

Studio e previsioni dello stato del sistema

*Federico Porcù (federico.porcu@unibo.it)
Dipartimento di Fisica e Astronomia
Università di Bologna*

un esempio di interazione tra sottosistemi: El nino

forzanti sul sistema climatico (GHG)

effetto serra (semplice modellino)

proiezioni climatiche

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

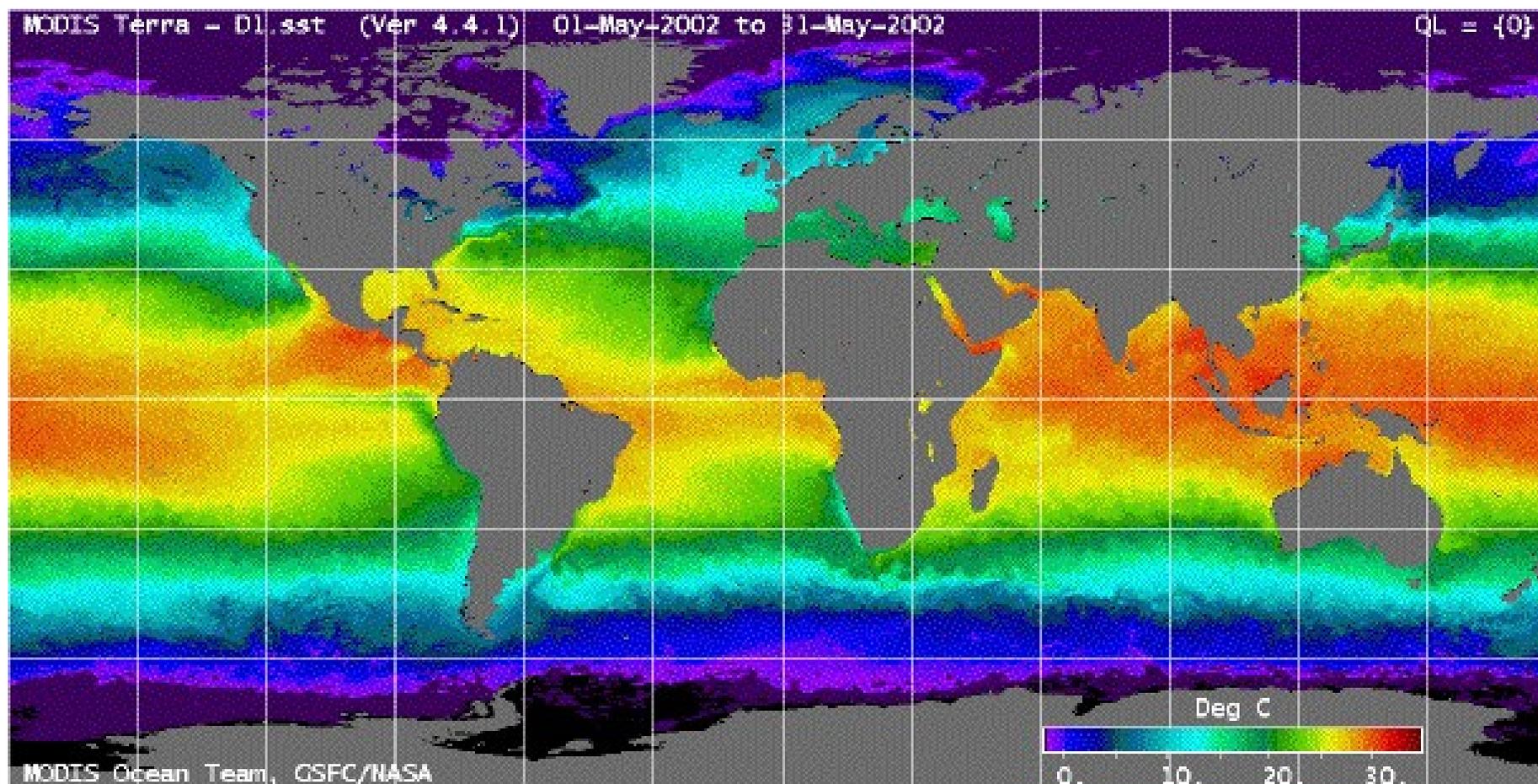


El Niño

Interazione Atmosfera/Oceano

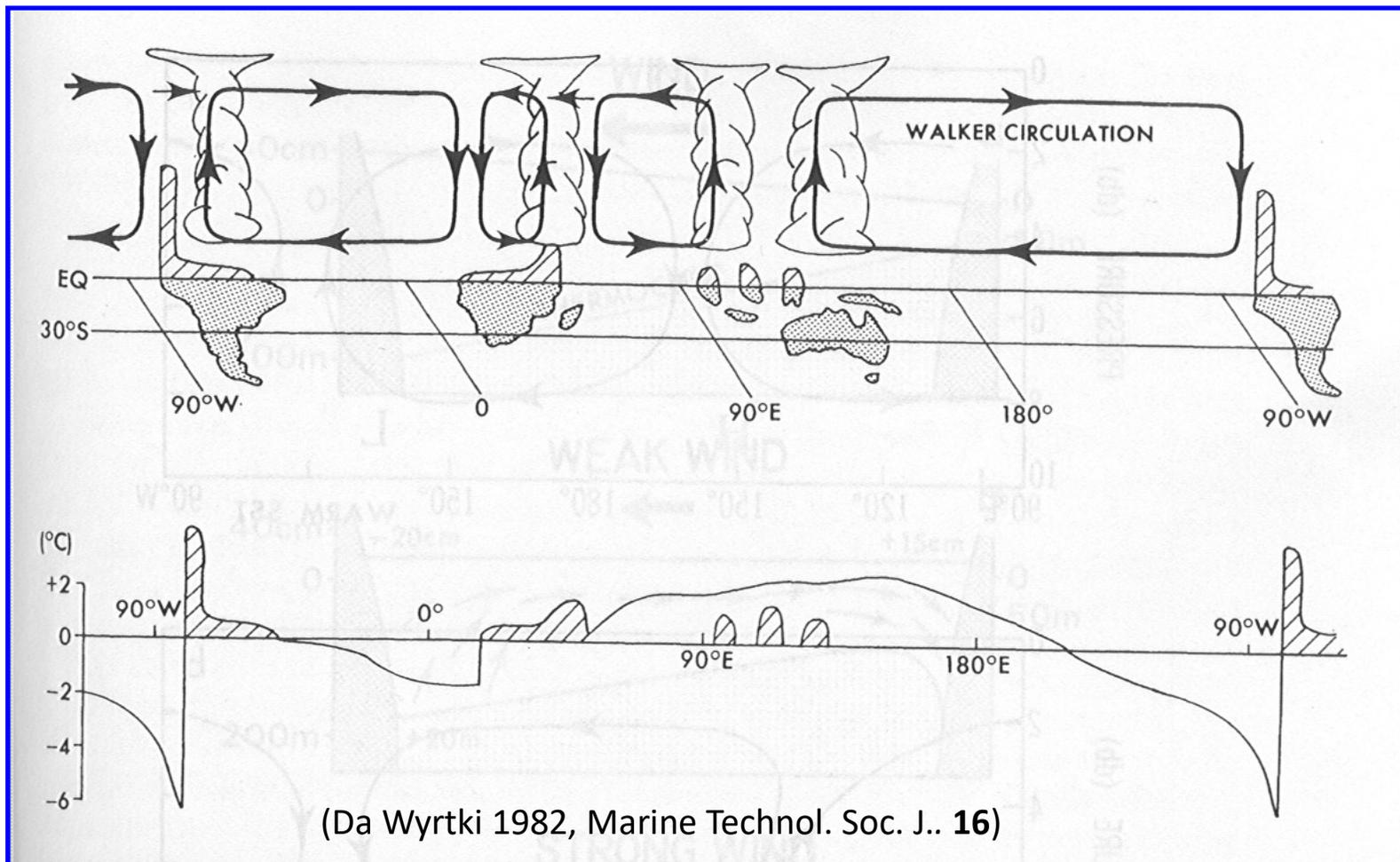
- l'atmosfera influenza l'oceano principalmente a causa dello stress del vento superficiale;**
- l'oceano influenza l'atmosfera principalmente a causa di anomalie nella temperatura della sua superficie (*Sea Surface Temperature SST*) e del conseguente flusso verticale di calore sensibile e latente.**

temperatura media oceanica

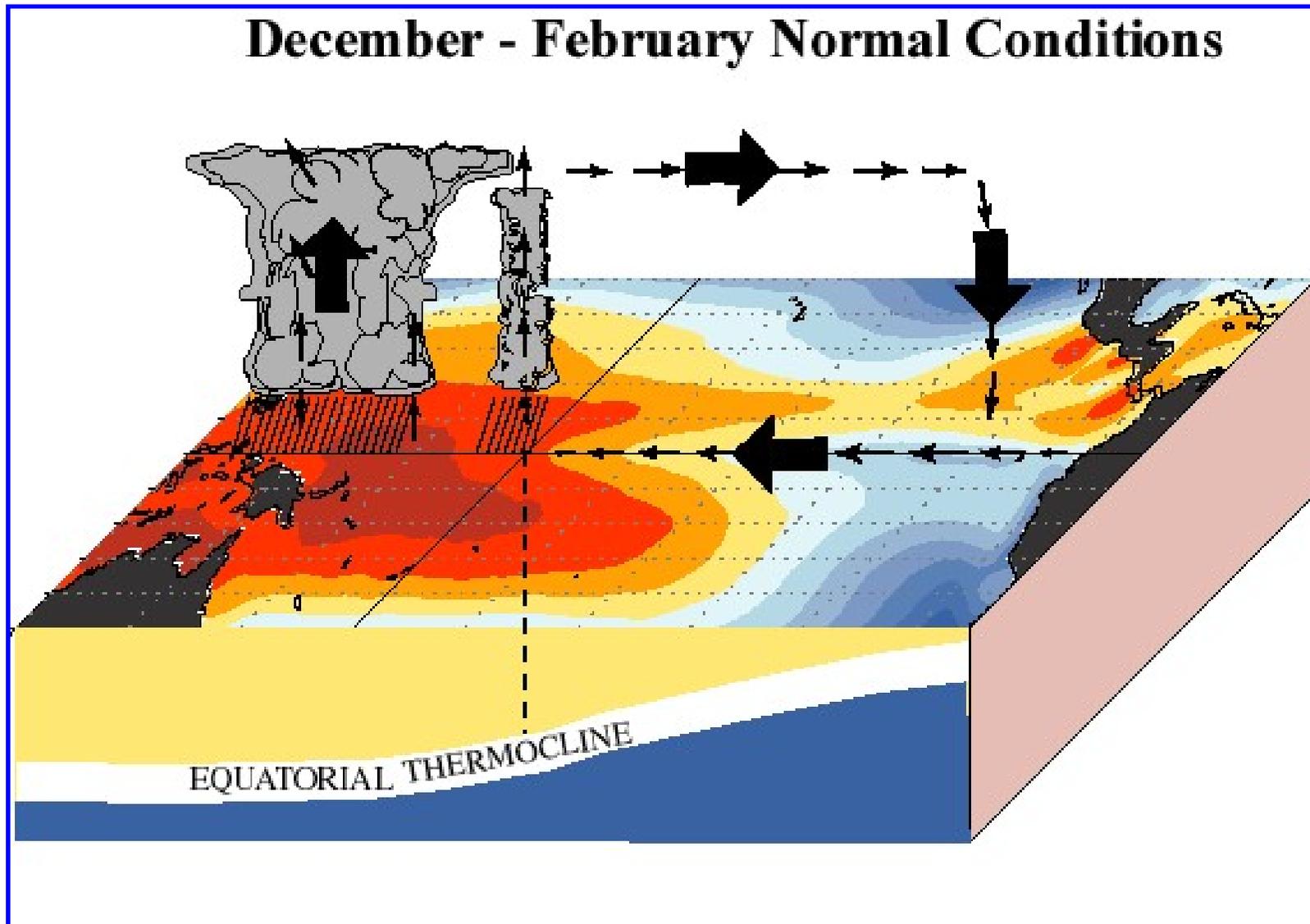


Circolazione Atmosferica Equatoriale

Schema della normale circolazione di Walker lungo l'equatore. Risalita di aria e pioggia insistente sul Indonesia, Pacifico occidentale, Africa sud orientale e Amazonia, 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.

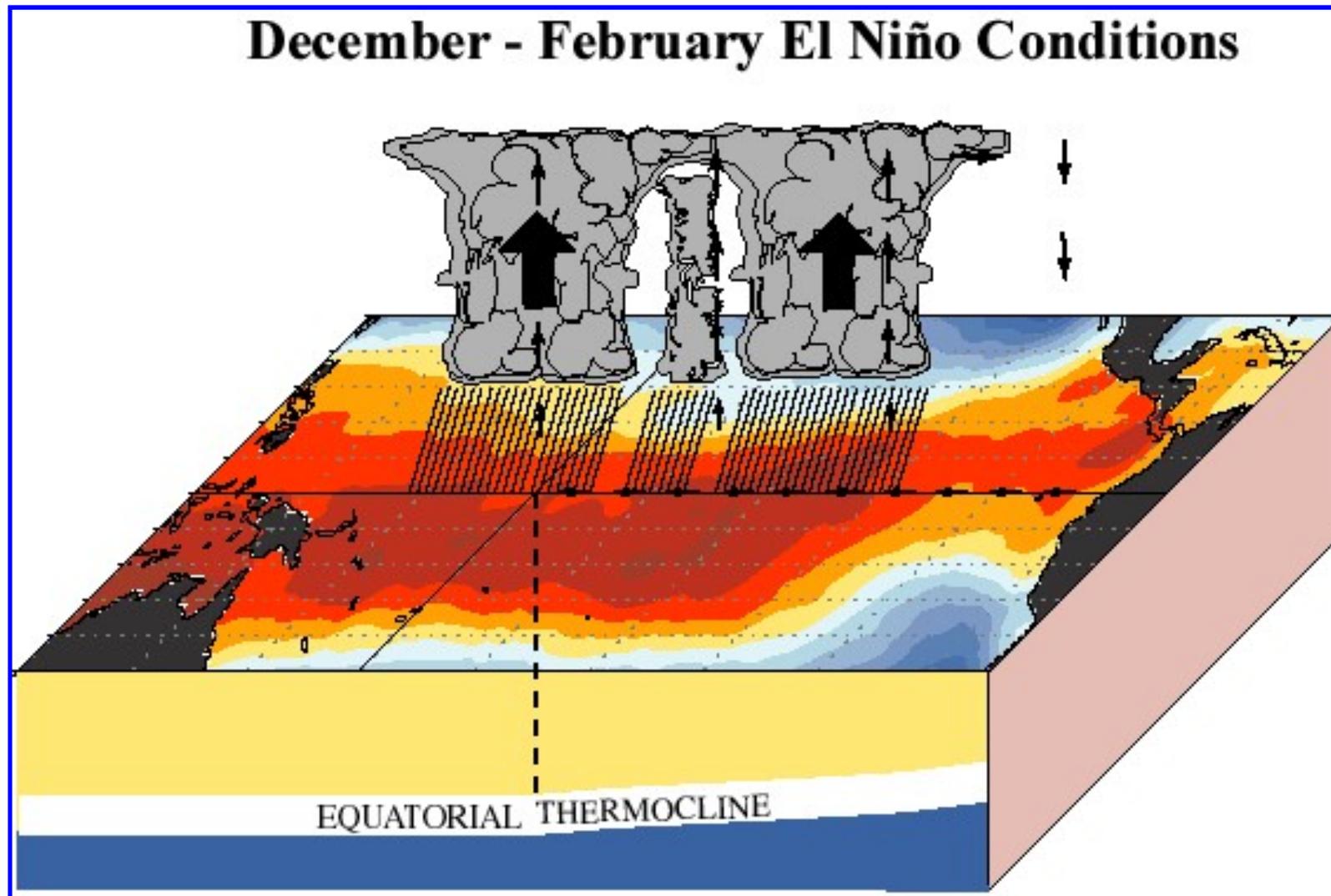


Circolazione Atmosferica Equatoriale



Circolazione Atmosferica Equatoriale

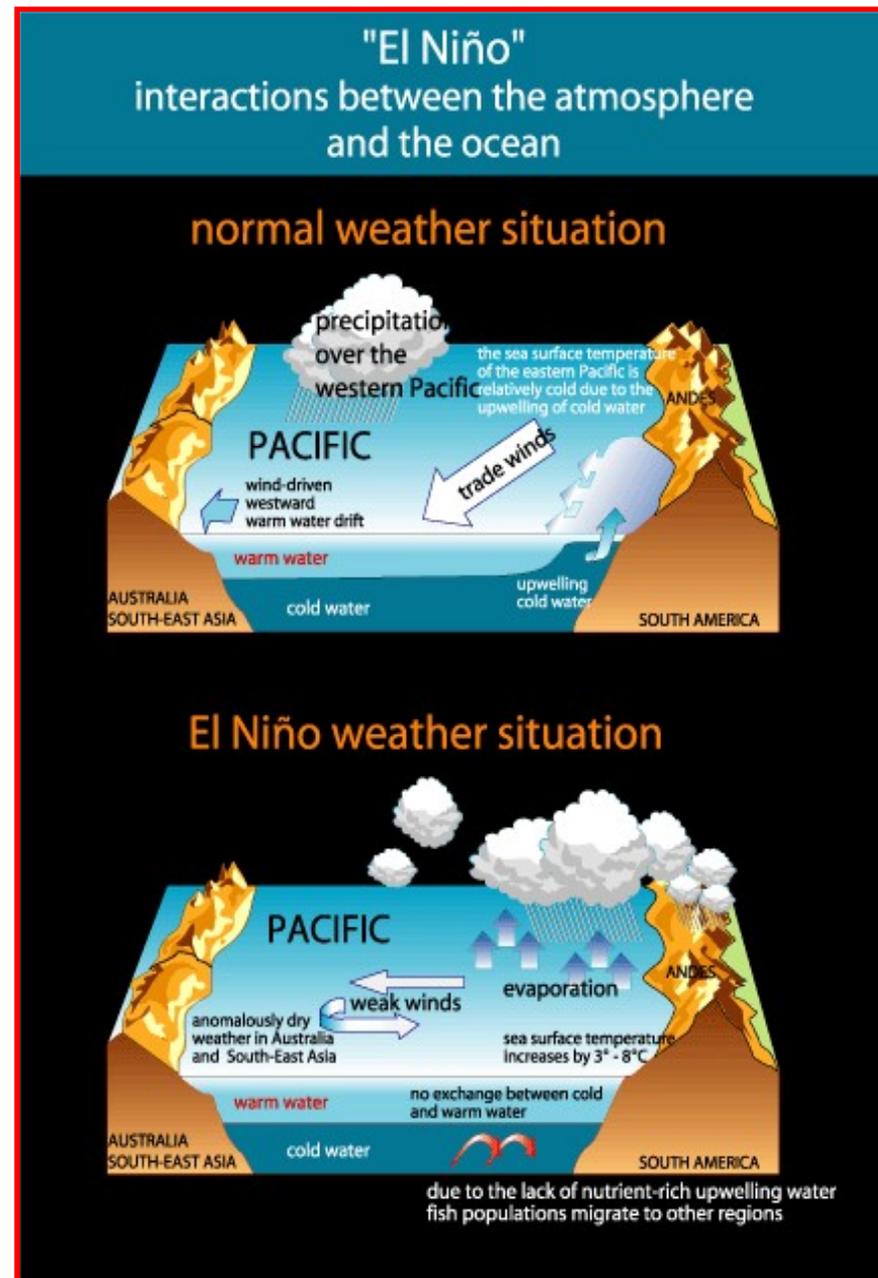
Condizione ENSO – El Niño



Circolazione Atmosferica Equatoriale - Condizione ENSO

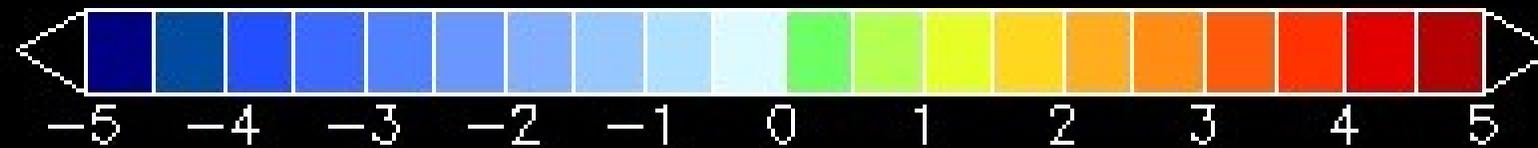
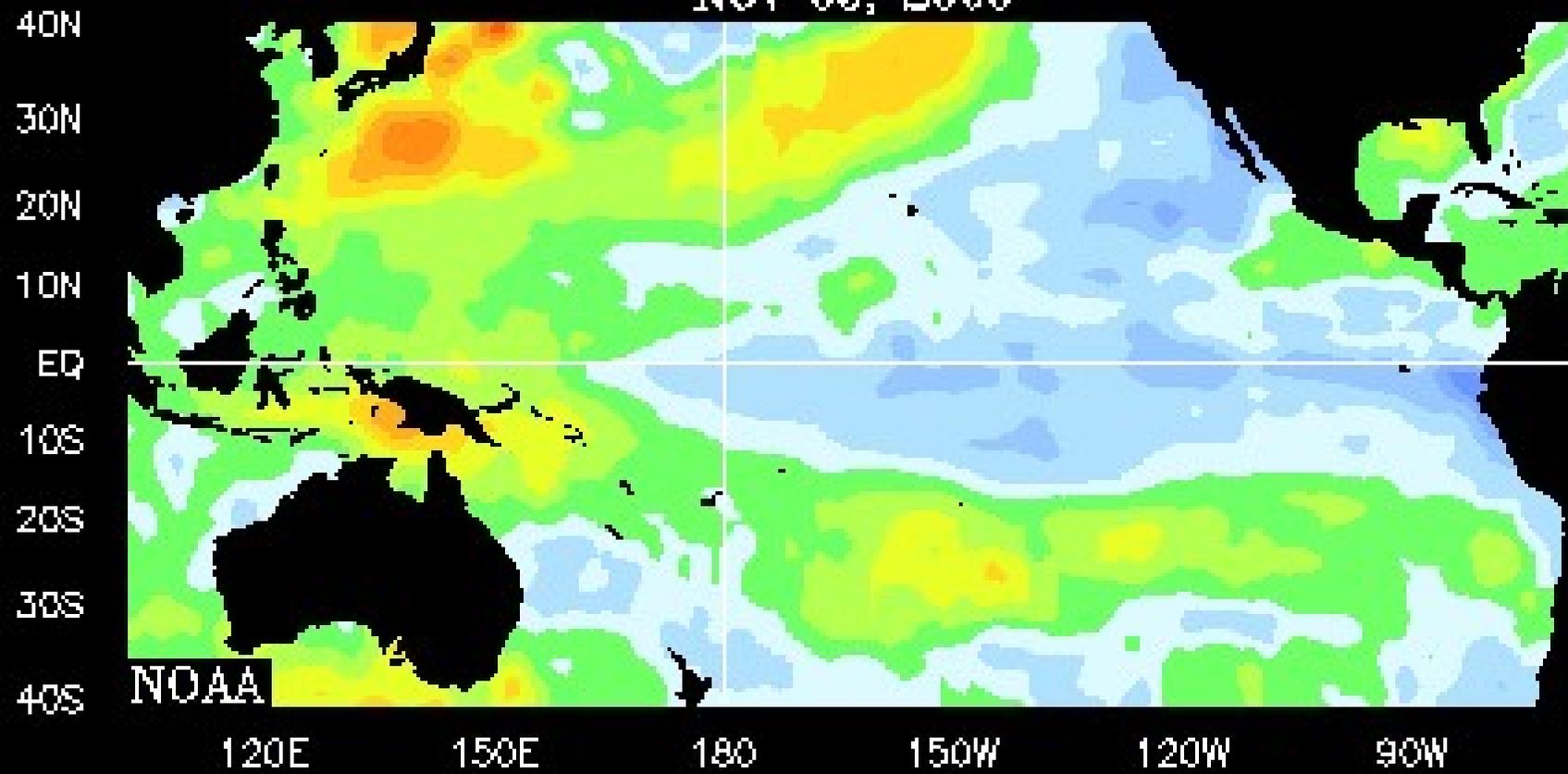
Negli anni “normali” il forte gradiente di temperatura superficiale (freddo a est caldo a ovest) nel Pacifico equatoriale è accompagnato da **forti venti alisei** che spingono le acque superficiali verso ovest permettendo a quelle più fredde e profonde di risalire in superficie. La **risalita delle acque**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

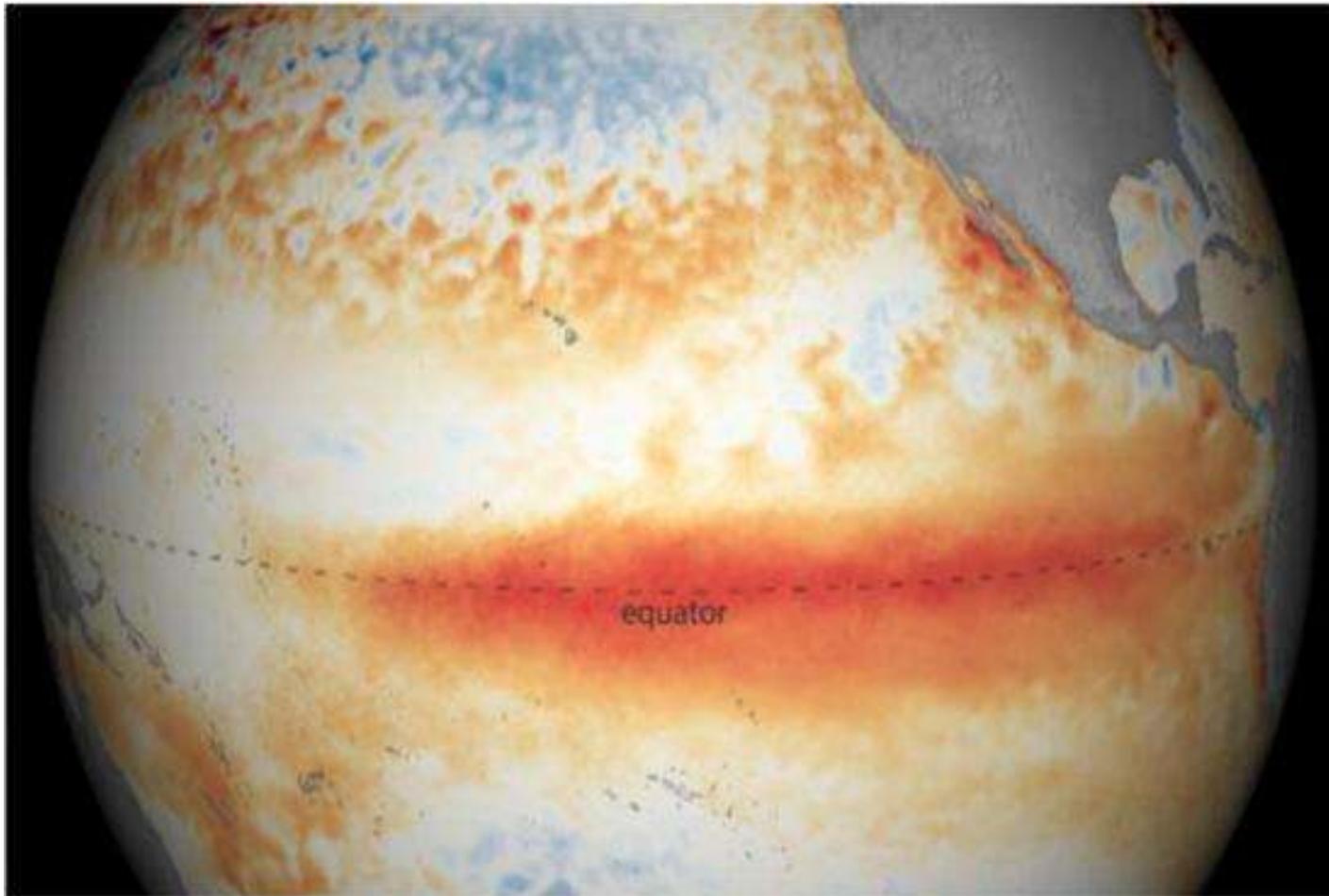
Un **indebolimento degli alisei** nel Pacifico centrale **indebolisce l'upwelling** e fa aumentare la temperatura del Pacifico orientale. Questo fenomeno contribuisce a indebolire ulteriormente gli alisei. Il rafforzarsi vicendevole di questi effetti contribuisce all'instaurarsi di un El Niño.



SST ANOMALIES °C

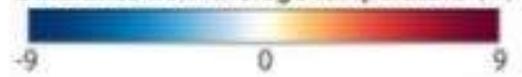
NOV 05, 2000





February 2016
compared to 1981-2010

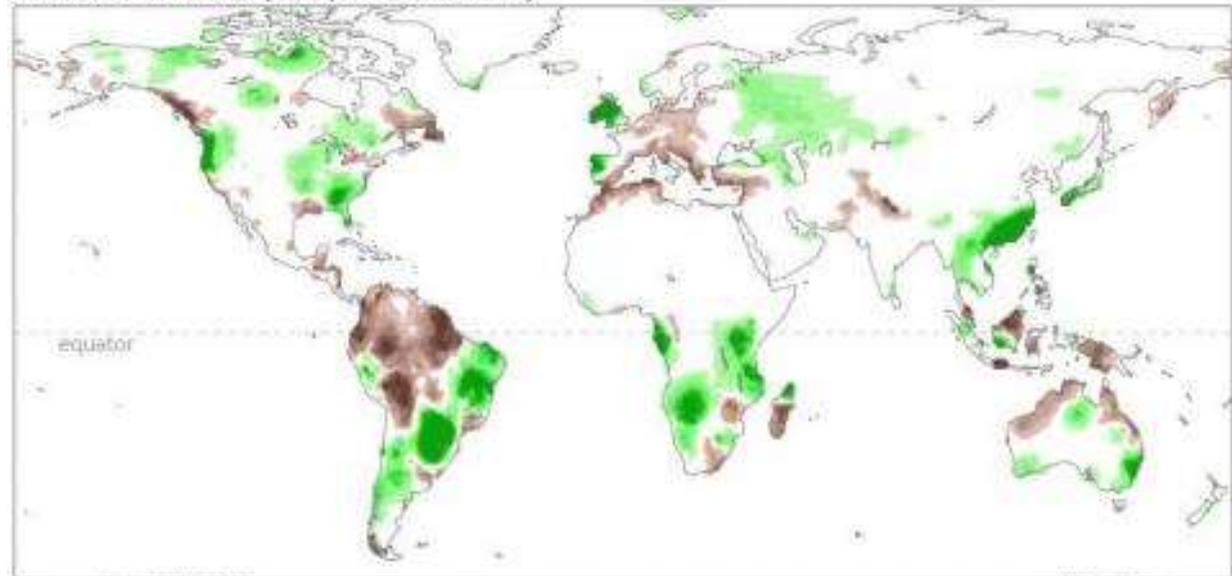
Difference from average temperature (°F)



-9 0 9

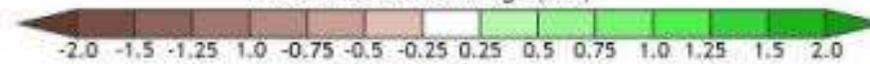
Climate.gov/NNVL
Data: Geo-Polar SST

Dec 2015–Feb 2016 precipitation anomaly



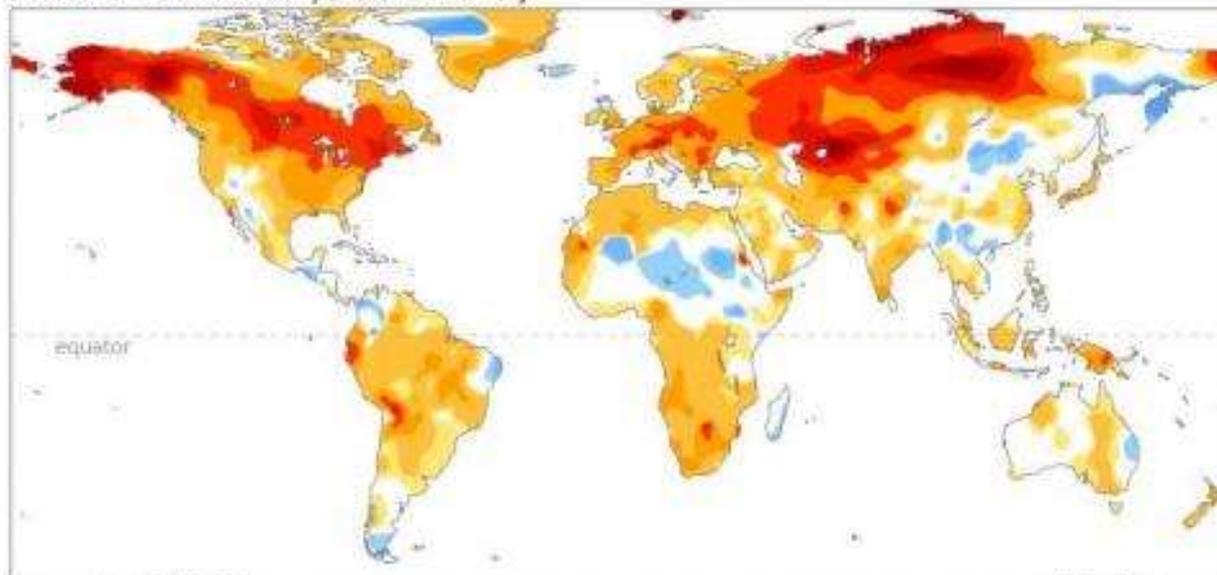
Compared to 1981–2010

Difference from average (mm)



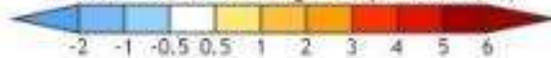
NOAA Climate.gov
Data: CPC

Dec 2015–Feb 2016 temperature anomaly



Compared to 1981–2010

Difference from average temperature (°C)



NOAA Climate.gov
Data: CPC

FORZANTI NATURALI

VARIAZIONE DELLA RADIAZIONE SOLARE

Diretta



Attività Solare

Indiretta



Milankovitch

INTERAZIONI TRA DIVERSE COMPONENTI

El Niño

ERUZIONI VULCANICHE

DERIVA DEI CONTINENTI

FORZANTI ANTROPICHE

IMMISSIONE DI GAS IN ATMOSFERA

IMMISSIONE DI AEROSOL IN ATMOSFERA

SFRUTTAMENTO DEL TERRENO

un modello di bilancio energetico terrestre I

l'unica sorgente di energia significativa per sistema terrestre è il sole ($T_{Sole} = 6000K$),

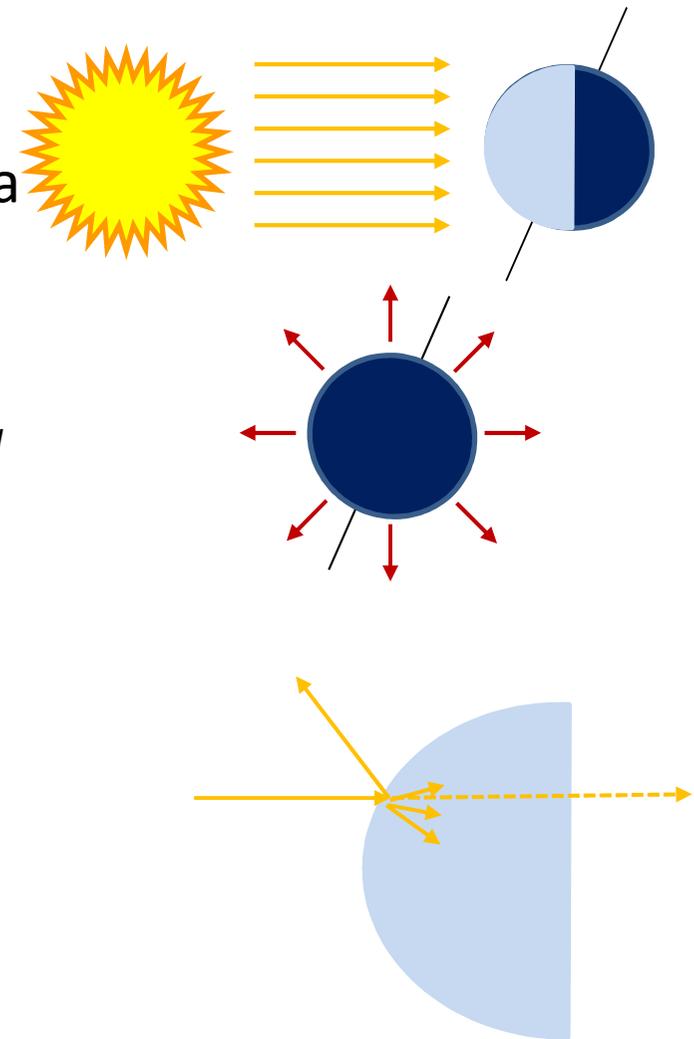
la frazione di superficie planetaria illuminata dal sole riceve questa energia,

anche la terra emette energia secondo T_{Terra} attraverso l'intera superficie,

l'energia ricevuta dal sistema può essere riflessa, trasmessa o assorbita,

assumiamo il sistema all'equilibrio termico

$$E_{in} = E_{out}.$$



un modello di bilancio energetico terrestre II

fatte queste ipotesi (piuttosto ben verificate) costruiamoci un modello per studiare la temperatura terrestre di equilibrio T_e

Cominciamo da una terra sferica, isoterma, priva di atmosfera, opaca, con un'albedo planetaria $\alpha=0.3$ ($\alpha=E_{in}/E_{rif}$)

Usiamo la legge di Stefan e Boltzman per l'irradianza L (in W m^{-2}) di un corpo nero in equilibrio termodinamico a temperatura T $L = \sigma T^4$ ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

mentre l'irradianza solare viene assunta costante

$$S_o = 1370 \text{ W m}^{-2}$$

un modello di bilancio energetico terrestre III

potenza ricevuta dal sole su un quarto di superficie terrestre

imponiamo l'equilibrio energetico

$$\pi R_T^2 (1-\alpha) S_o = 4 \pi R_T^2 \sigma T_e^4$$

potenza emessa dalla terra su tutta la superficie

che possiamo risolvere per l'incognita T_e ,

$$T_e = ((1-\alpha)S_o/4\sigma)^{1/4}$$

che, con i valori del modello, risulta in $T_e \approx 255\text{K}$

se la terra fosse completamente sommersa dall'oceano ($\alpha = 0.06$) risulterebbe $T_e \approx 274\text{K}$.

un modello di bilancio energetico terrestre IV

modello insoddisfacente, allora aggiungiamo una atmosfera isoterma (T_A) parzialmente assorbente con coefficiente α

Legge di Kirchhoff:

il potere emissivo di un corpo è uguale al suo potere assorbitivo

$$e=a$$

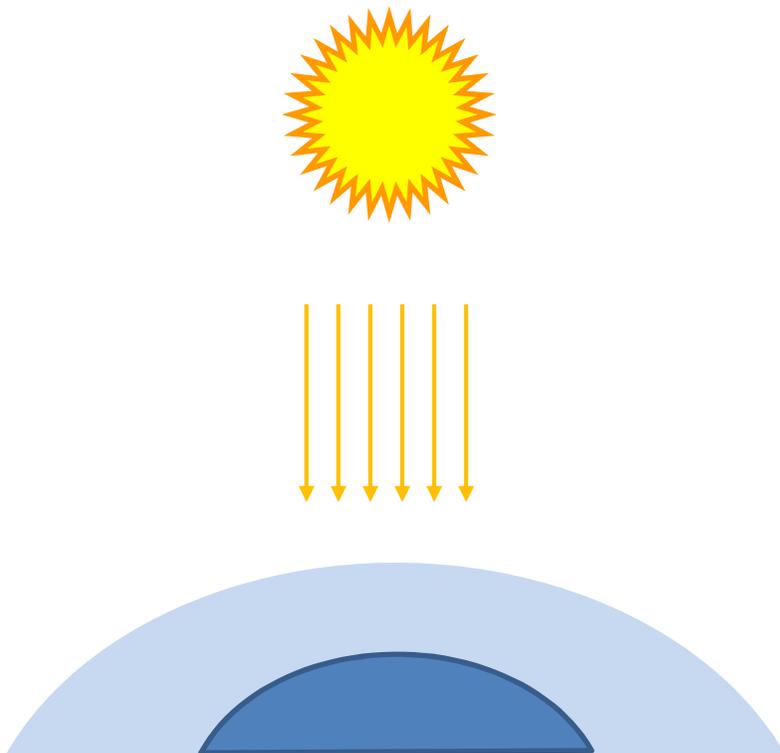
Conservazione dell'energia:

$$a + \alpha + t = 1$$

in assenza di riflessione $\alpha=0$

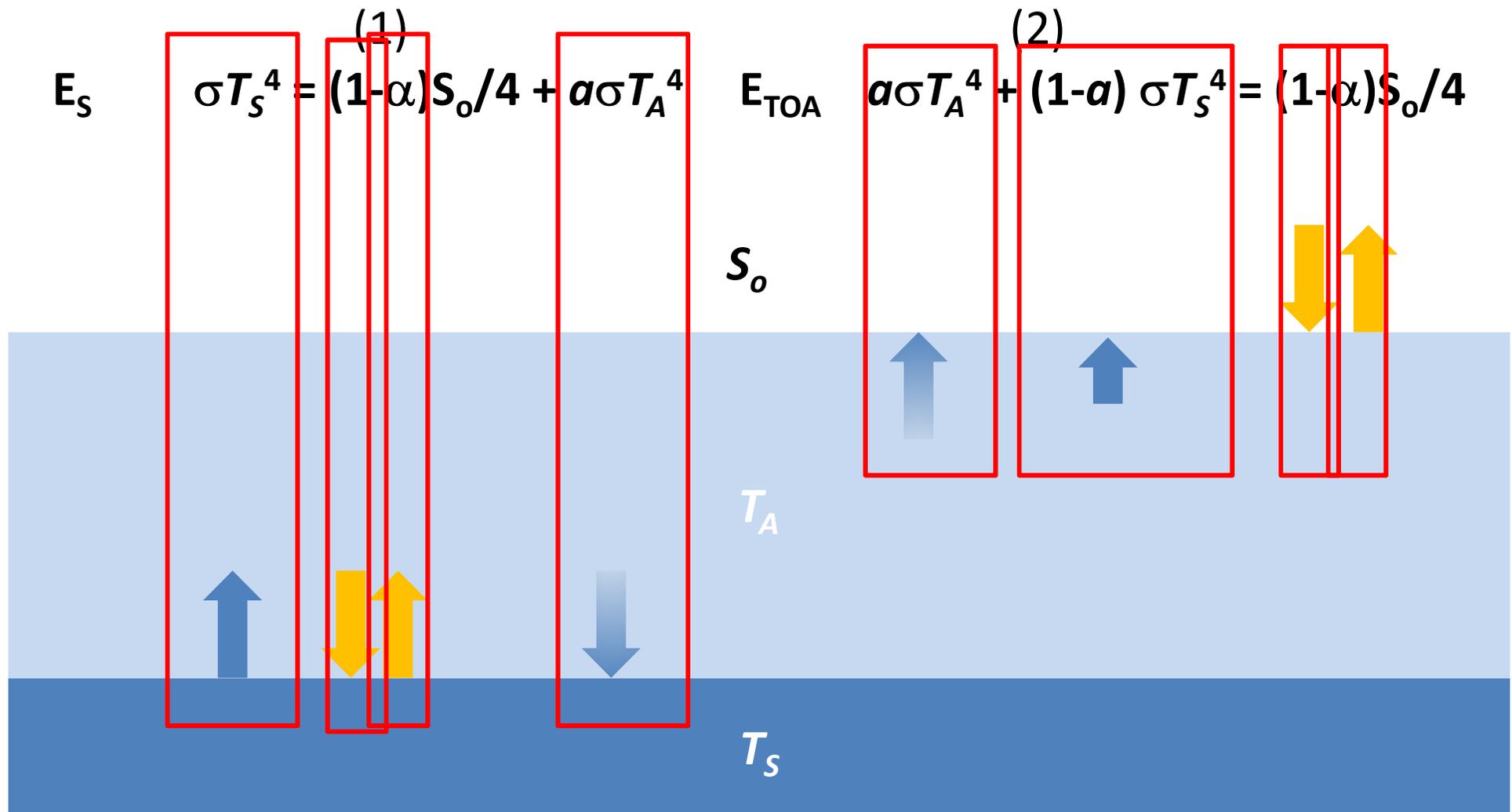
$$a + t = 1$$

$$t=1-a$$



un modello di bilancio energetico terrestre V'

in questo caso dobbiamo imporre due condizioni di equilibrio: (1) alla superficie terrestre, (2) alla sommità dell'atmosfera



un modello di bilancio energetico terrestre VI

$$E_S \quad \sigma T_S^4 = (1-\alpha)S_o/4 + a\sigma T_A^4 \quad E_{TOA} \quad a\sigma T_A^4 + (1-a)\sigma T_S^4 = (1-\alpha)S_o/4$$

sostituendo l'equazione trovata per T_e : $T_e = ((1-\alpha)S_o/4\sigma)^{1/4}$ nella equazione alla superficie otteniamo:

$$\sigma T_S^4 = \sigma T_e^4 + a\sigma T_A^4$$

che dice che la temperatura superficiale in questo caso è maggiore di quella di equilibrio senza atmosfera del termine $a\sigma T_A^4$.

Sottraendo (2) da (1) otteniamo invece:

$a\sigma T_S^4 = 2a\sigma T_A^4$ che indica che la superficie è più calda dell'atmosfera.

Sostituendo T_A da questa equazione nella relazione per l'equilibrio alla superficie, possiamo ricavare T_S :

$$T_S = \sqrt[4]{\left[\frac{(1-\alpha)S_o}{\left(1-\frac{a}{2}\right)4\sigma} \right]}$$

un modello di bilancio energetico terrestre VII

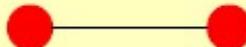
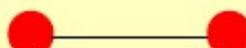
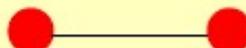
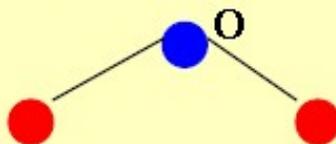
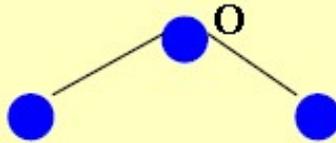
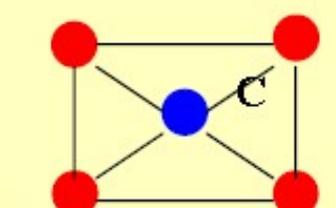
$$T_S = \sqrt[4]{\left[\frac{(1 - \alpha) S_o}{\left(1 - \frac{a}{2}\right) 4\sigma} \right]}$$

per $T_S = 288\text{K}$, $\alpha = 0.78$, $T_A = 242\text{K}$

288K-255K = 33K effetto serra: all'aumentare di α , T_S aumenta...

forzanti - GHG I

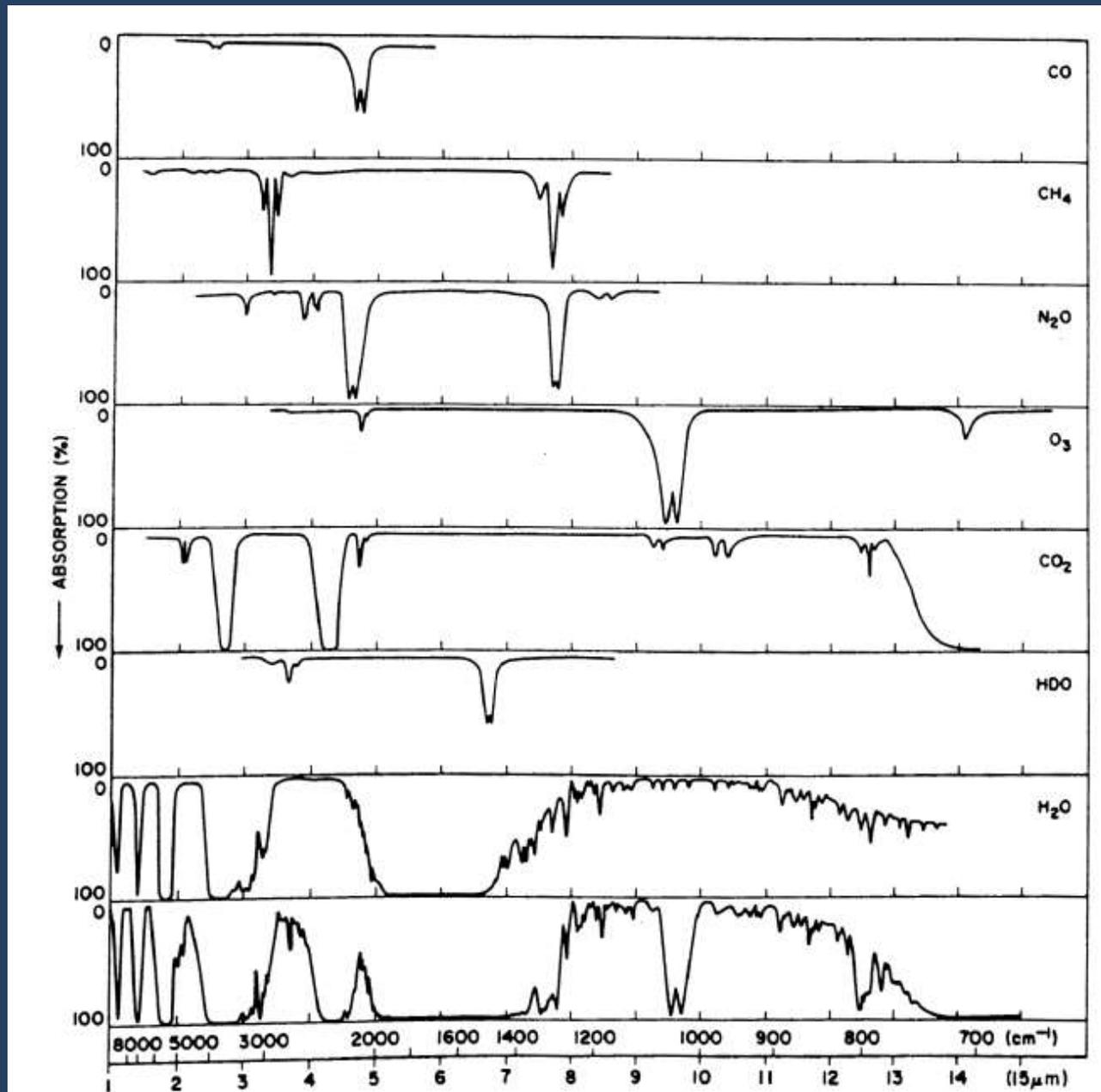
interazione tra radiazione e costituenti atmosferici

Molecule	Structure	Permanent dipole moment	May acquire dipole moment
N ₂	N  N	No	No
O ₂	O  O	No	No
CO	C  O	Yes	Yes
CO ₂	O  O	No	Yes (in two vibrational modes)
N ₂ O	N  N O	Yes	Yes
H ₂ O	 O H H	Yes	Yes
O ₃	 O O O	Yes	Yes
CH ₄	 C H H H H	No	Yes (in two vibrational modes)

Peixoto and Oort (1998)

forzanti - GHG II

spettri di assorbimento dei gas atmosferici

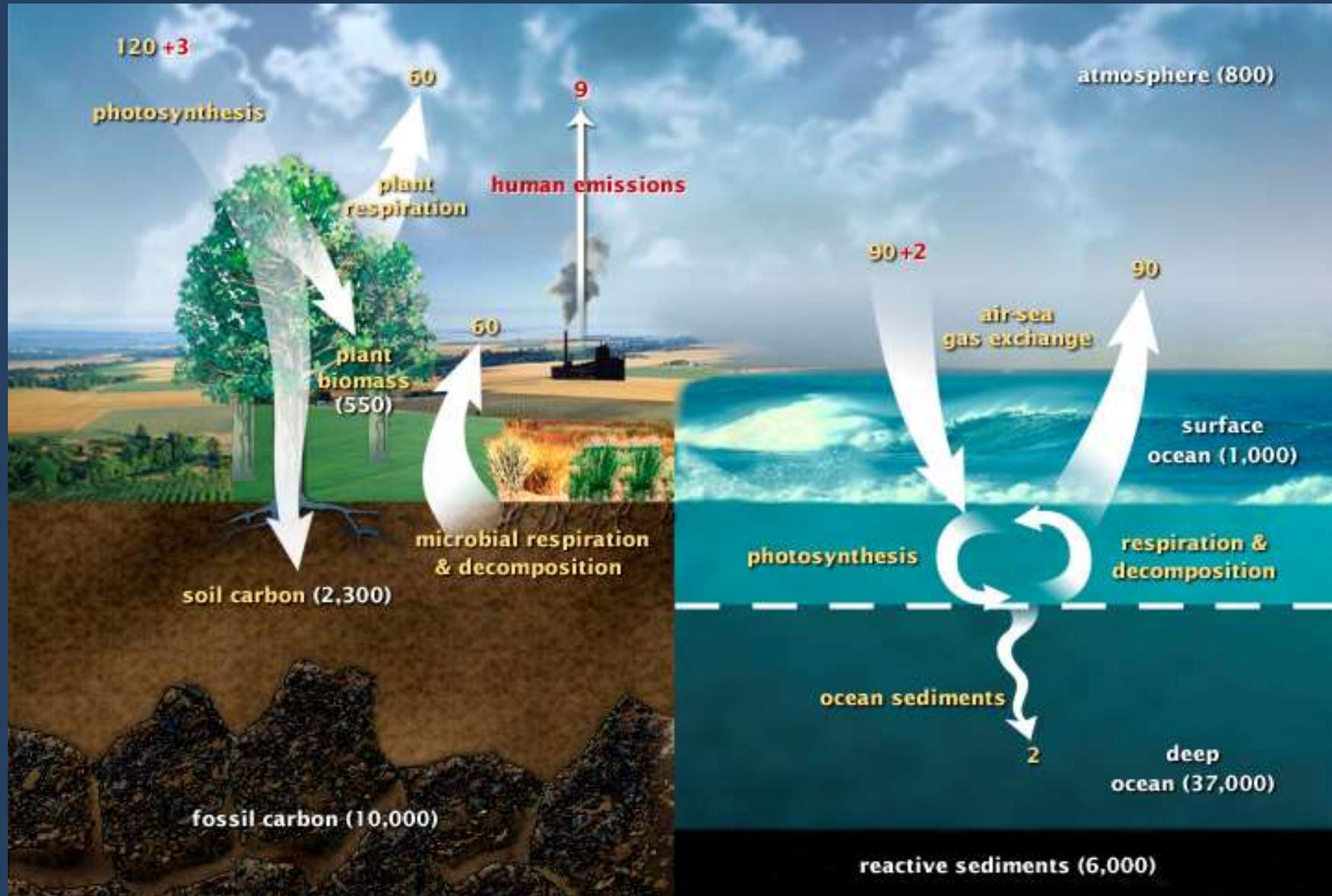


(Valley, 1965)

forzanti - GHG III

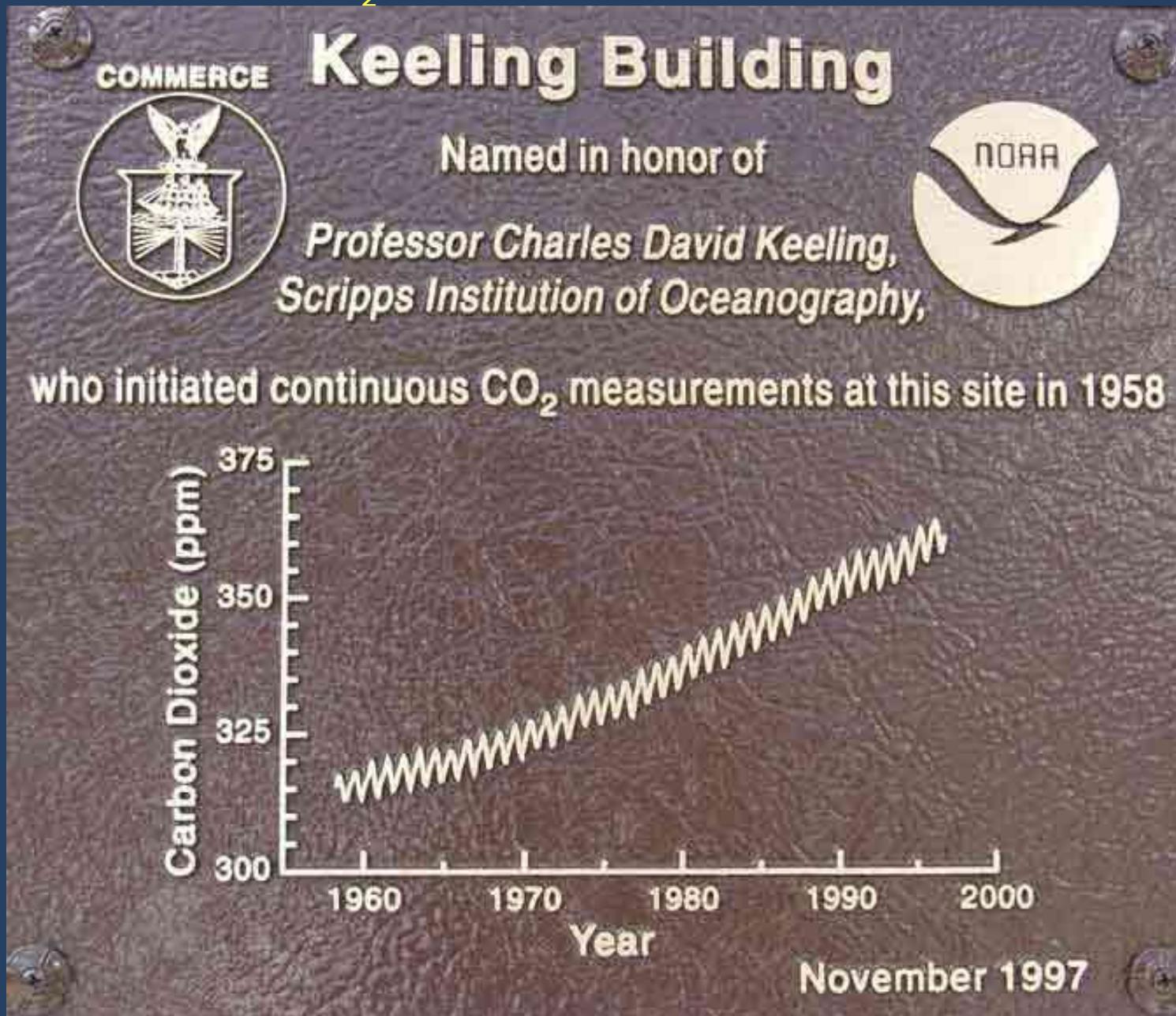
ciclo veloce del carbonio

flussi naturali (GtC/anno) flussi antropici (GtC/anno) riserve (GtC)



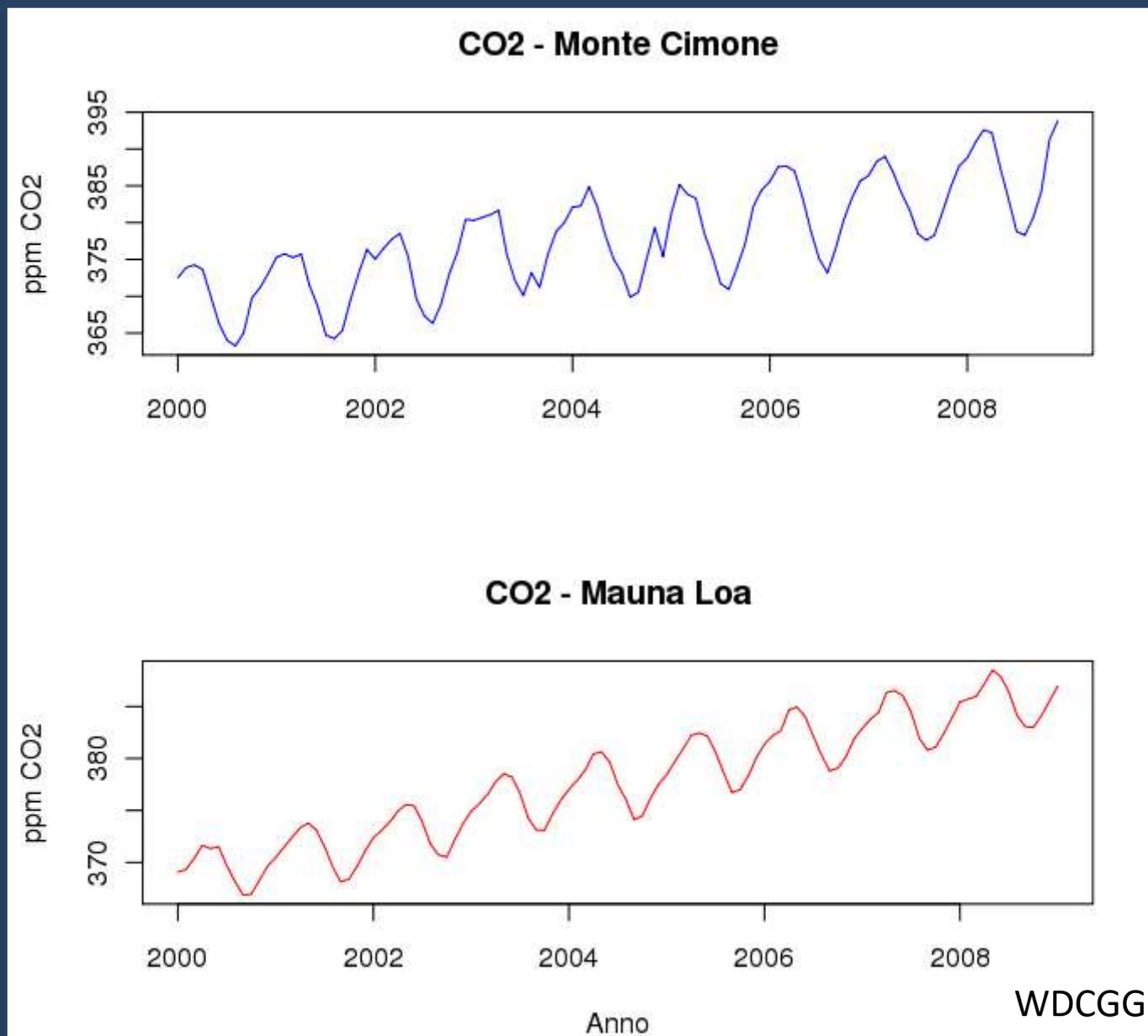
forzanti - GHG IV

misure di contenuto di CO₂



forzanti - GHG V

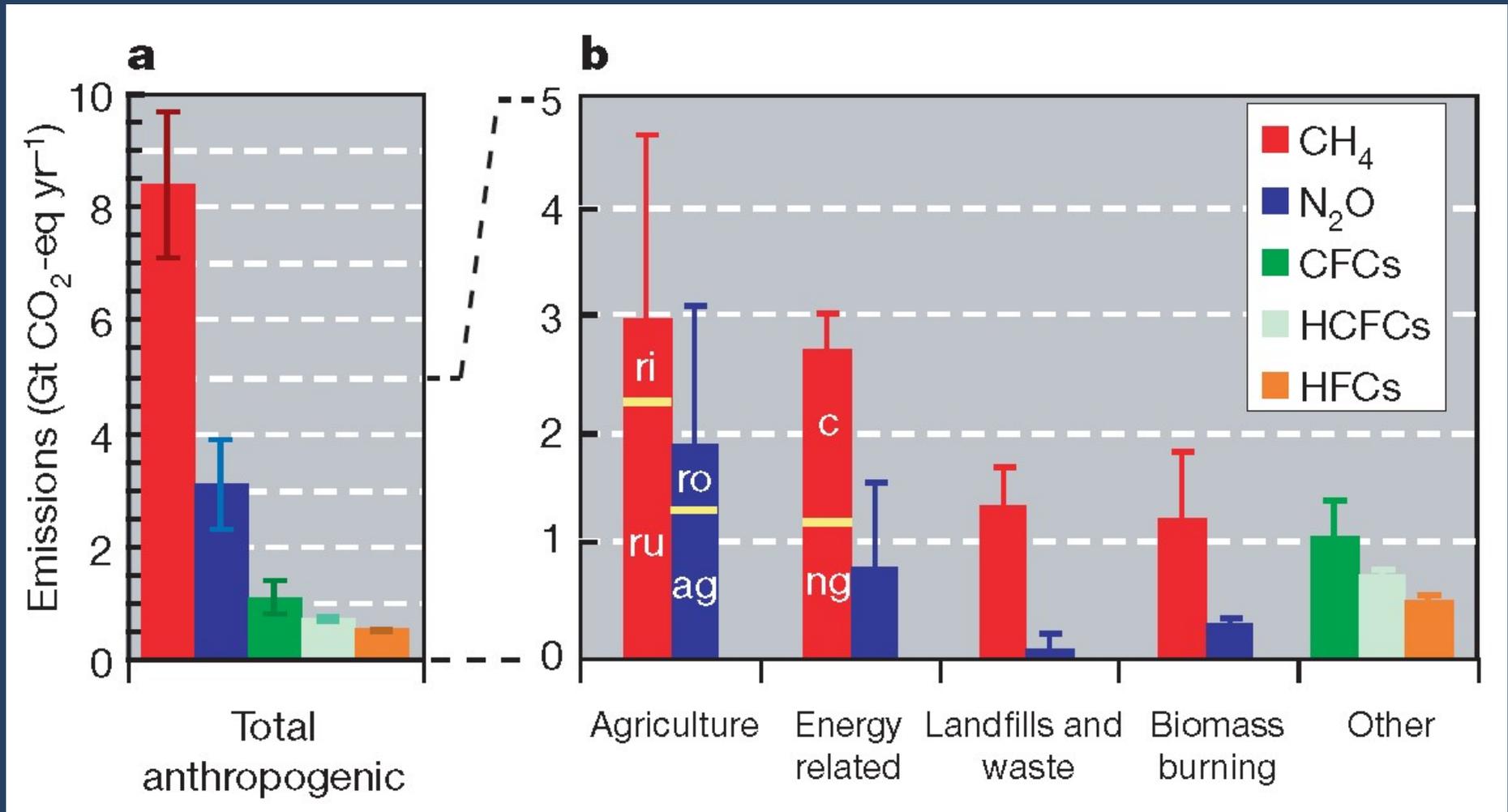
misure di contenuto di CO₂



forzanti - GHG VI

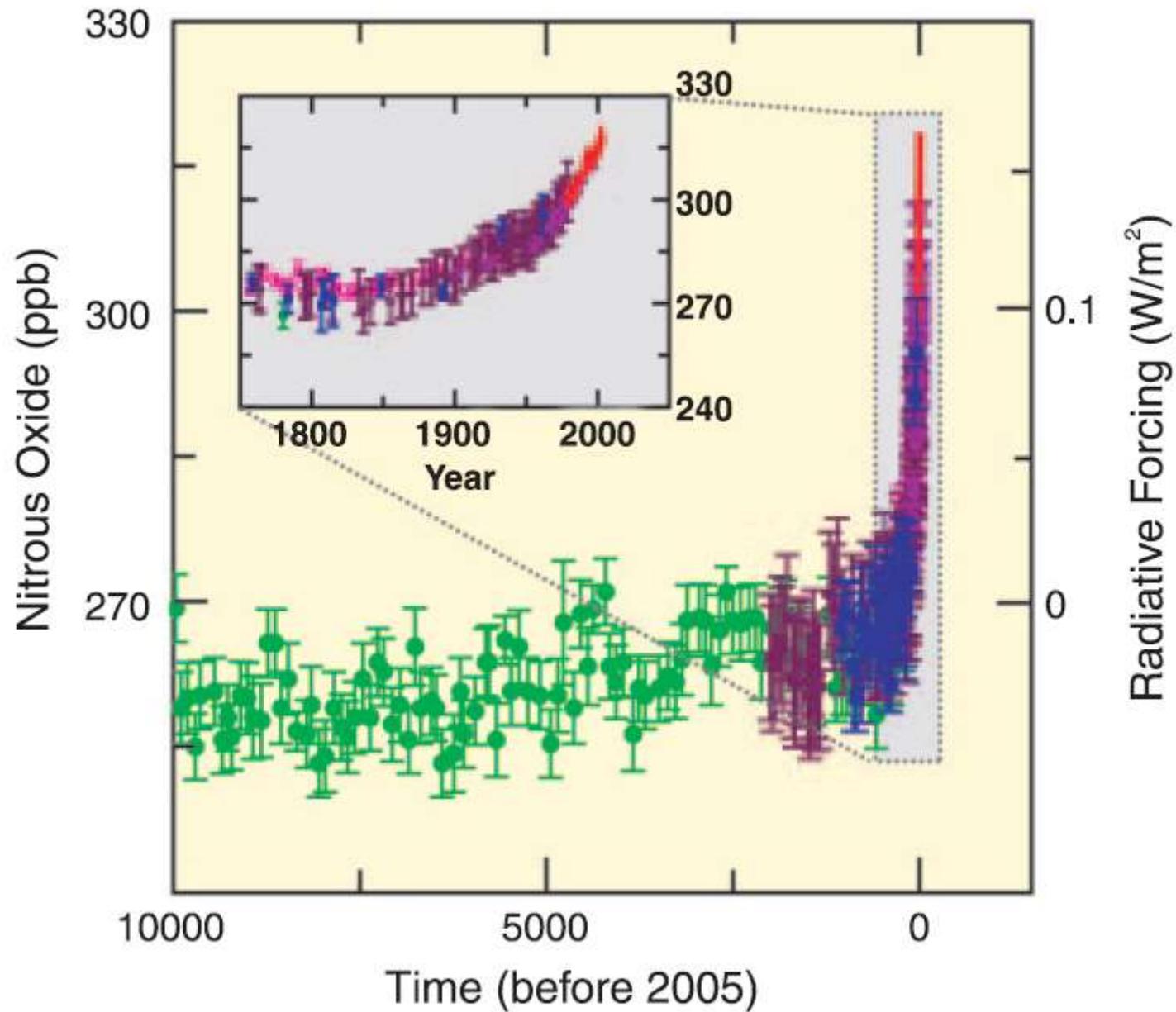
meccanismi di produzione e distruzione di altri GHG

ri: coltivazione del riso; ru: ruminanti; ng: gas naturali; c: miniere
ro: run-off; ag: agricoltura



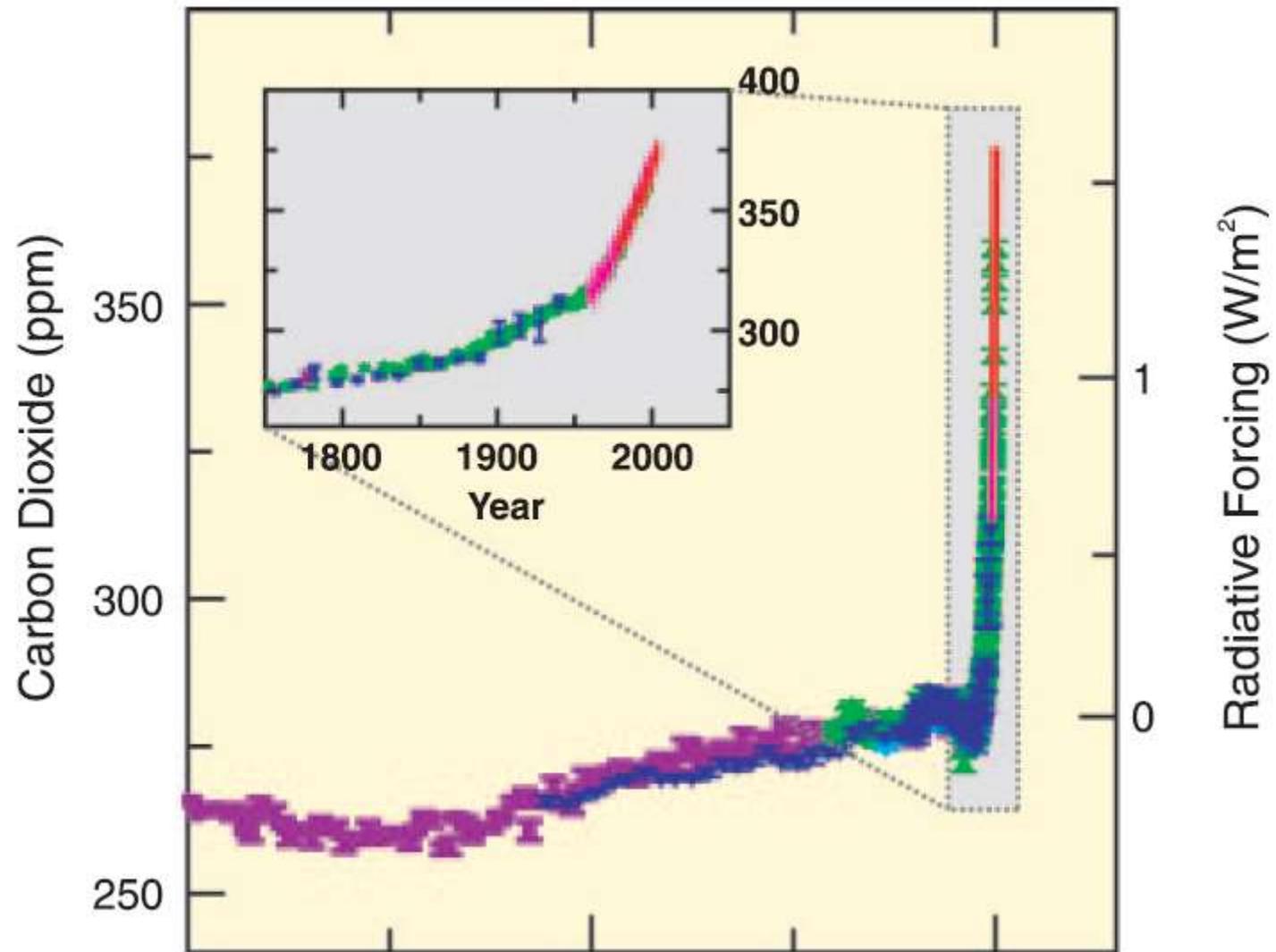
(Montzka et al, 2011)

forzanti - GHG VII
record storici (ice cores)

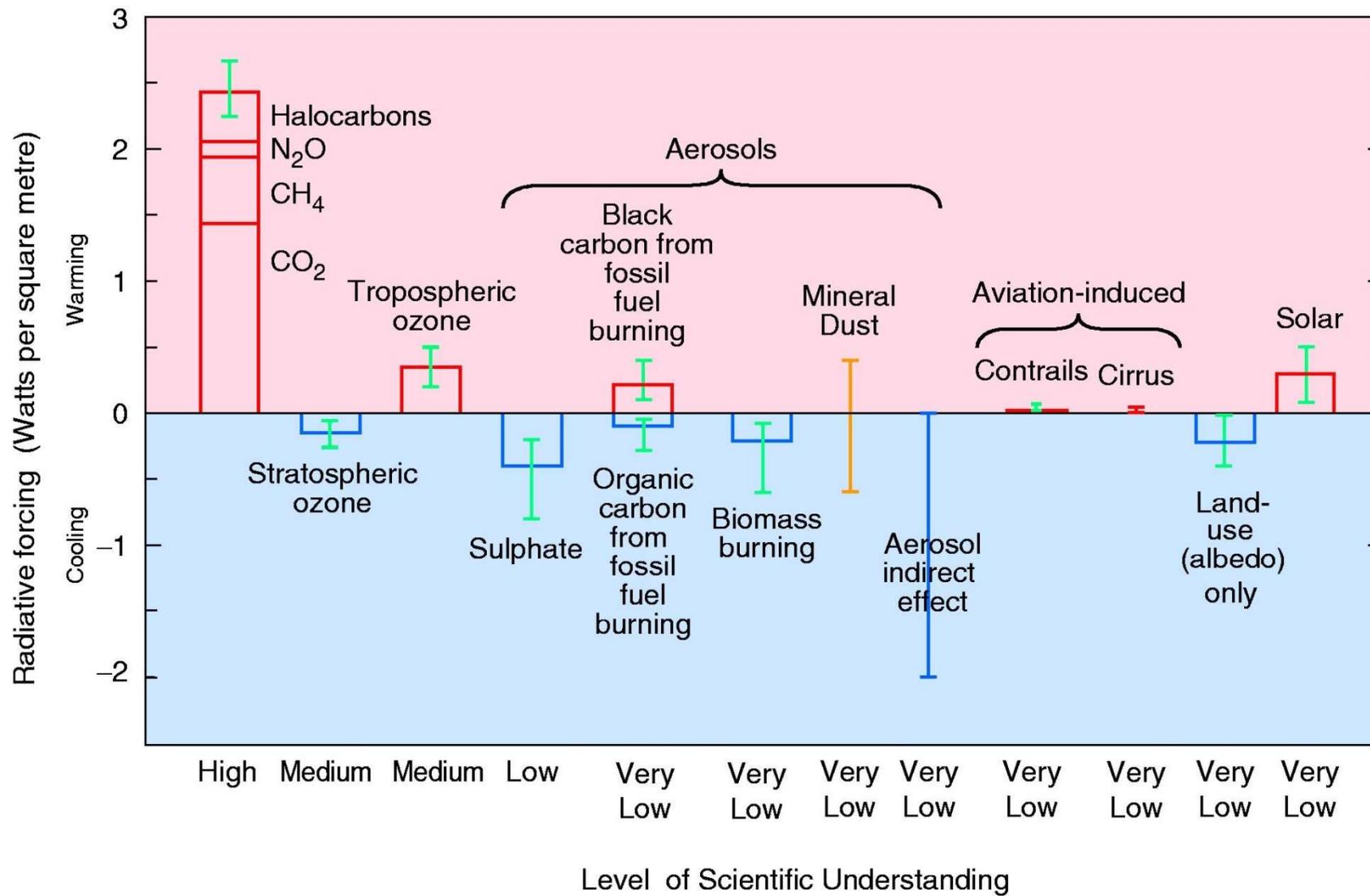


forzanti - GHG VII

record storici (ice cores)



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



GEOENGINEERING TECHNIQUES

Geoengineering is the large-scale intervention in the Earth system to counteract human-induced climate change. There are two basic approaches to intervention:



CARBON DIOXIDE REMOVAL

Removes carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere and storing it for a long time. Techniques include:

Ocean fertilisation
Sprinkle iron to stimulate growth of CO₂-eating phytoplankton

Safety ●●●●●
Ready ●●●●●
Cost ●●●●●

Afforestation
Plant trees on a large-scale to remove CO₂

Safety ●●●●●
Ready ●●●●●
Cost ●●●●●

Air capture
Convert CO₂ into a solid using sodium hydroxide

Safety ●●●●●
Ready ●●●●●
Cost ●●●●●

SOLAR RADIATION MANAGEMENT

Counteracts global warming by reflecting some sunlight back to space. Techniques include:

Desert surface albedo
Cover desert surface with reflective sheets to reflect sunlight

Safety ●●●●●
Ready ●●●●●
Cost ●●●●●

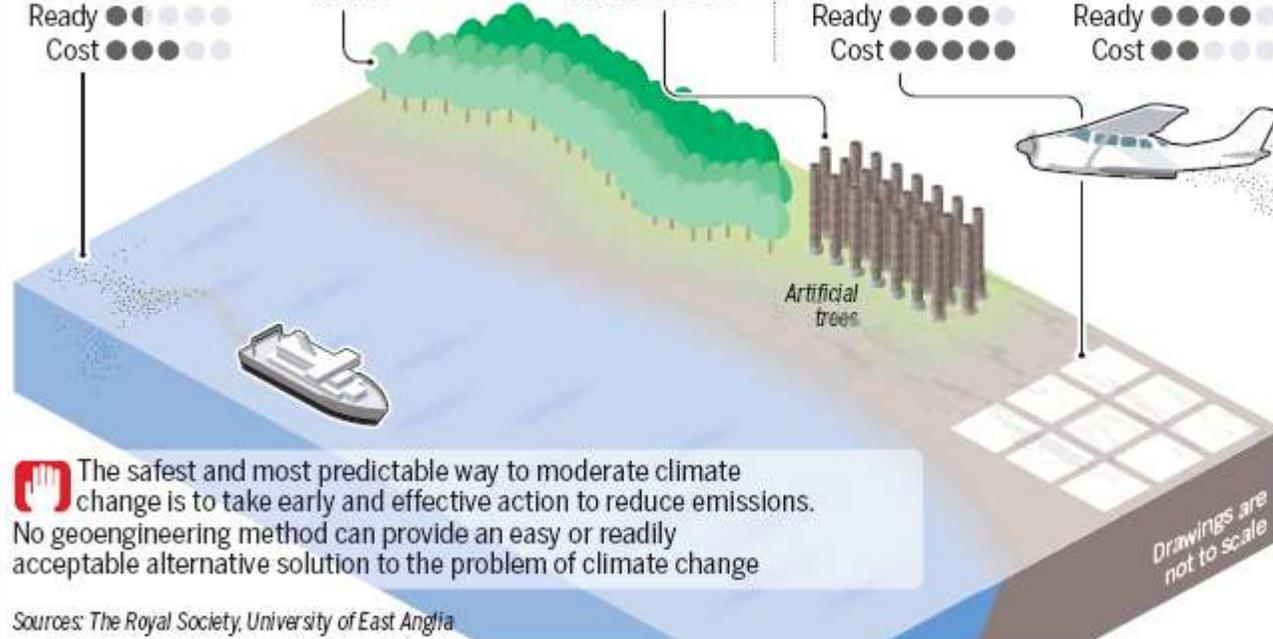
Stratospheric aerosol
Inject sulfur to reflect sunlight, increase cloud condensation

Safety ●●●●●
Ready ●●●●●
Cost ●●●●●



Space reflector
Launch mirrors into space to reflect sunlight

Safety ●●●●●
Ready ●●●●●
Cost ●●●●●



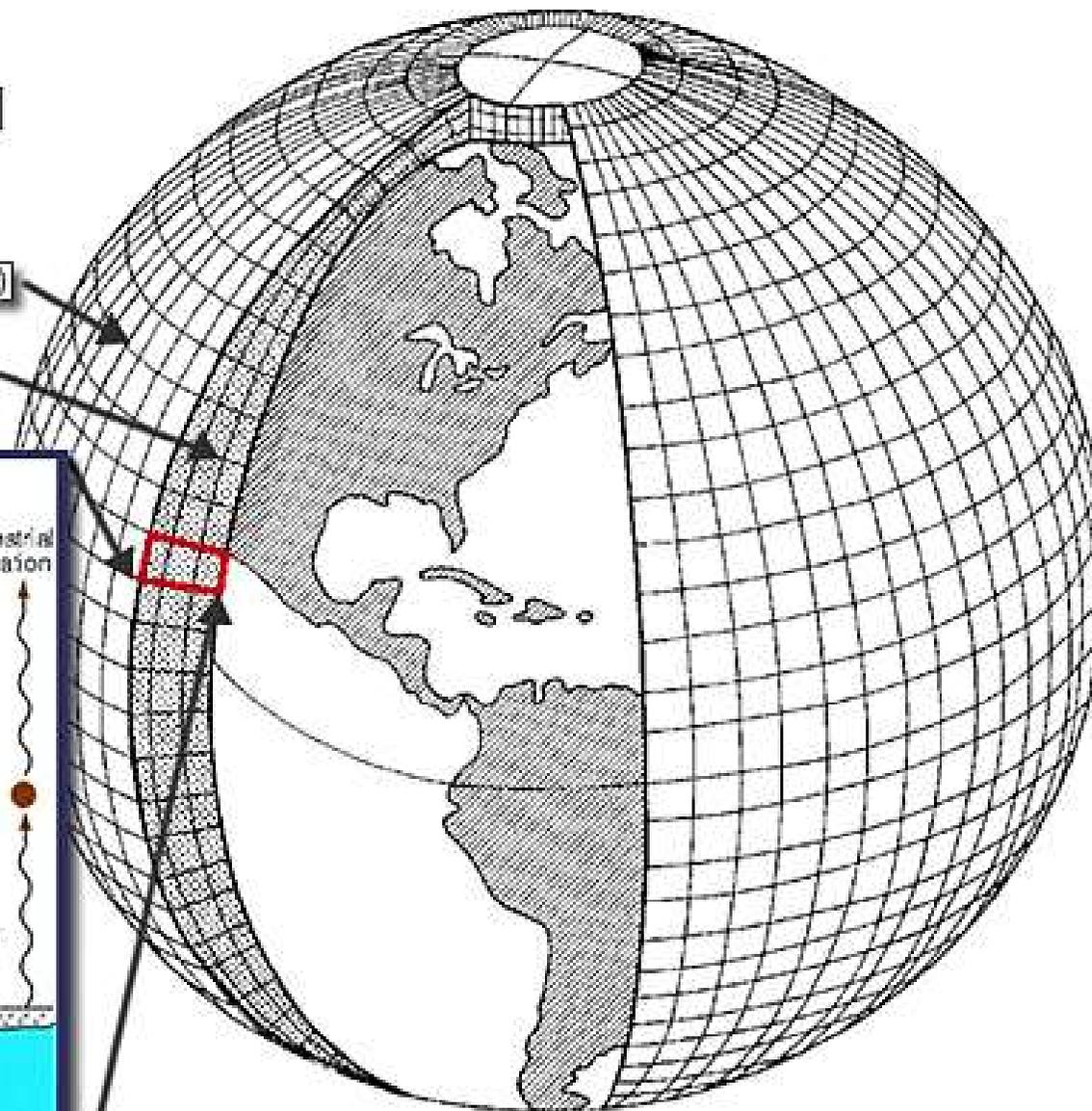
The safest and most predictable way to moderate climate change is to take early and effective action to reduce emissions. No geoengineering method can provide an easy or readily acceptable alternative solution to the problem of climate change

Sources: The Royal Society, University of East Anglia

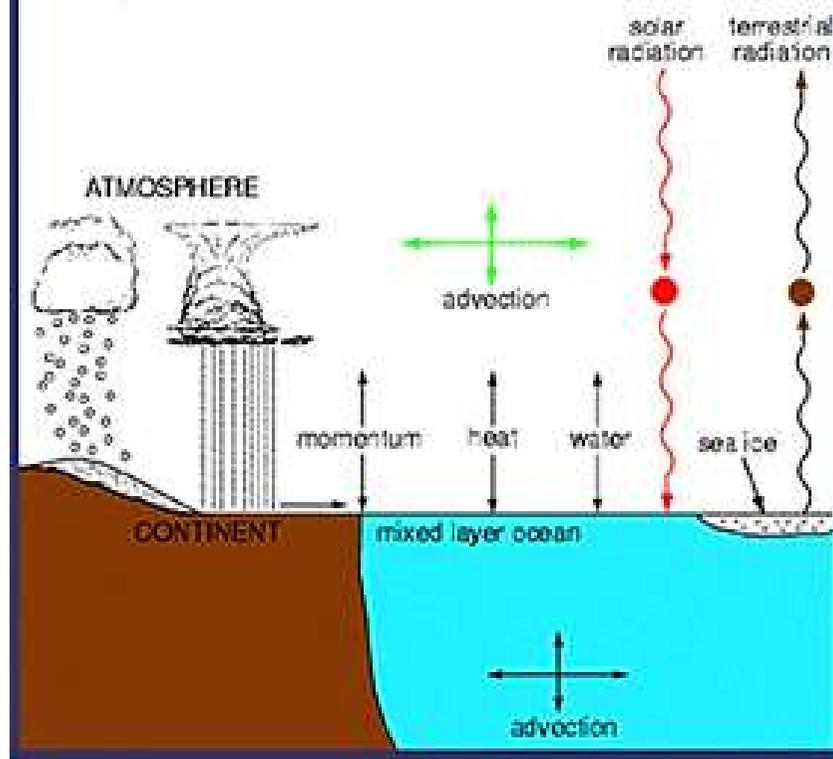
Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (latitude - longitude)

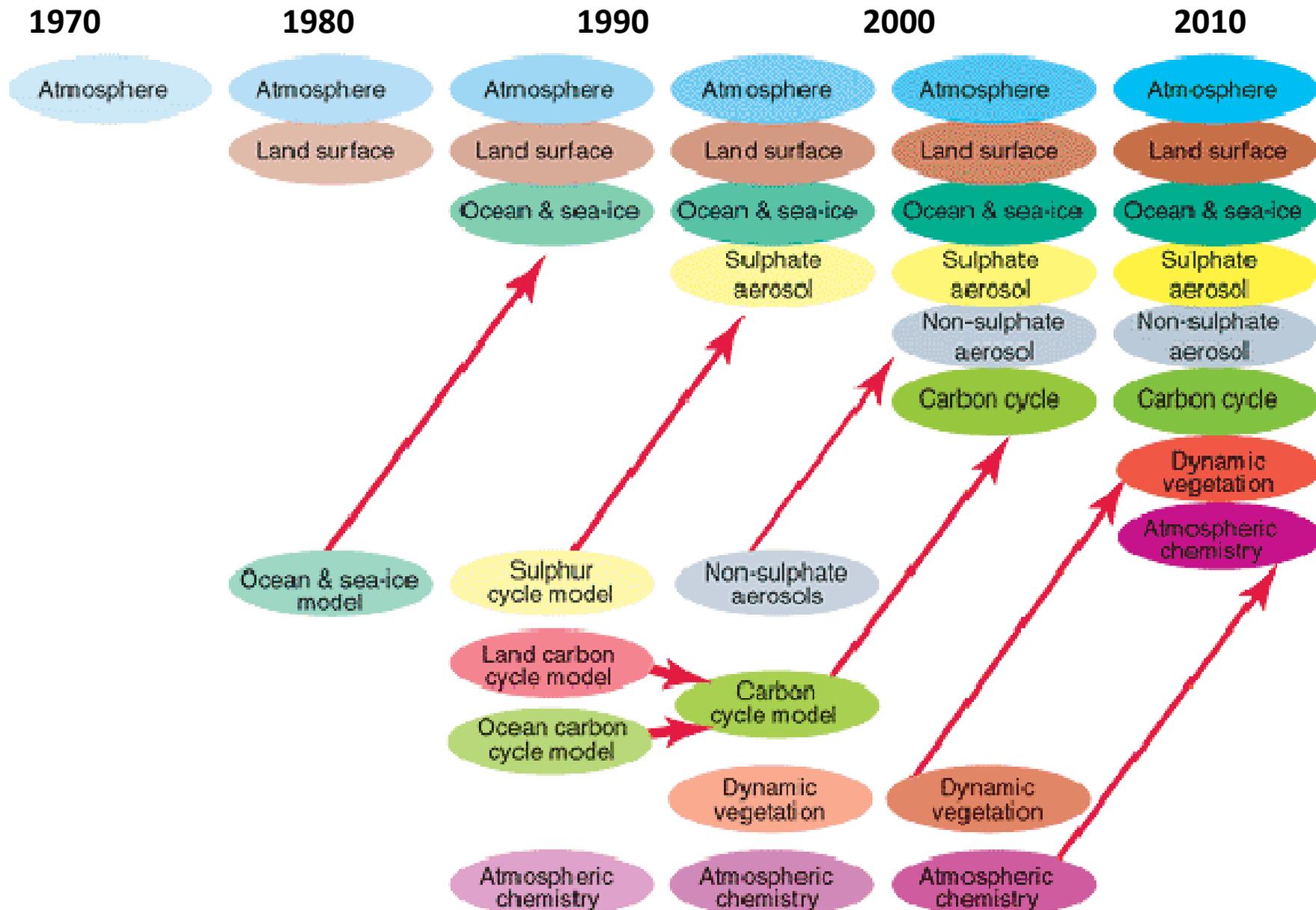
Vertical Grid (height or pressure)



Physical Processes in a Model

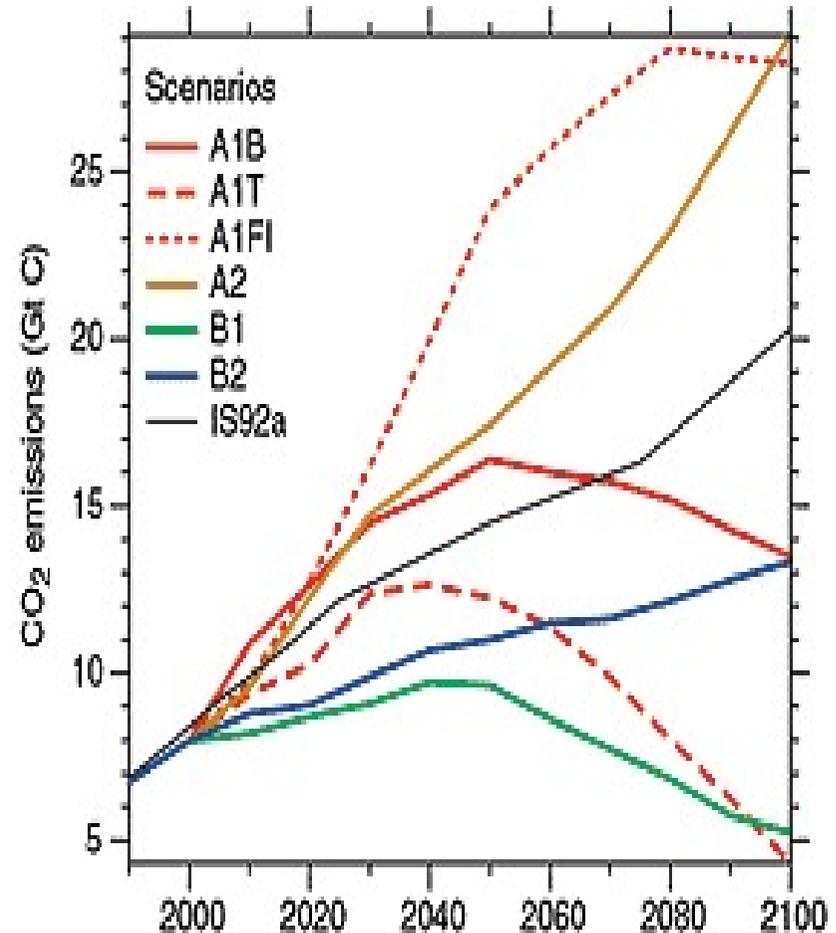


evoluzione dei modelli climatici

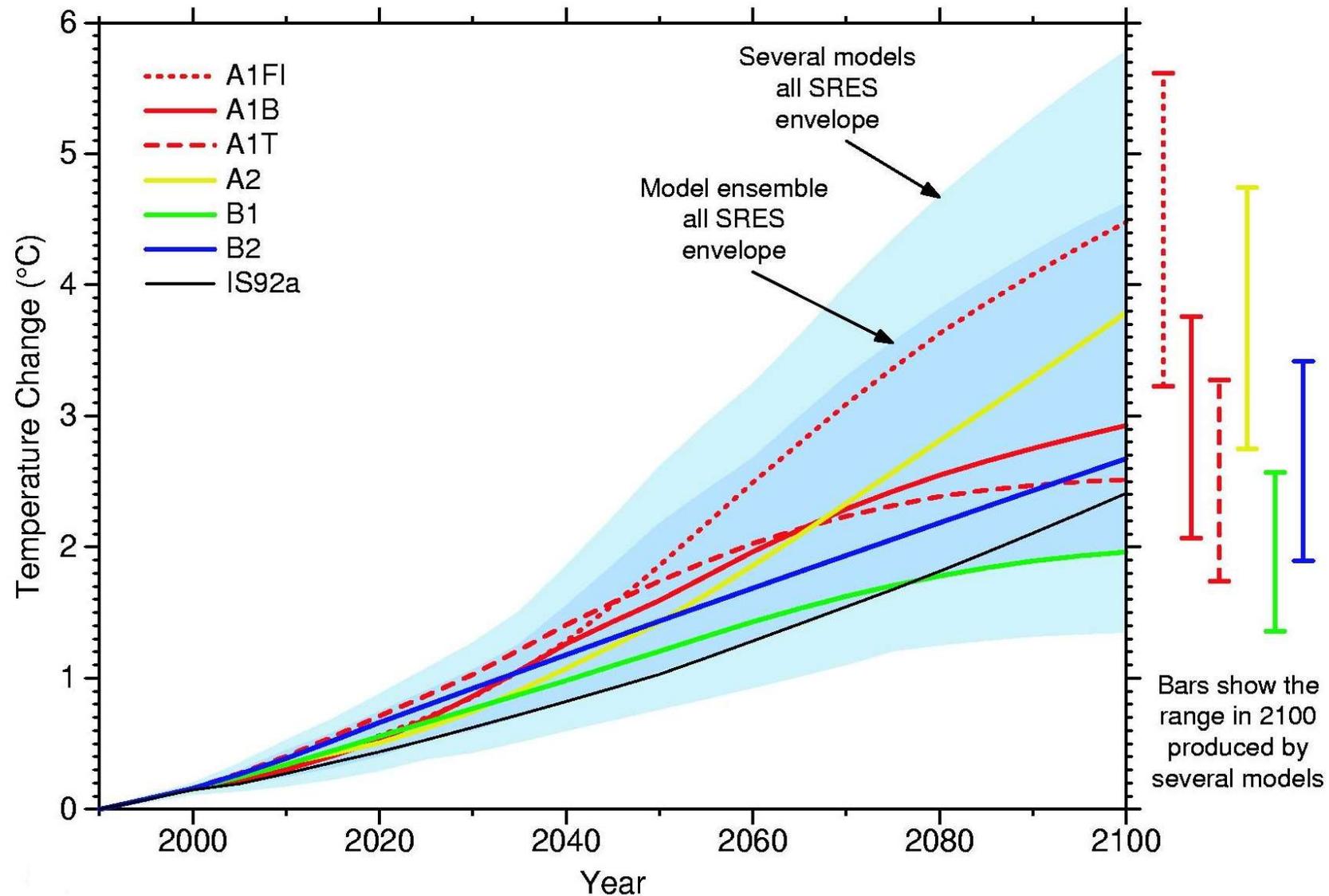


Future Climate Change

- 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**



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

-Nils Bohr-