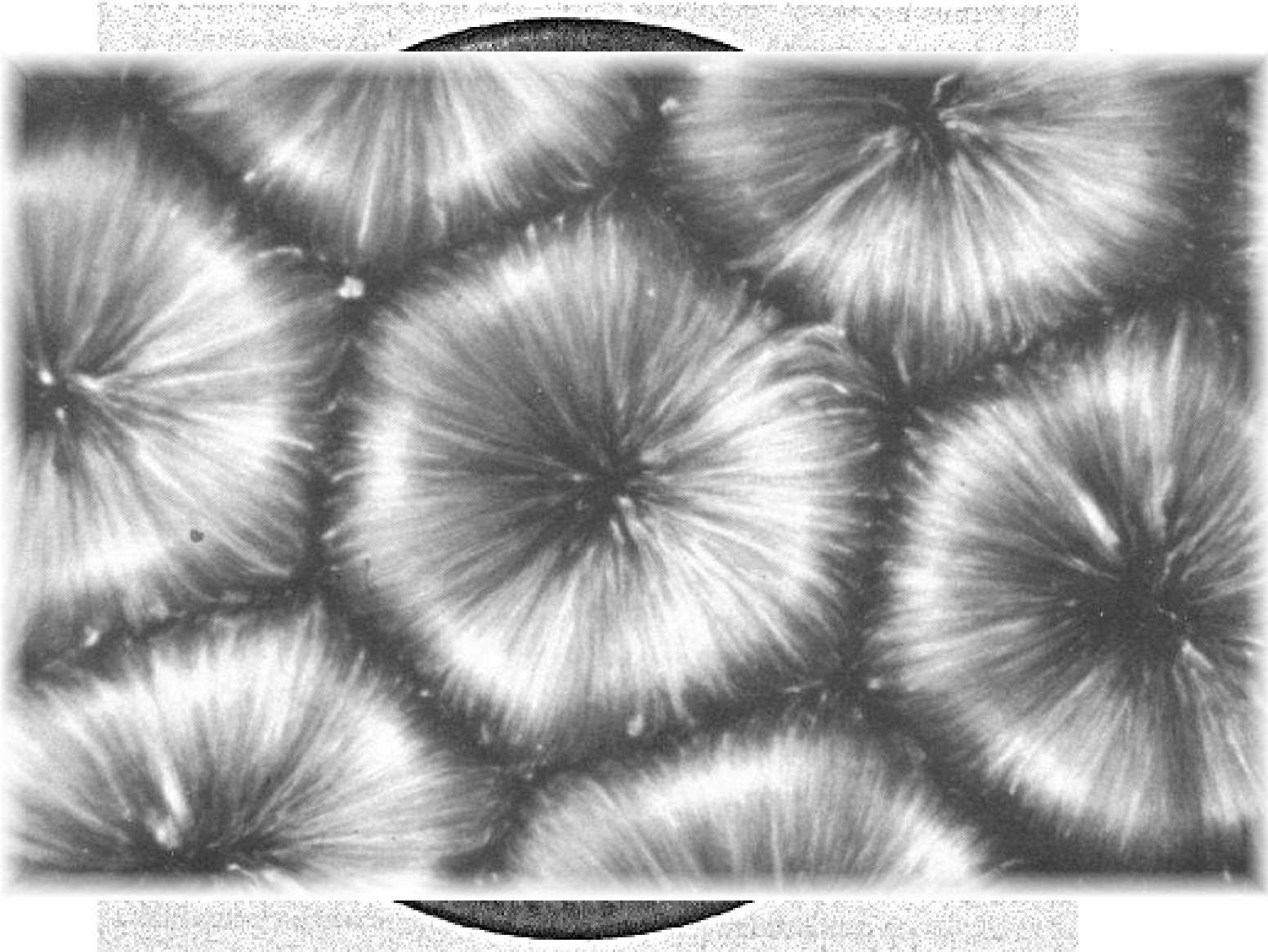
ruota ad acqua di Lorenz



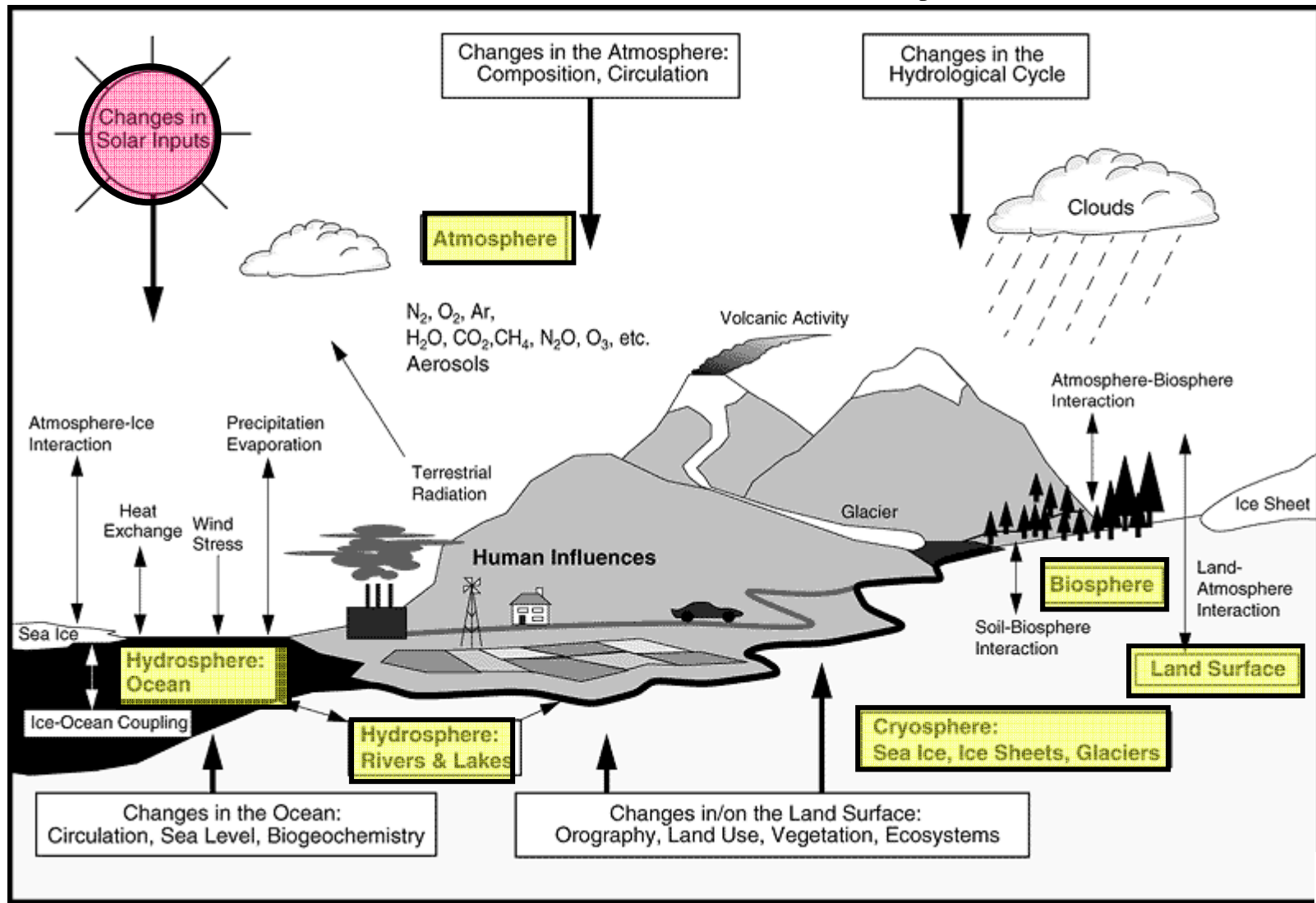
Biliardo ordine



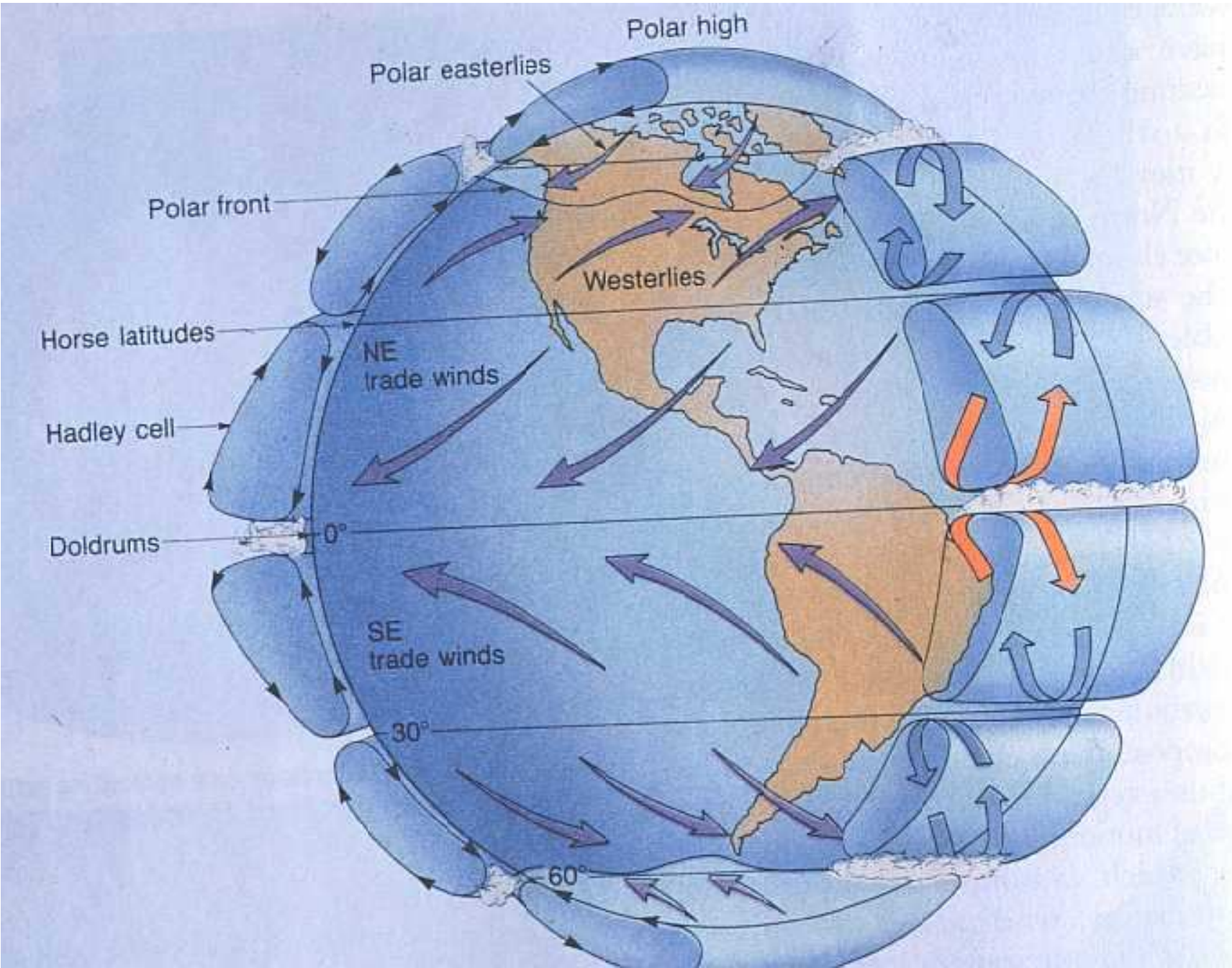
Convezione (Benard)



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



feed back positivo



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;



El Niño

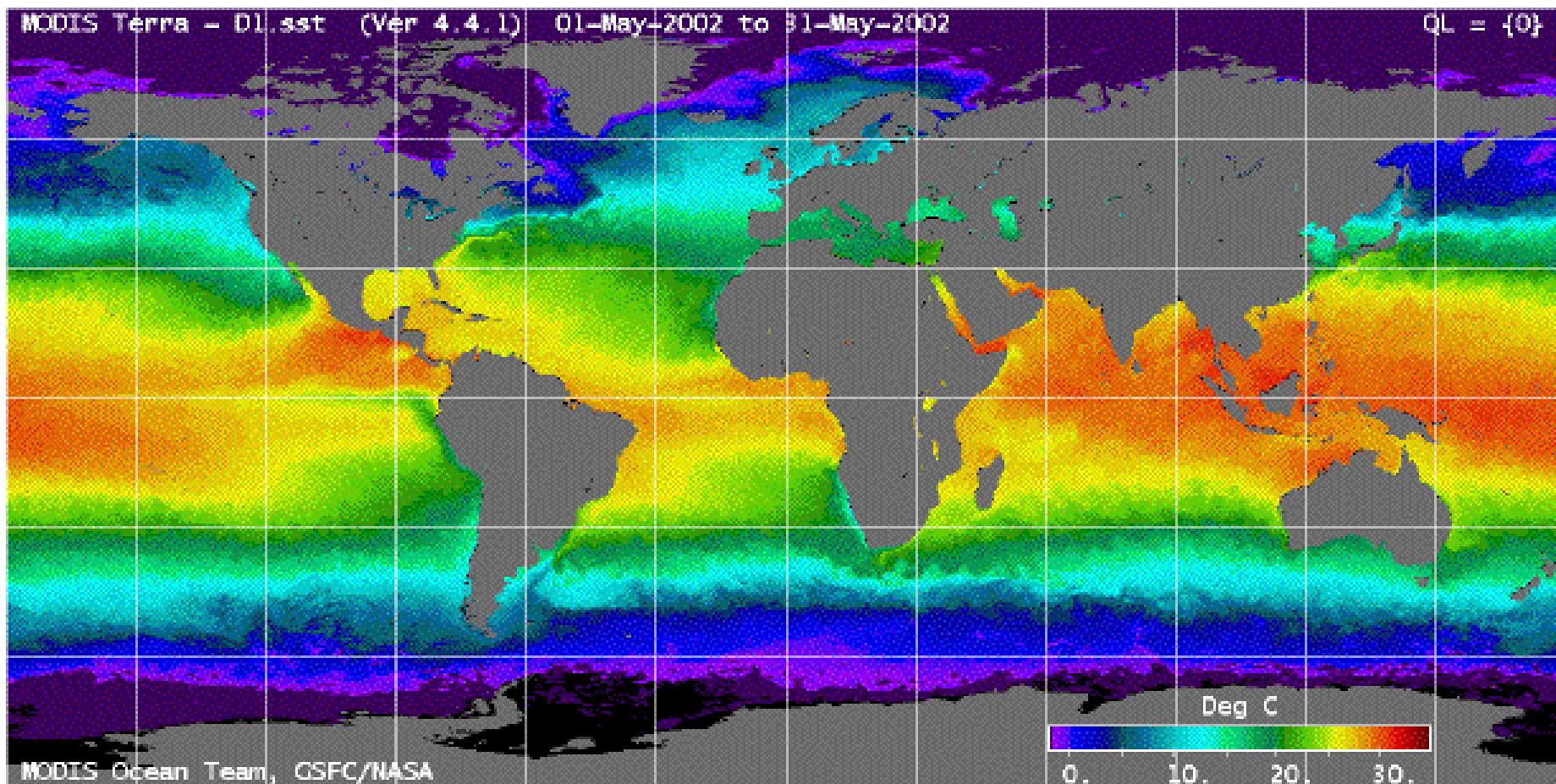
Interazione Atmosfera/Oceano

- 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.

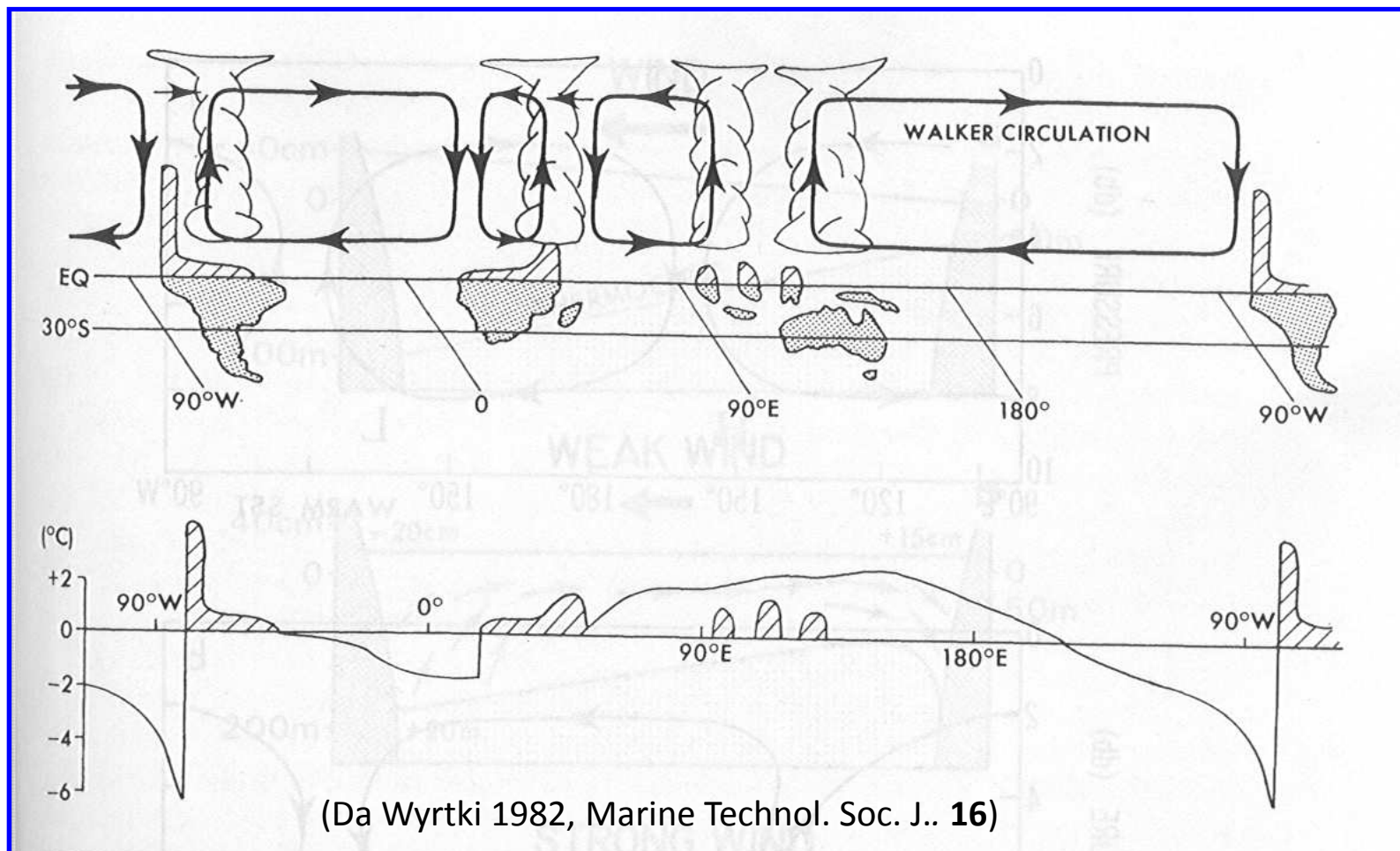


temperatura media oceanica

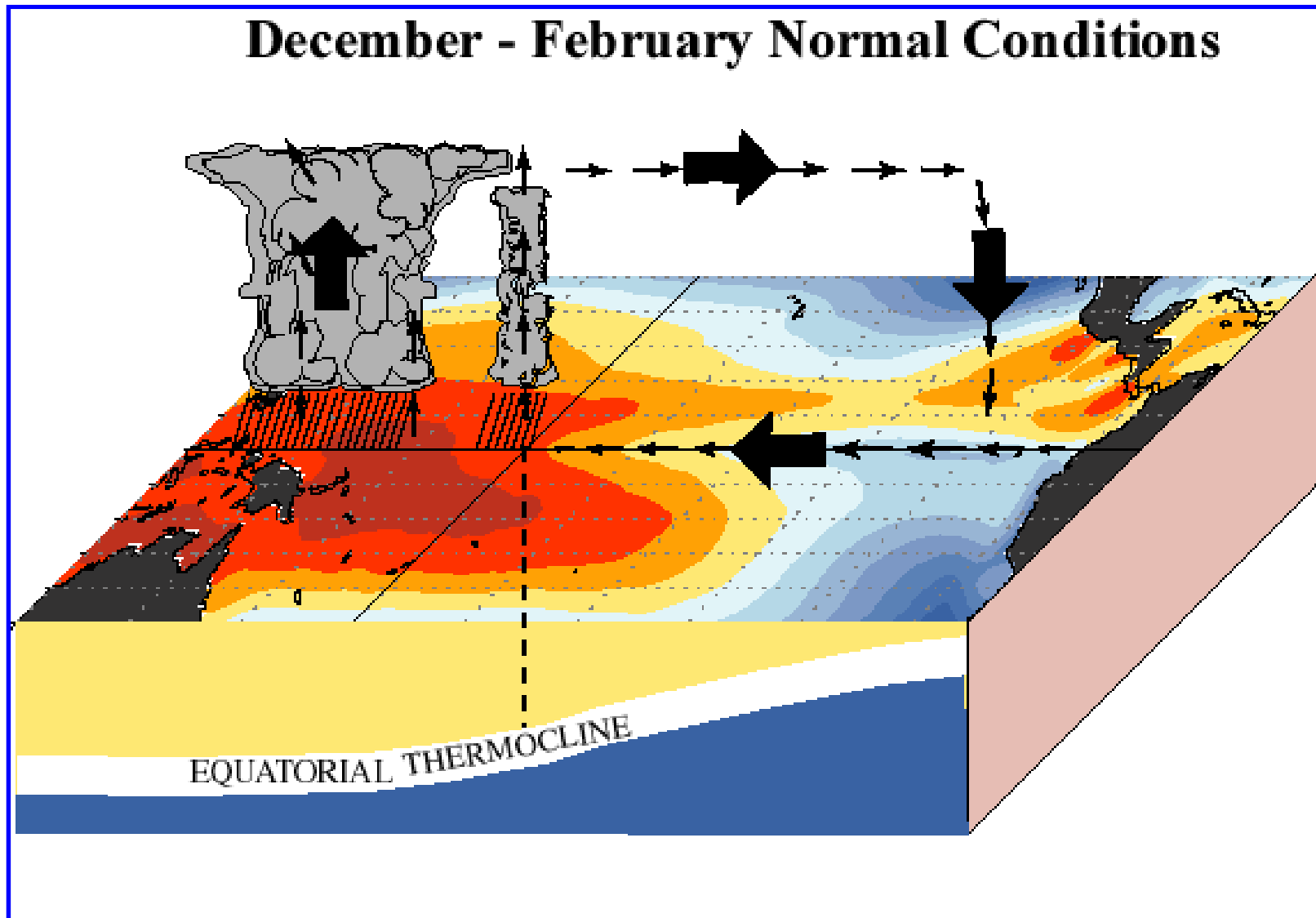


Circolazione Atmosferica Equatoriale

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.

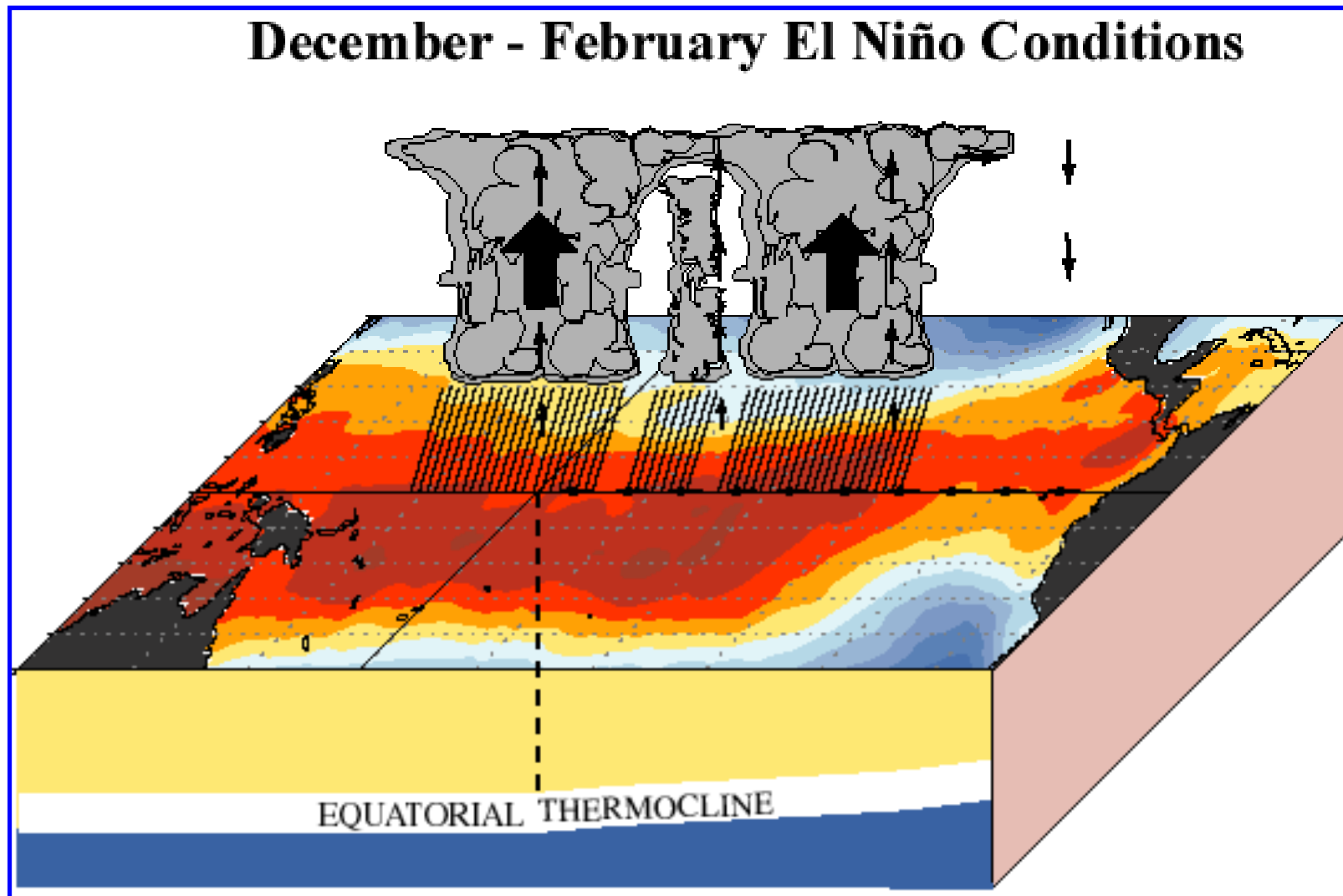


Circolazione Atmosferica Equatoriale



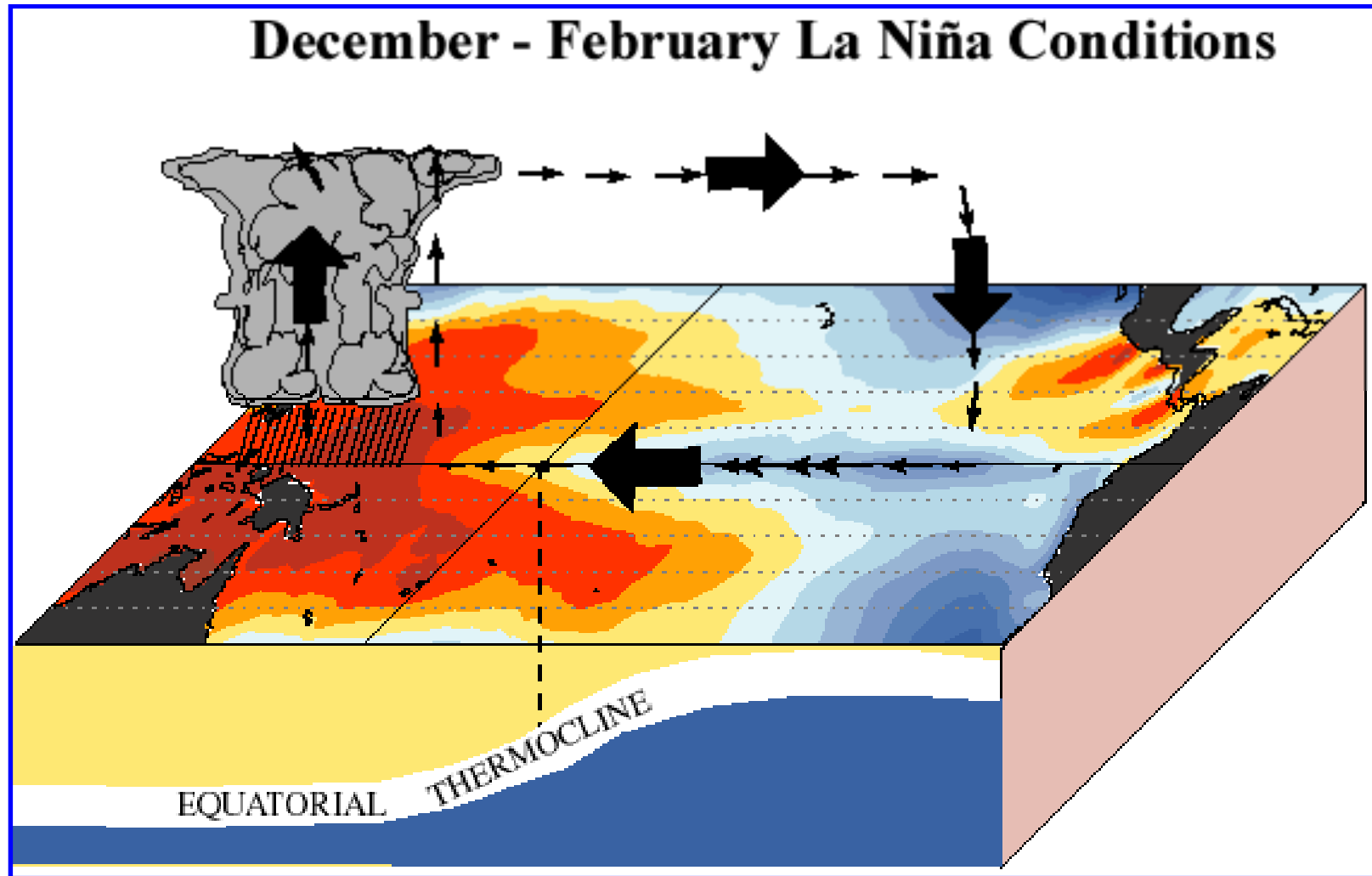
Circolazione Atmosferica Equatoriale

Condizione ENSO – El Niño



Circolazione Atmosferica Equatoriale

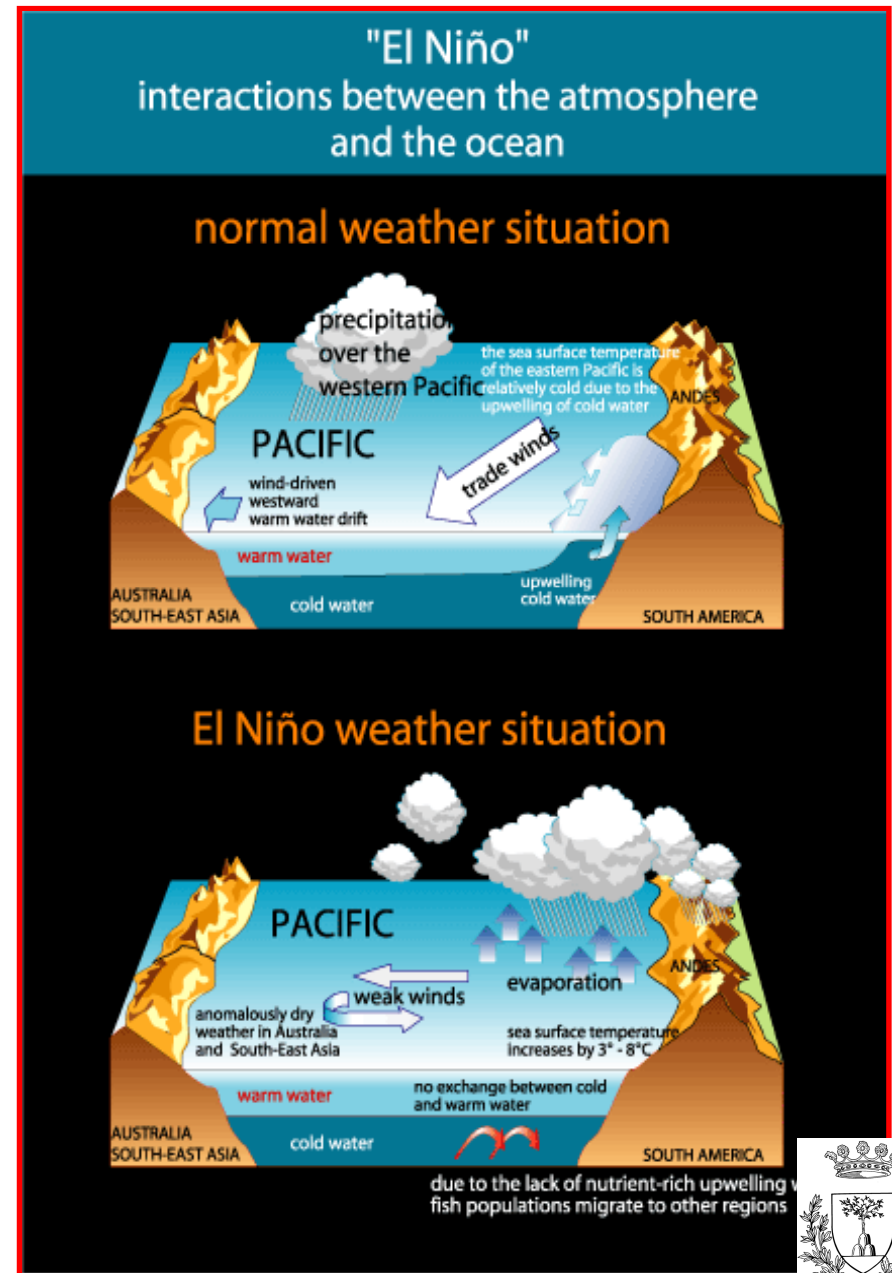
Condizione anti ENSO – La Nina



Circolazione Atmosferica Equatoriale - Condizione ENSO

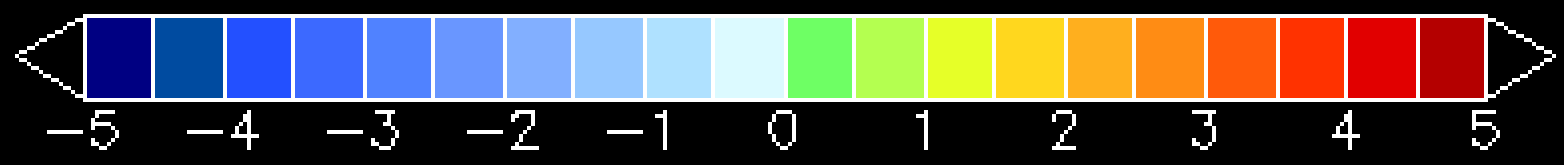
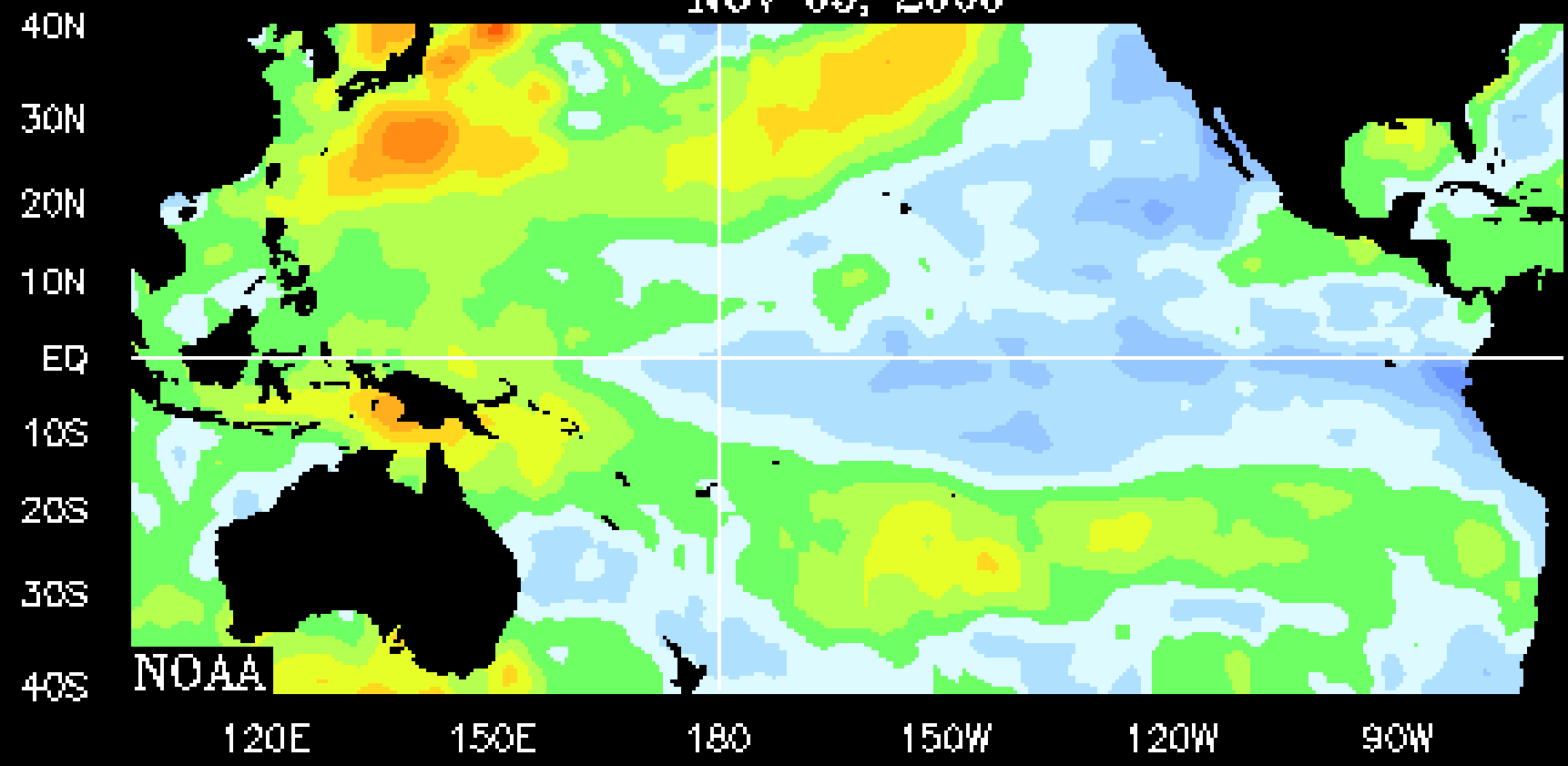
Negli anni “normali” il forte gradiente di temperatura superficiale (freddo a est caldo a ovest) nel Pacifico equatoriale è accompagnato da **forti venti alisei** che spingono le acque superficiali verso ovest permettendo a quelle più fredde e profonde di risalire in superficie. La **risalita delle acque**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



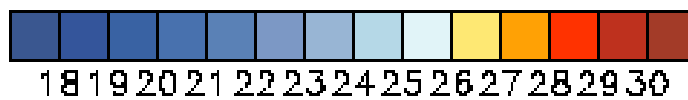
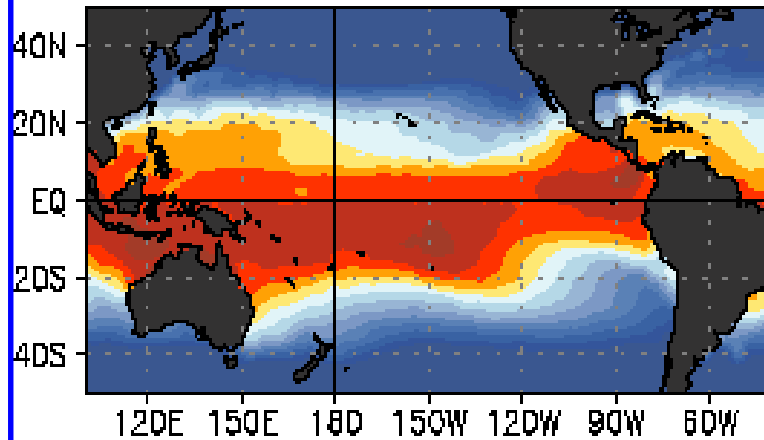
SST ANOMALIES °C

NOV 05, 2000

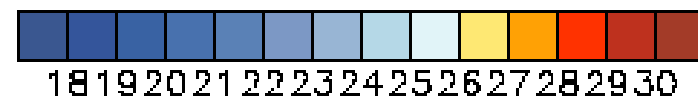
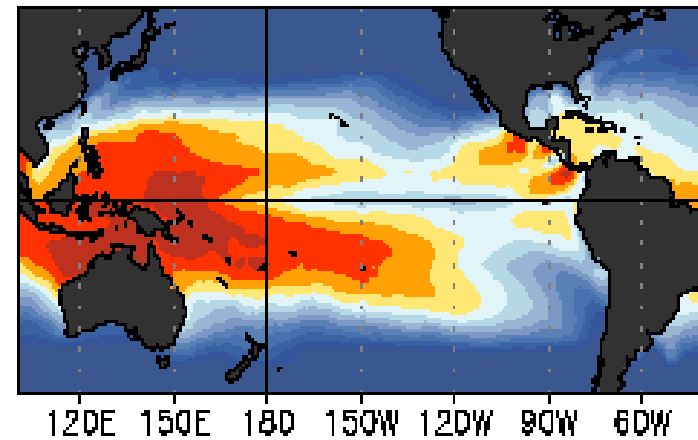


OCEAN TEMPERATURES (°C)

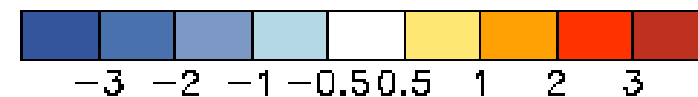
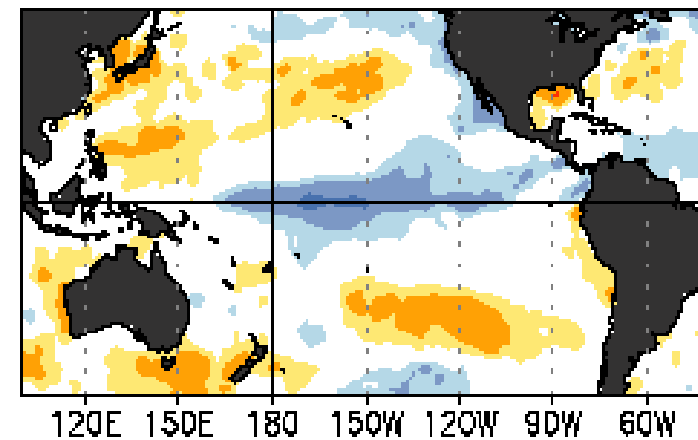
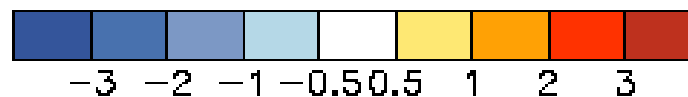
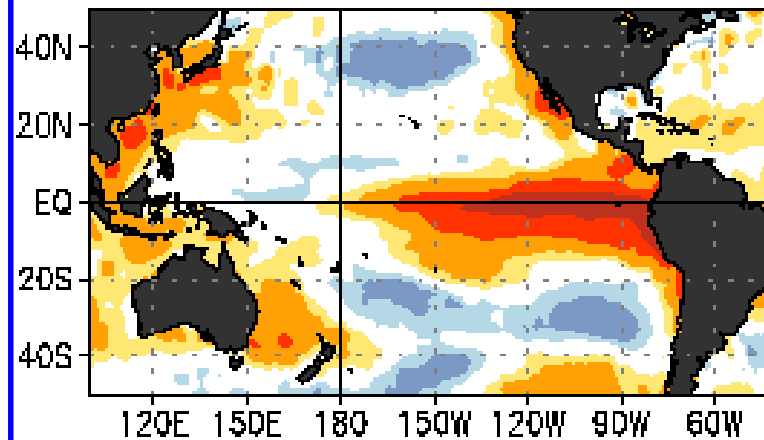
EL NIÑO Jan-Mar 1998



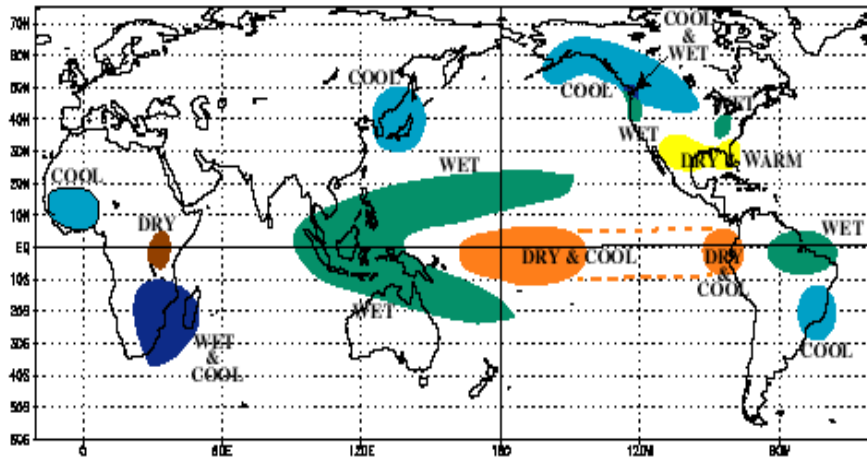
LA NIÑA Jan-Mar 1989



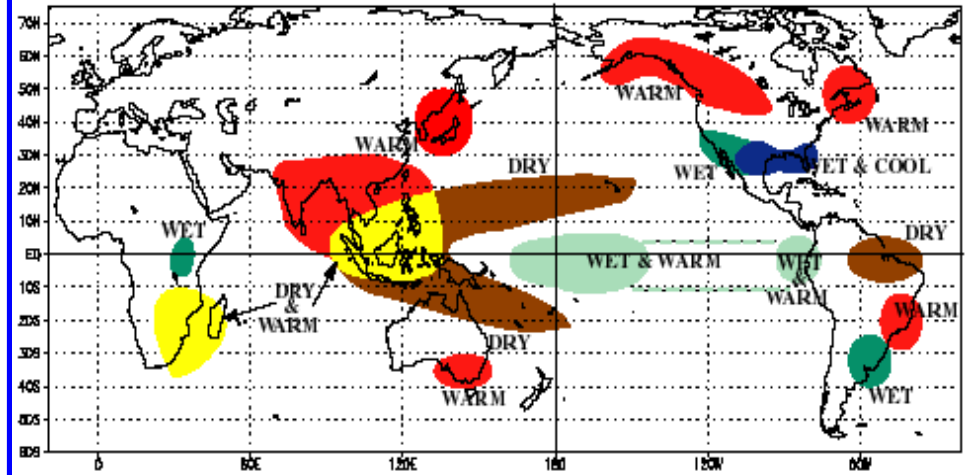
OCEAN TEMPERATURE DEPARTURES (°C)



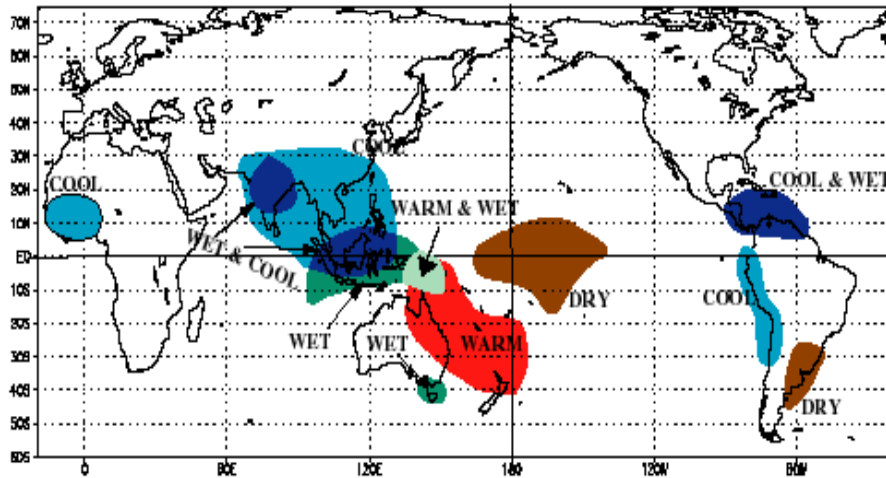
COLD EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



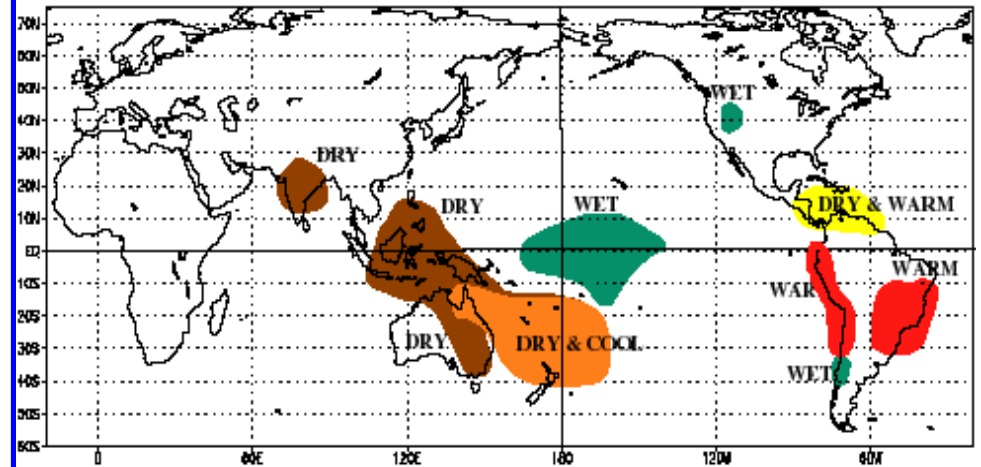
WARM EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



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



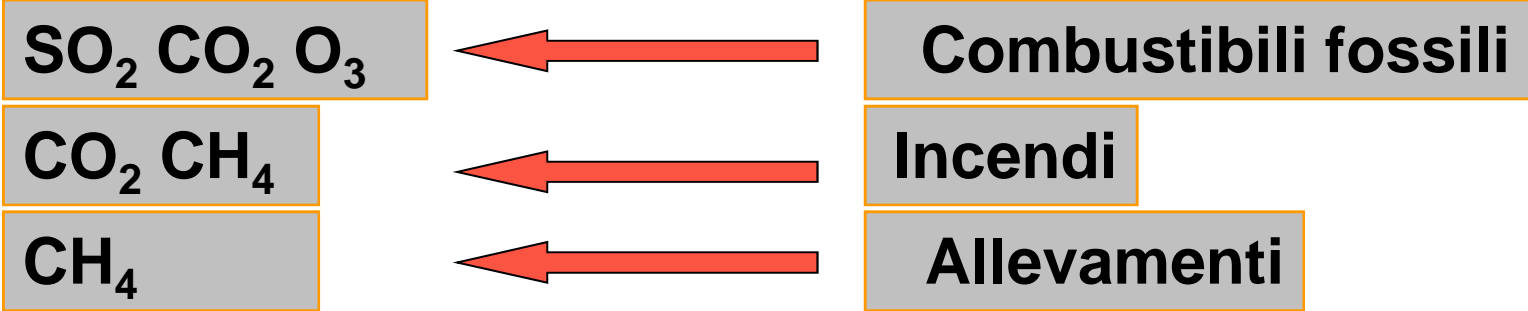
SO₂ CO₂

DERIVA DEI CONTINENTI

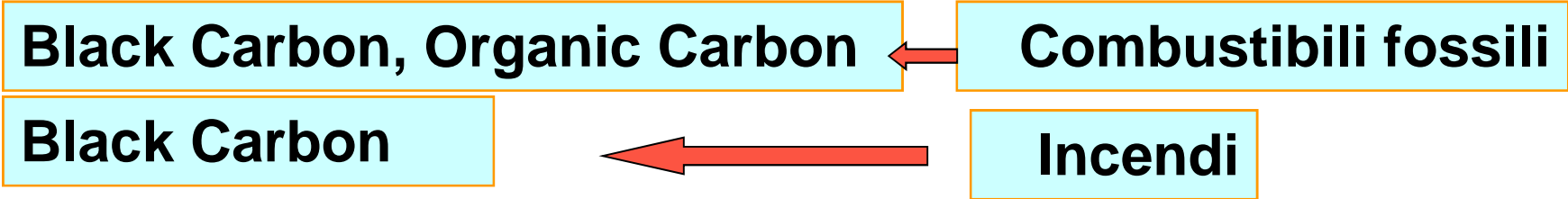


FORZANTI ANTROPICHE

IMMISSIONE DI GAS SERRA IN ATMOSFERA



IMMISSIONE DI AEROSOLS IN ATMOSFERA

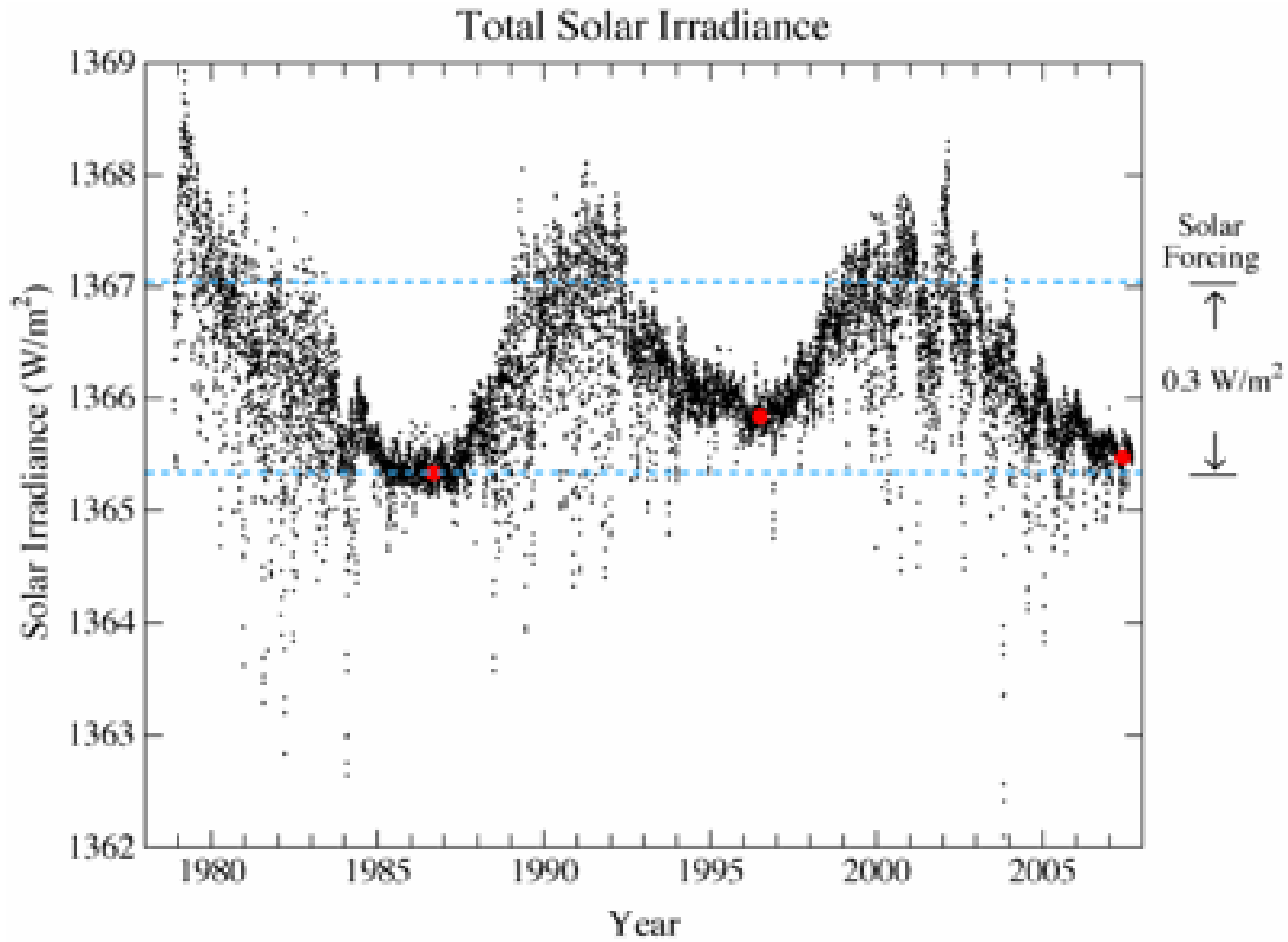


SFRUTTAMENTO DEL TERRENO



CAUSE ASTRONOMICHE

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

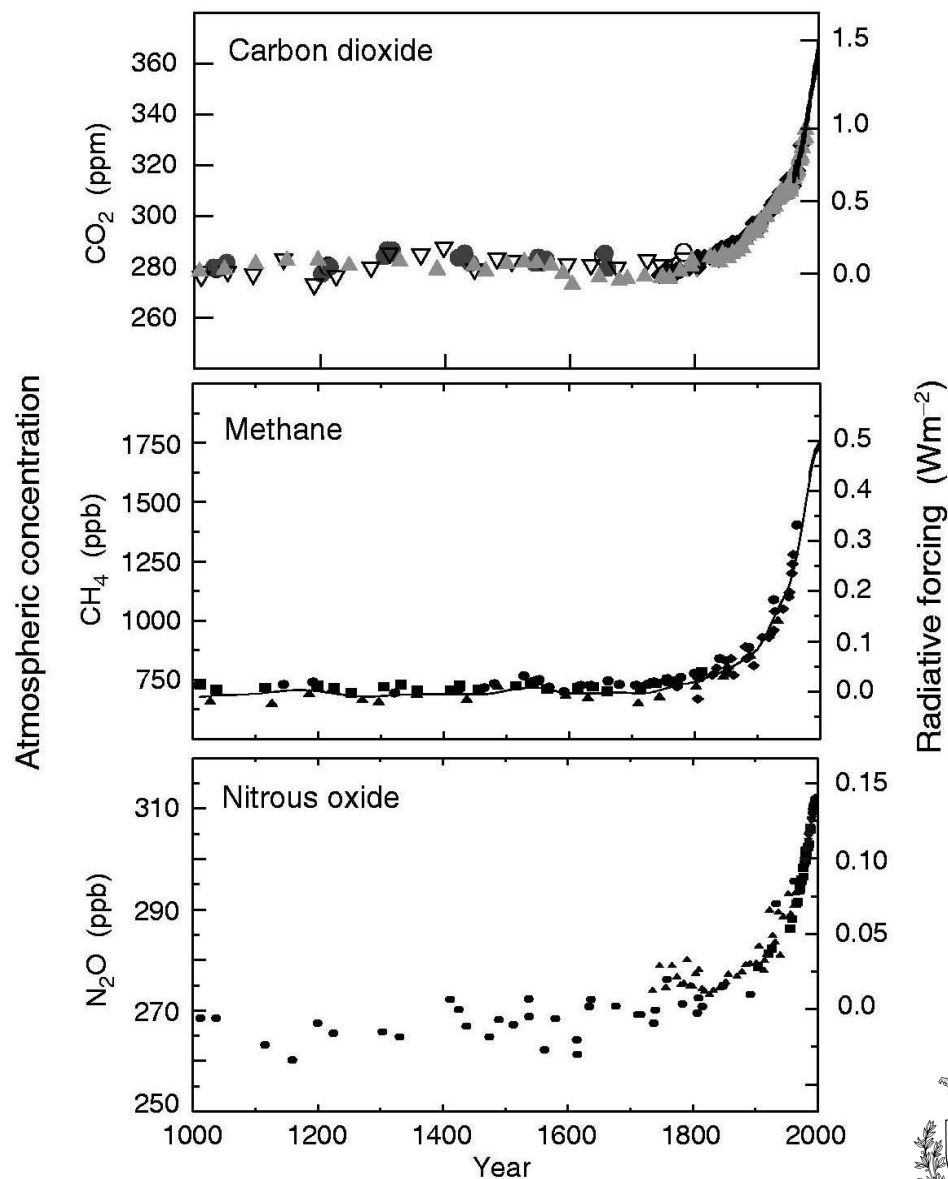


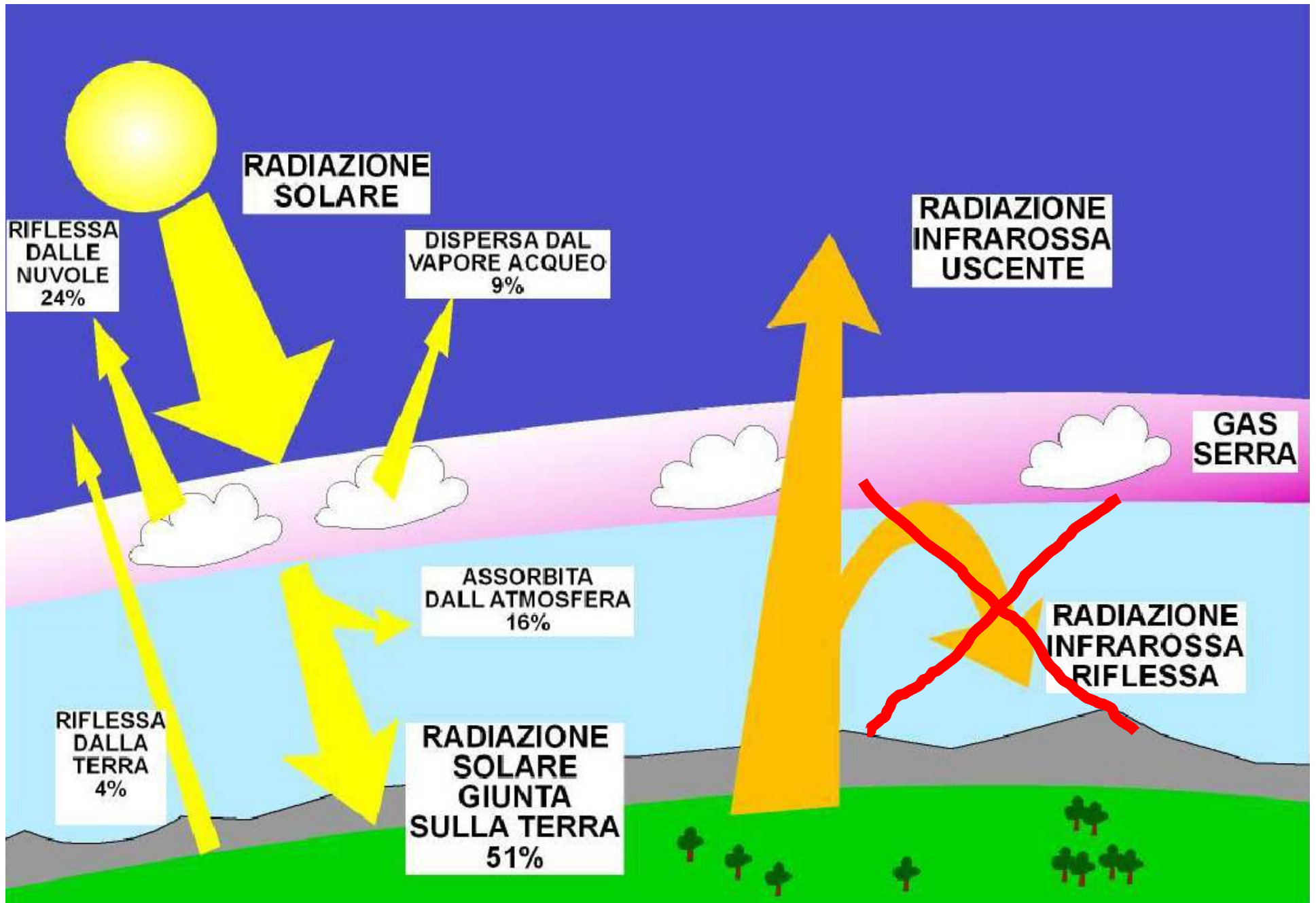
CONCENTRAZIONE DEI GAS SERRA

- 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



Le navi
bruciano
combustibile



Anidride
carbonica
rilasciata
dagli aerei

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



Le industrie
rilasciano
anidride
carbonica

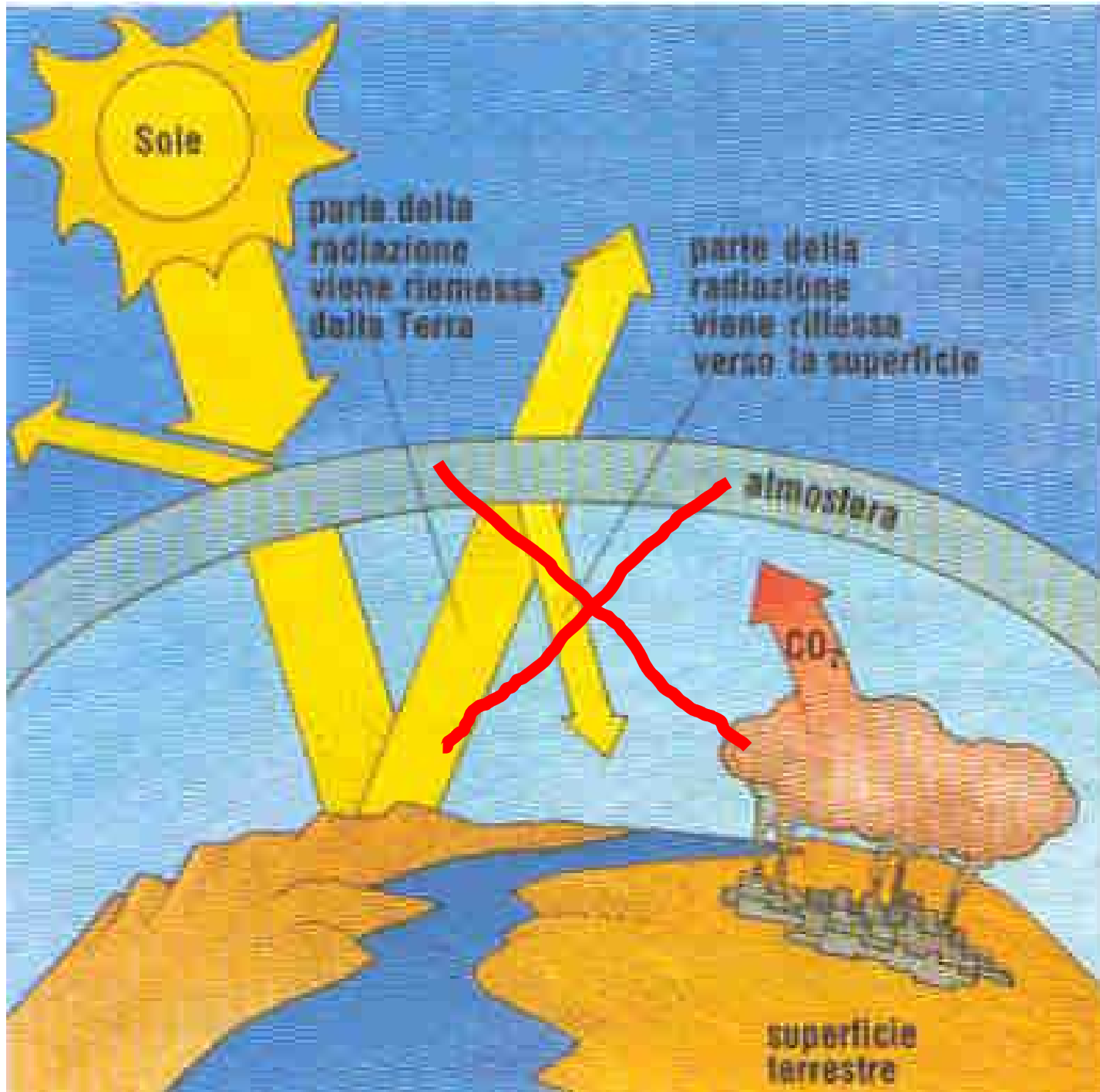


Taglio
delle
foreste



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 dalle radiazioni solari determinando un aumento della temperatura sulla superficie terrestre



L'effetto serra

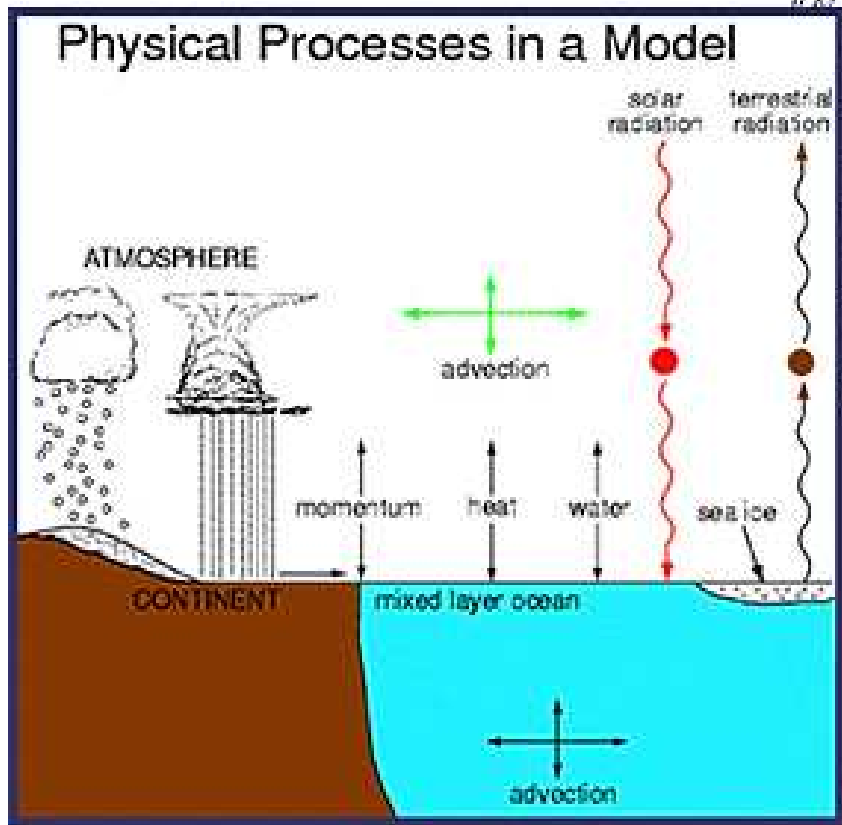
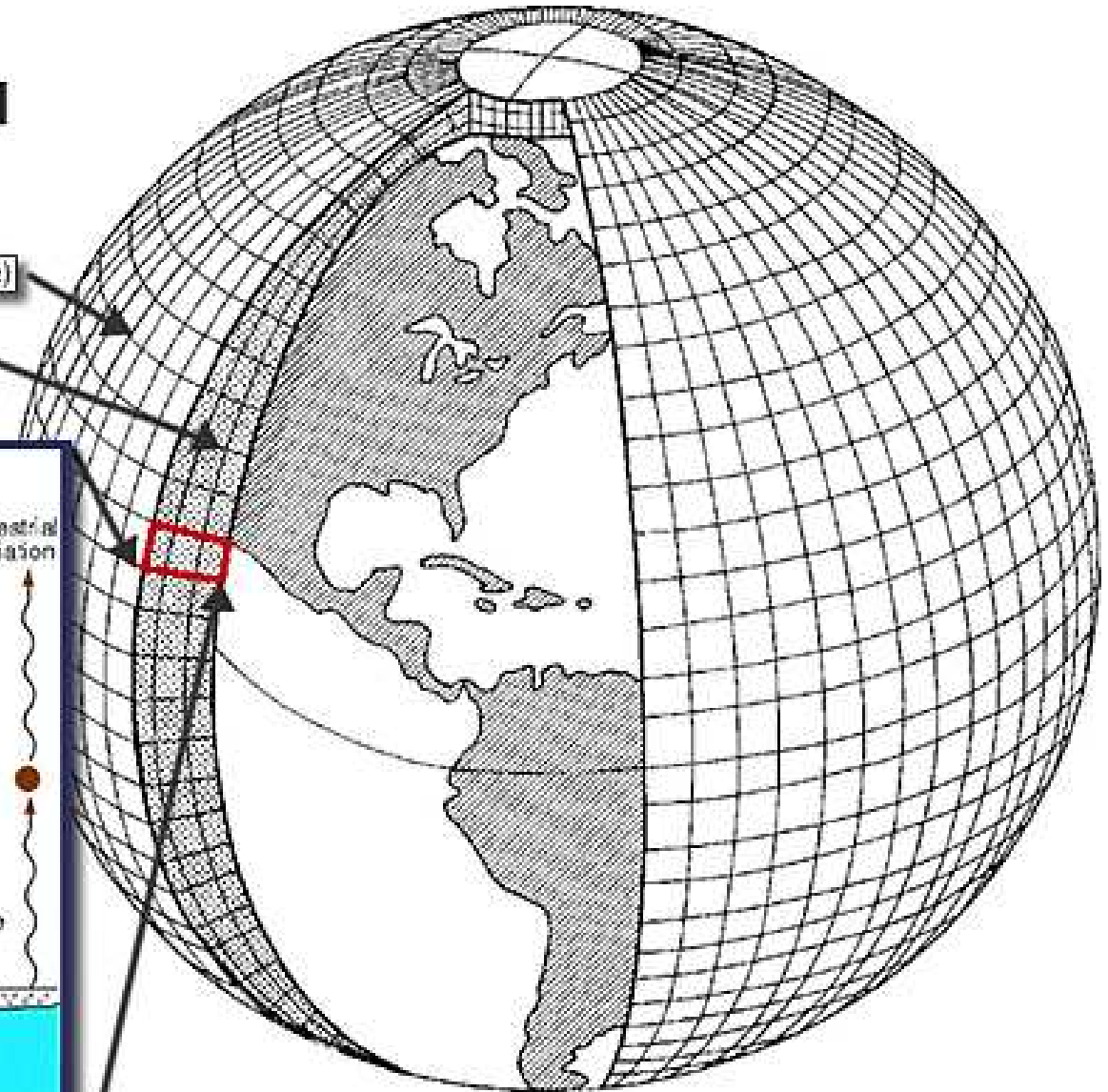
A T M O S F E R A



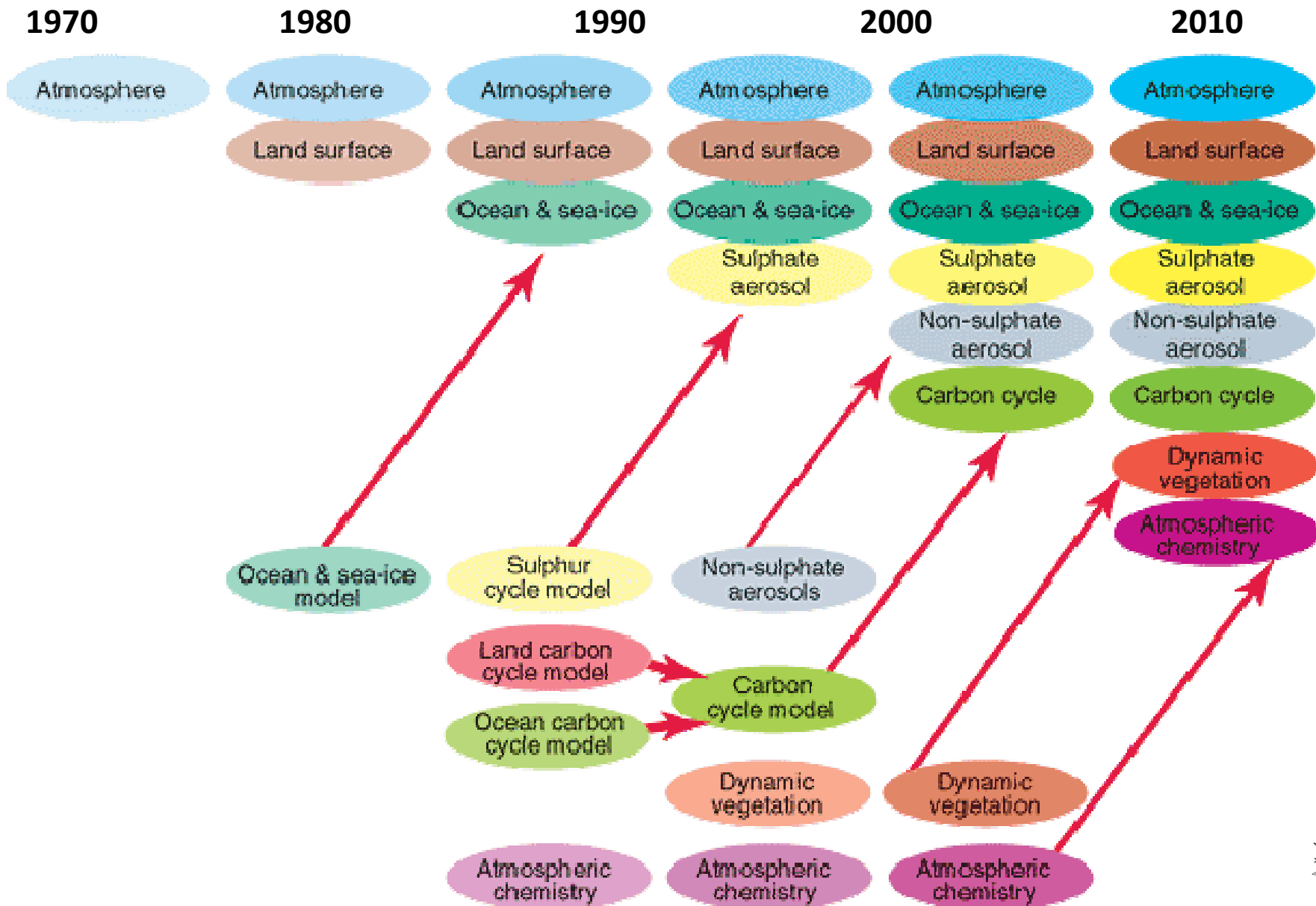
Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (latitude - longitude)

Vertical Grid (height or pressure)

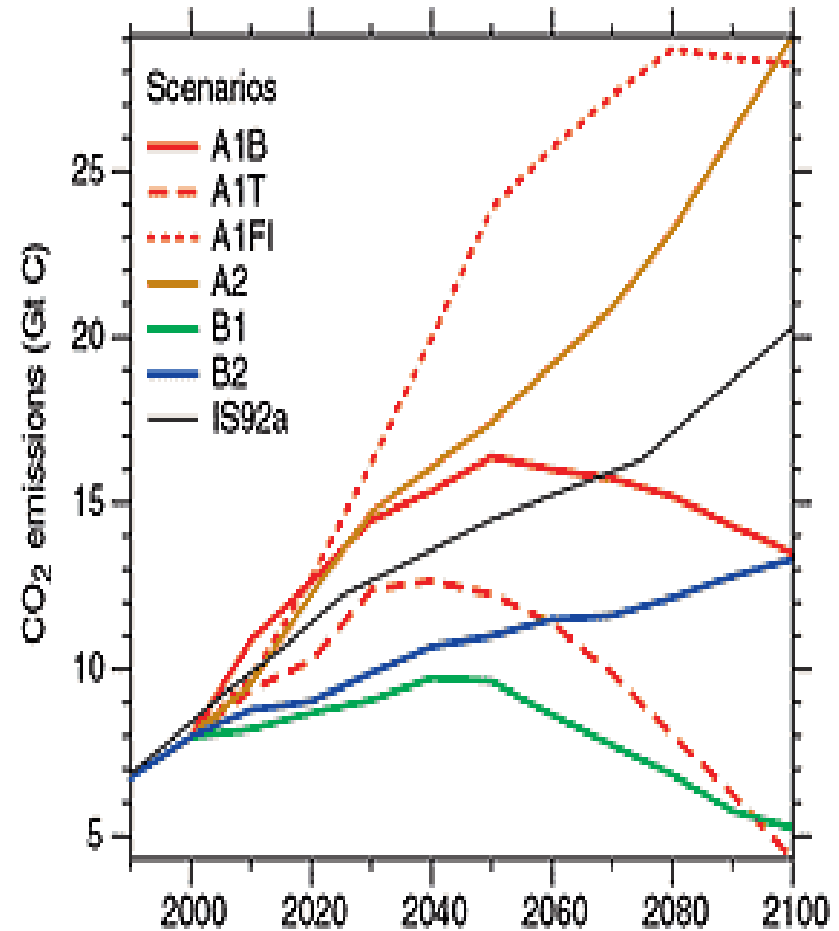


evoluzione dei modelli climatici

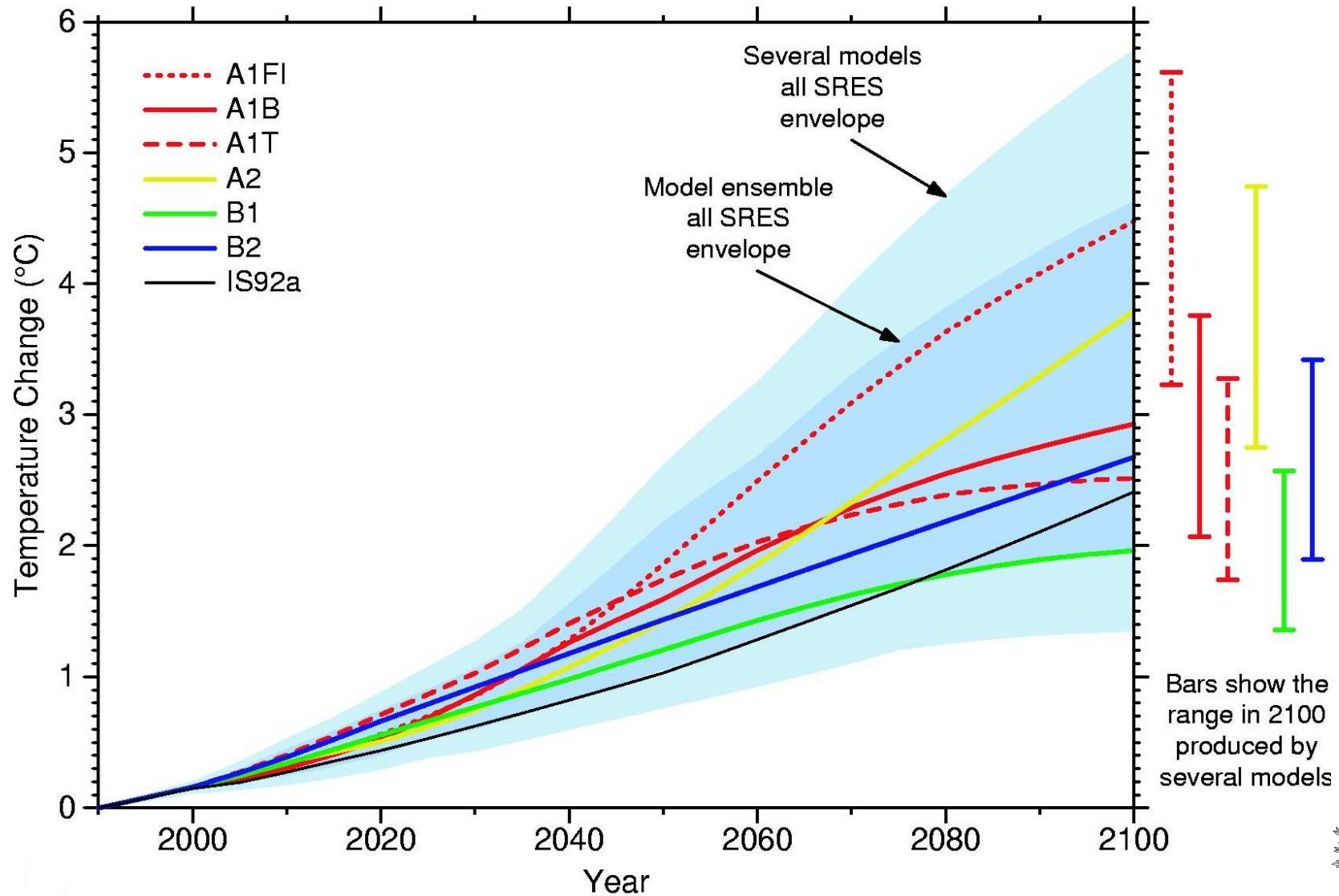


Future Climate Change

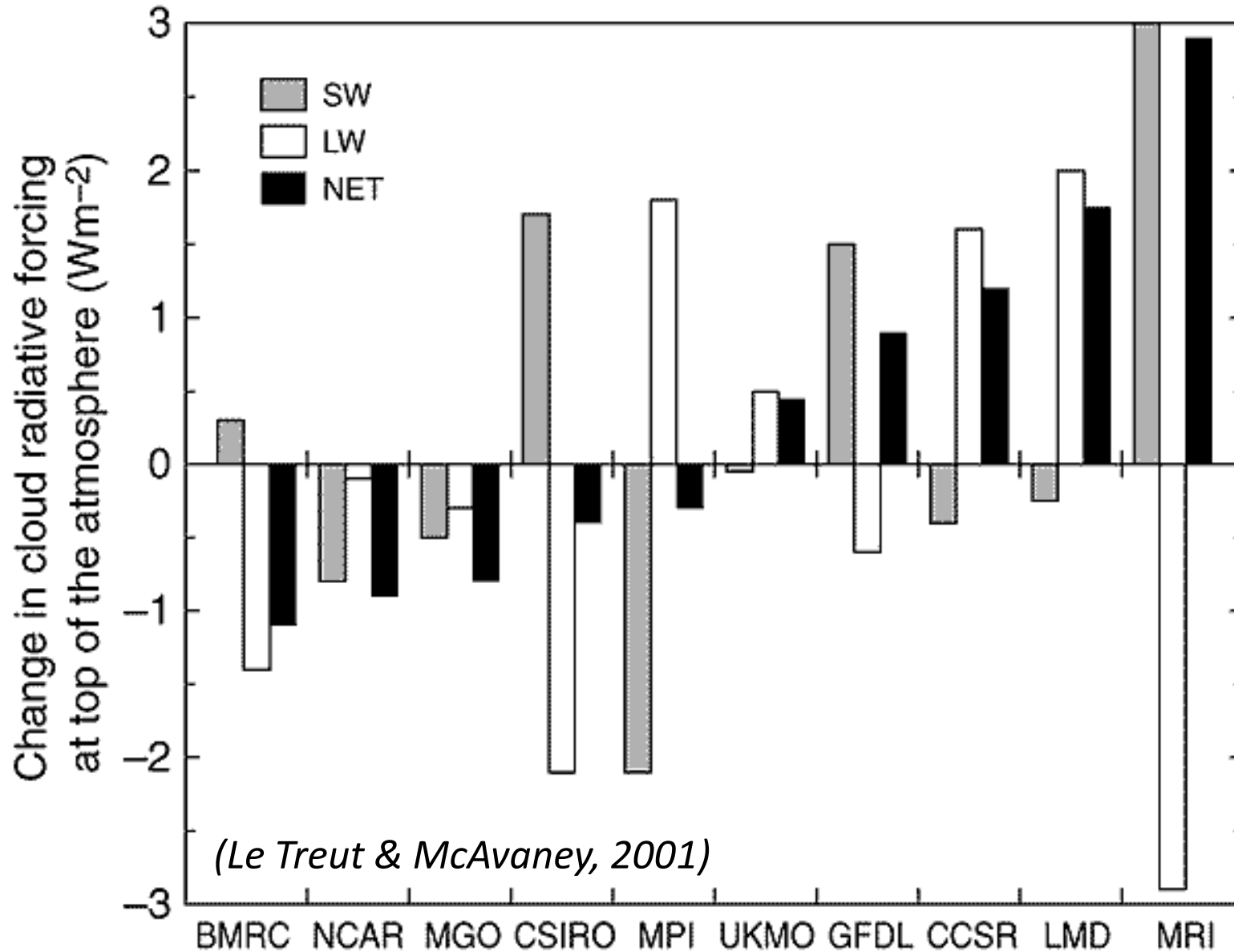
- A1: rapida crescita economica con sviluppo tecnologico
 - A1FI: uso intensivo di combustibili fossili
 - A1T: uso di combustibili non-fossili
 - A1B: bilancio di fonti di energia
- A2: espansione demografica
- B1: piu' attenzione ai problemi ambientali
- B2: piu' attenzione alle tematiche locali



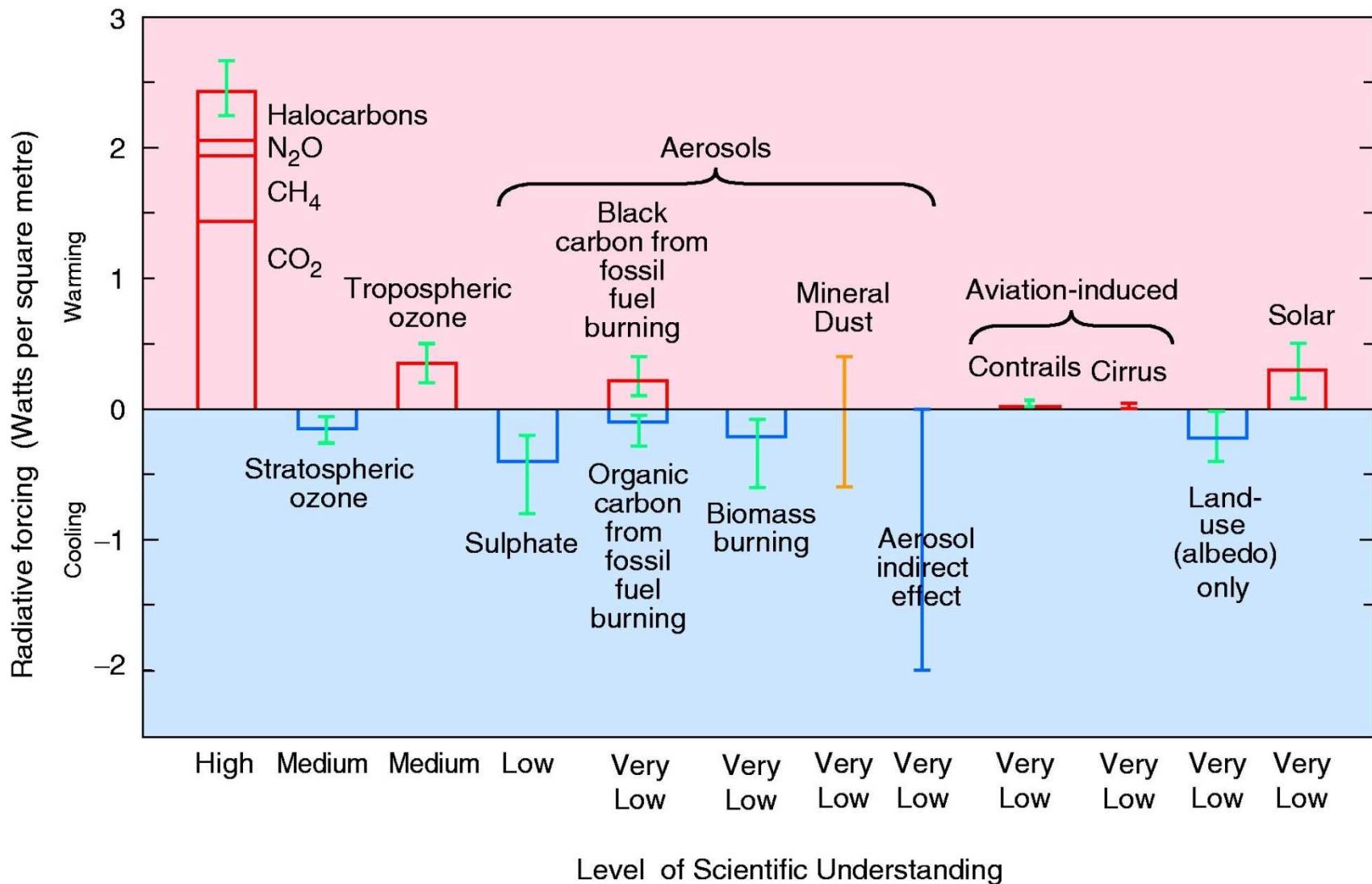
per la **temperatura globale** si prevede una **crescita** da **1.4** a **5.8°C** nel periodo **1990-2100**



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-