

Introduzione al sistema climatico terrestre



Osservazioni di stato e tendenza

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

sistemi dinamici, non linearità, caos;

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

**un esempio di interazione tra
sottosistemi;**

forzanti;

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

sistema: insieme di elementi che interagiscono tra loro con un obiettivo seguendo proprie regole

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:

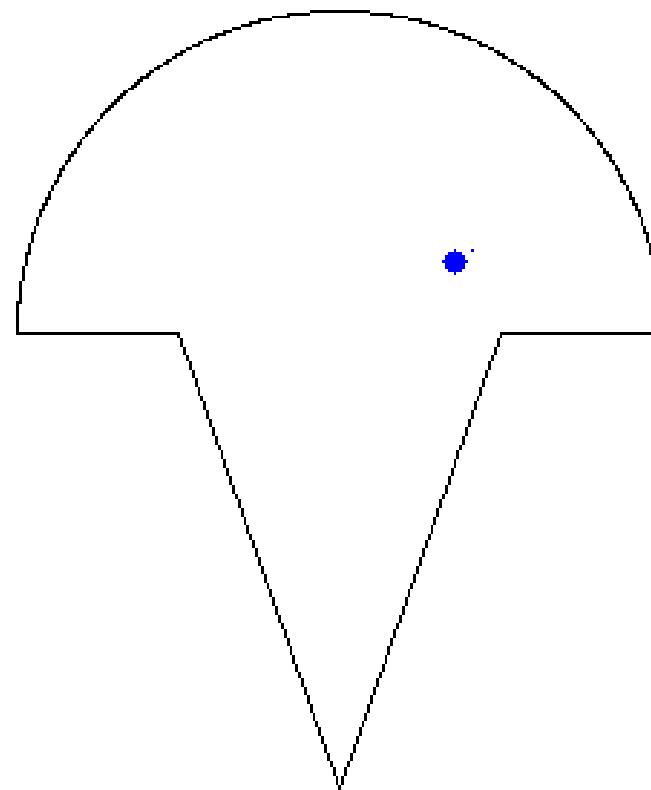
- i componenti interagiscono tra loro in modo lineare;
- è riducibile;
- è predicibile;
- è descritto da pochi parametri.

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 ($\Delta\phi = 0.5\%$)



Sistema di Lorenz

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

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

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

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

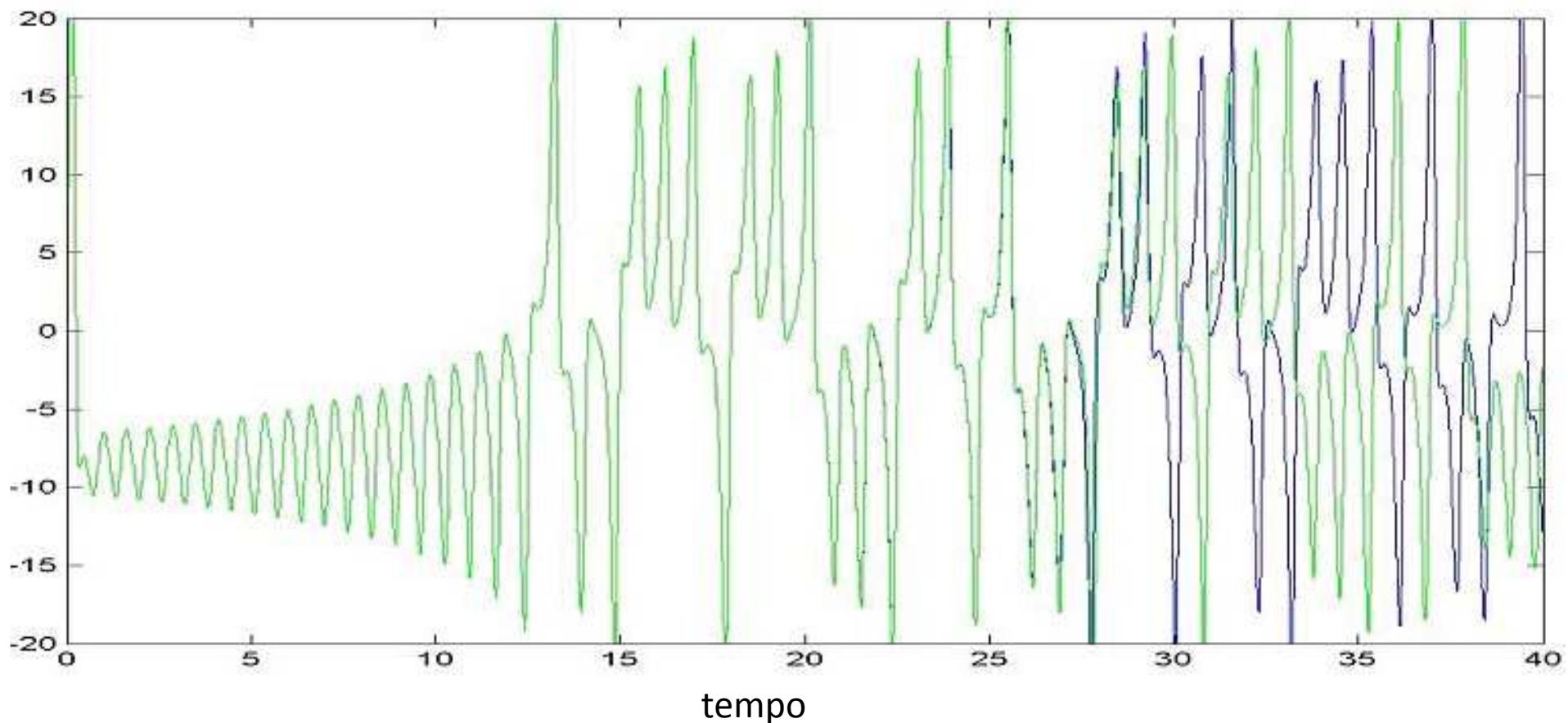
$$y_{(t=0)} = 1$$

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

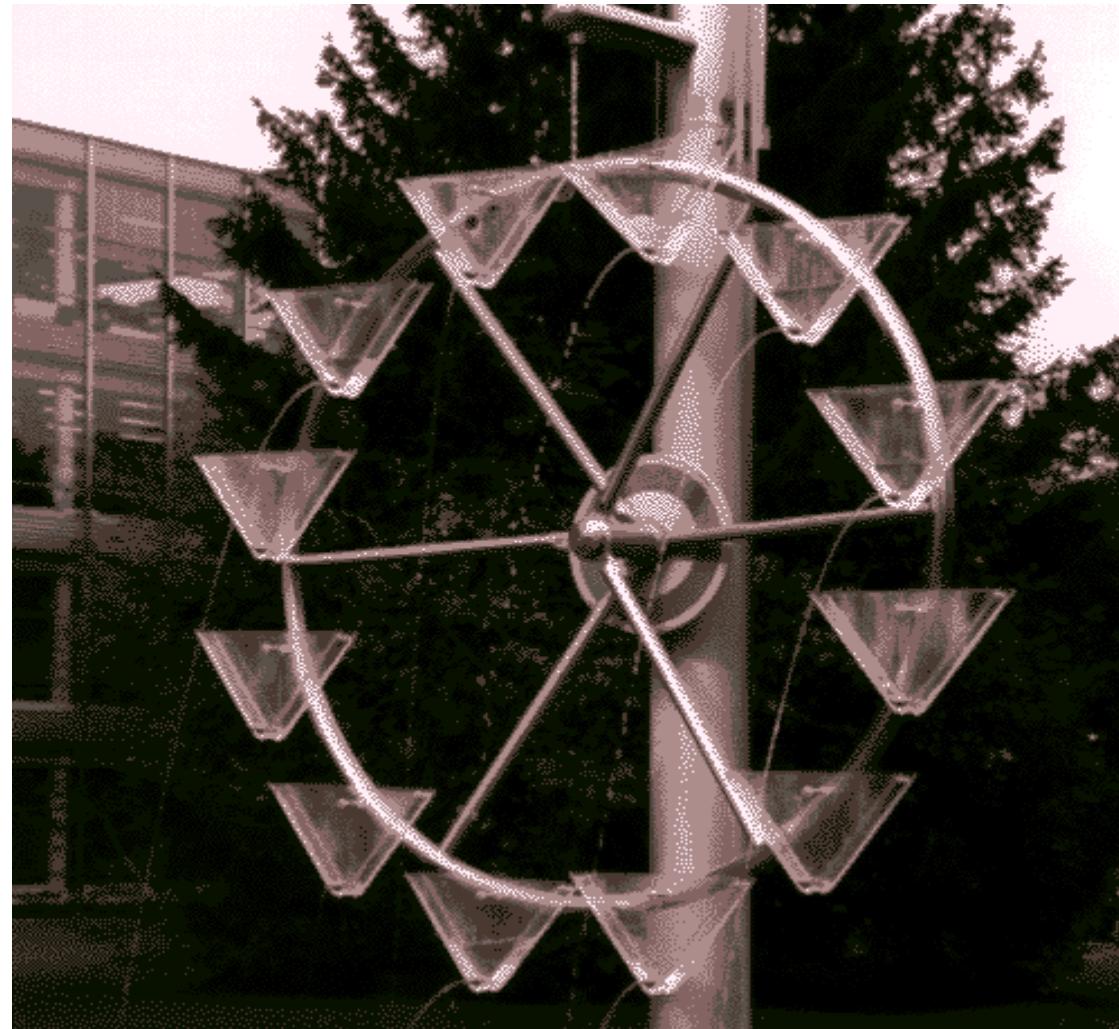
$$x_{(t=0)} = 8$$

$$y_{(t=0)} = 1.0000001$$

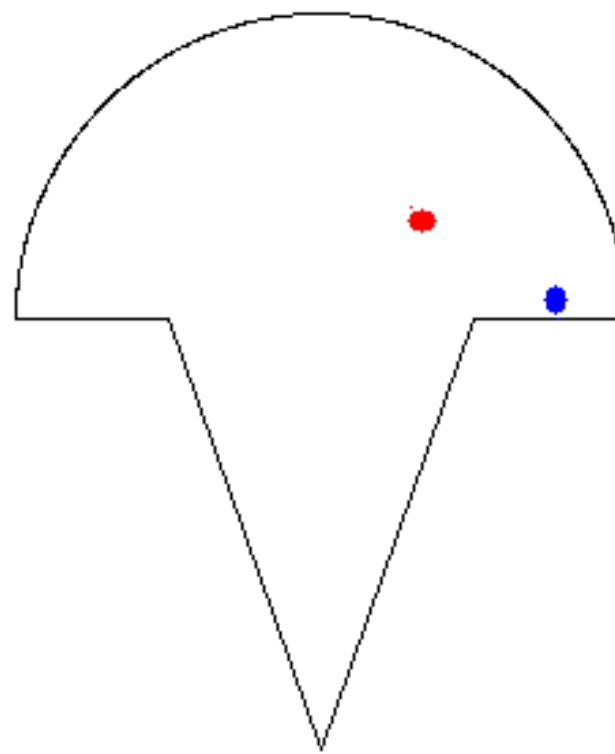
$$z_{(t=0)} = 1$$



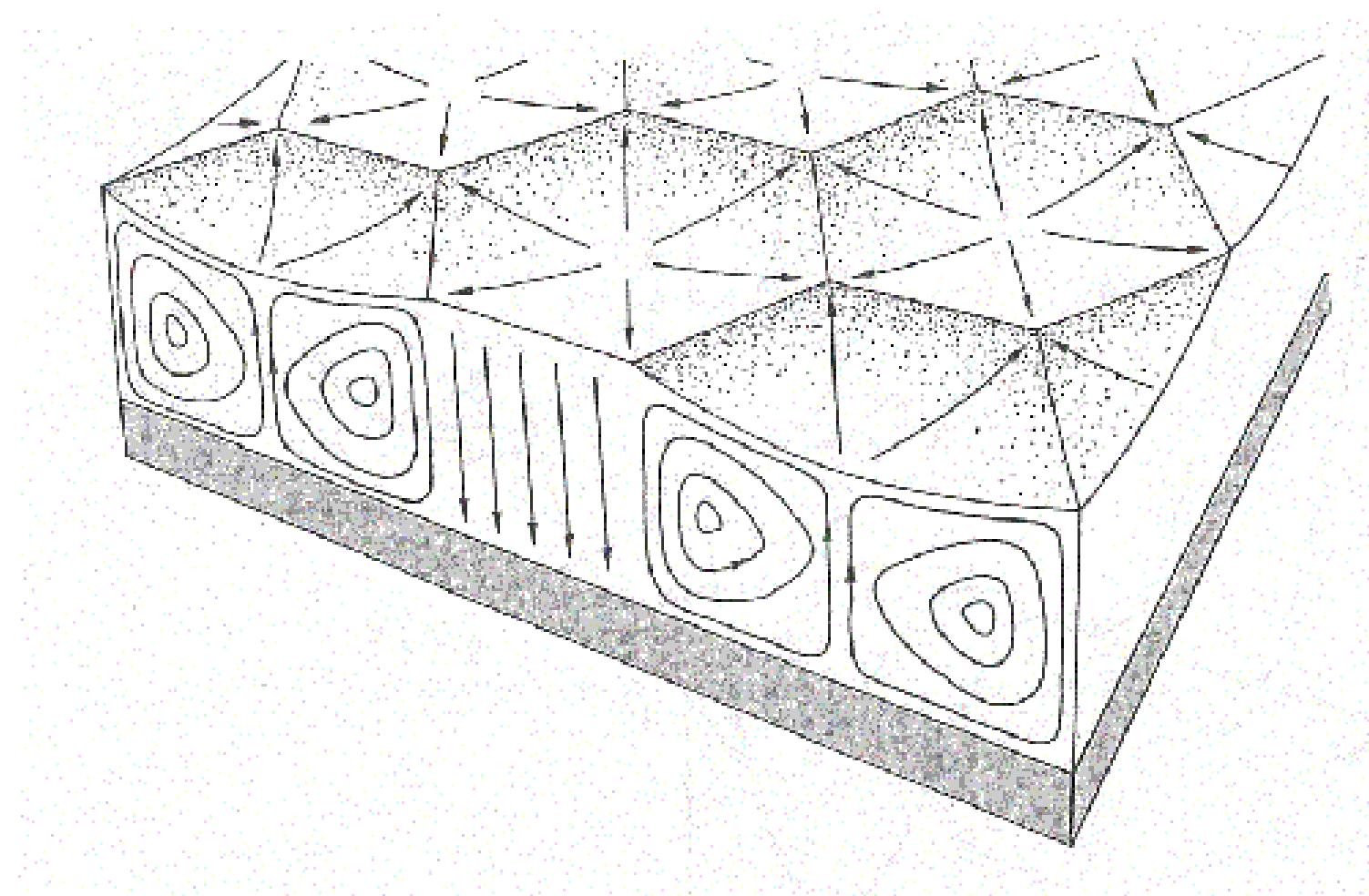
ruota ad acqua di Lorenz



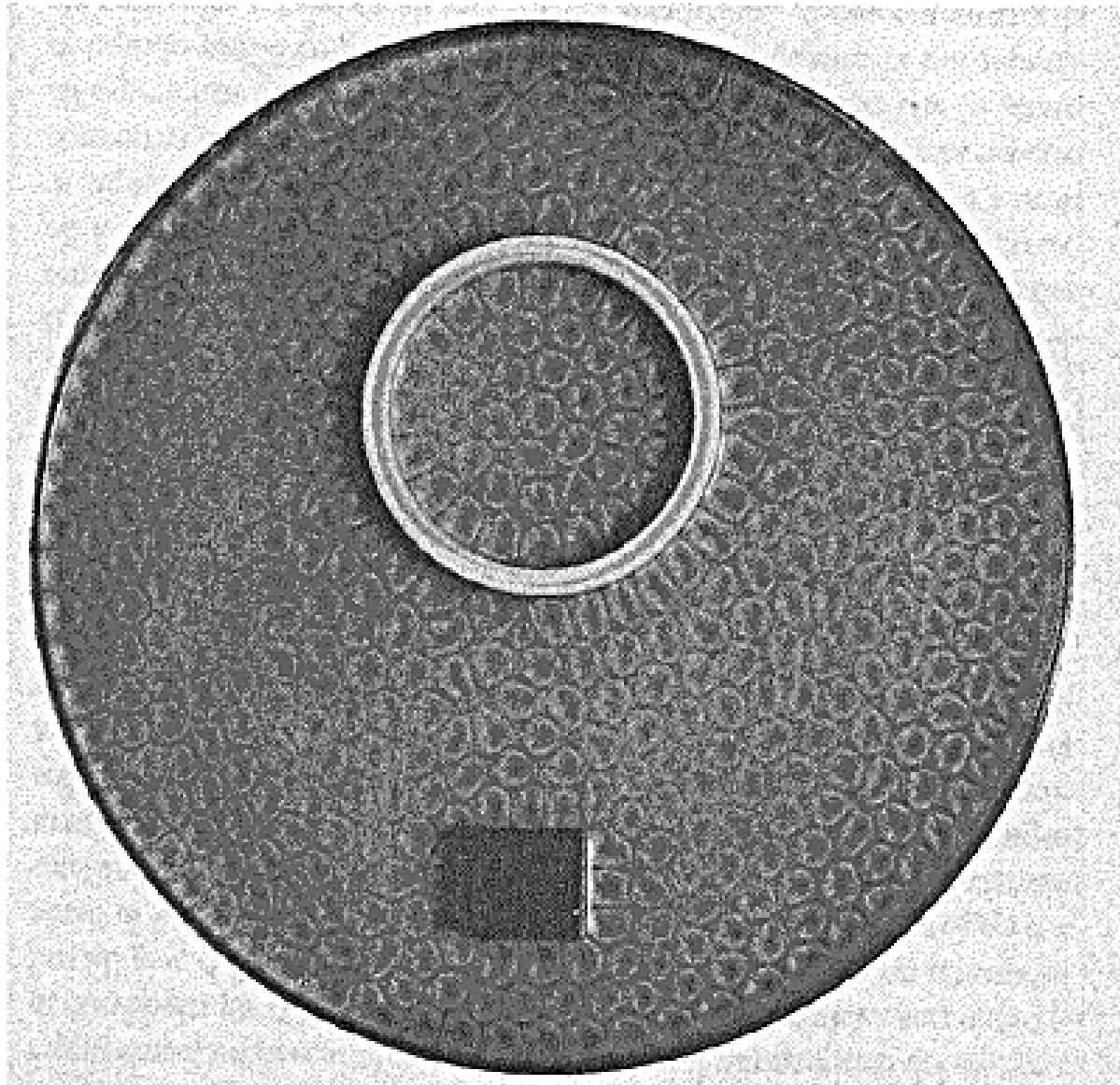
Biliardo ordine



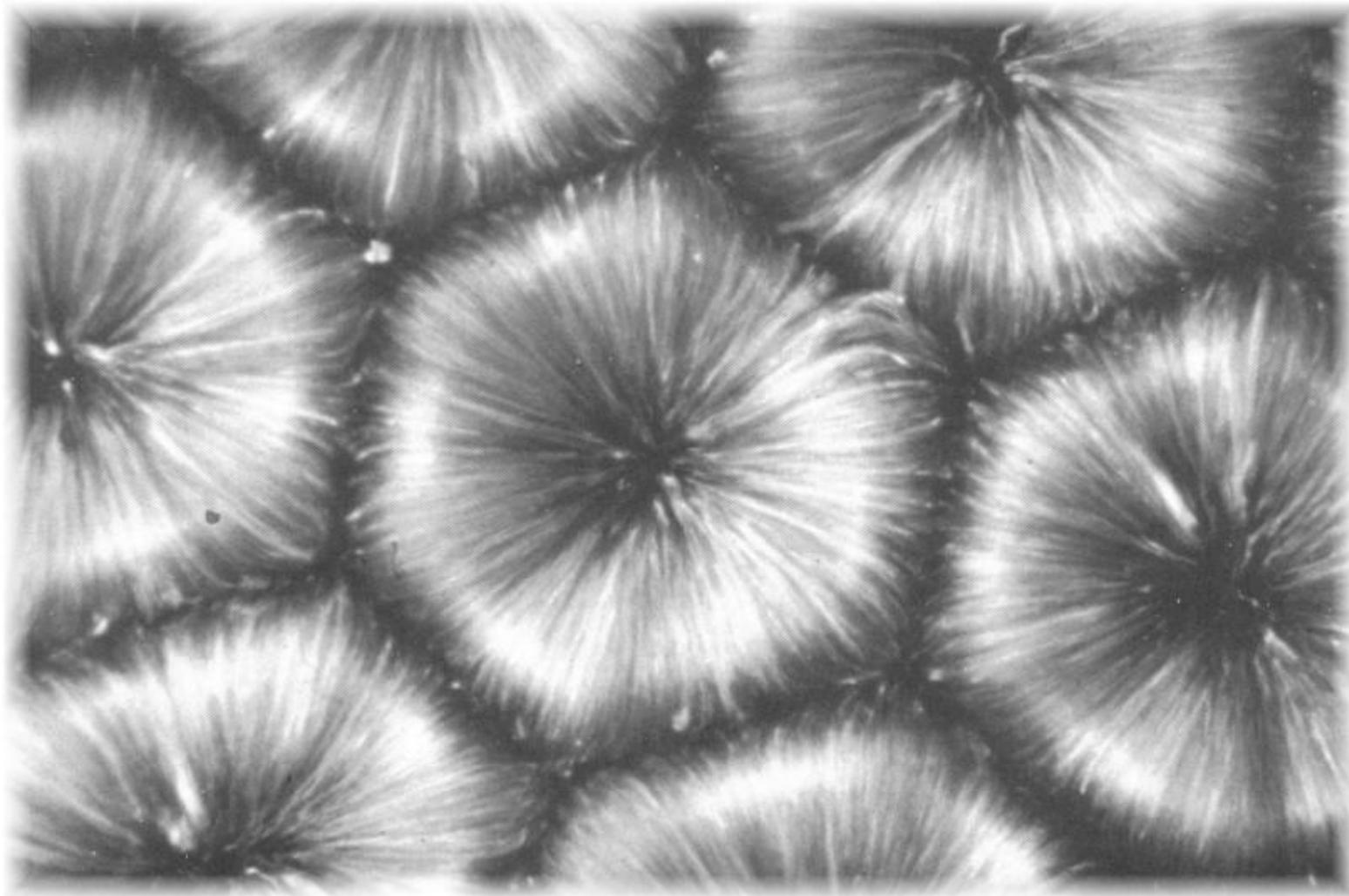
Convezione (Benard)



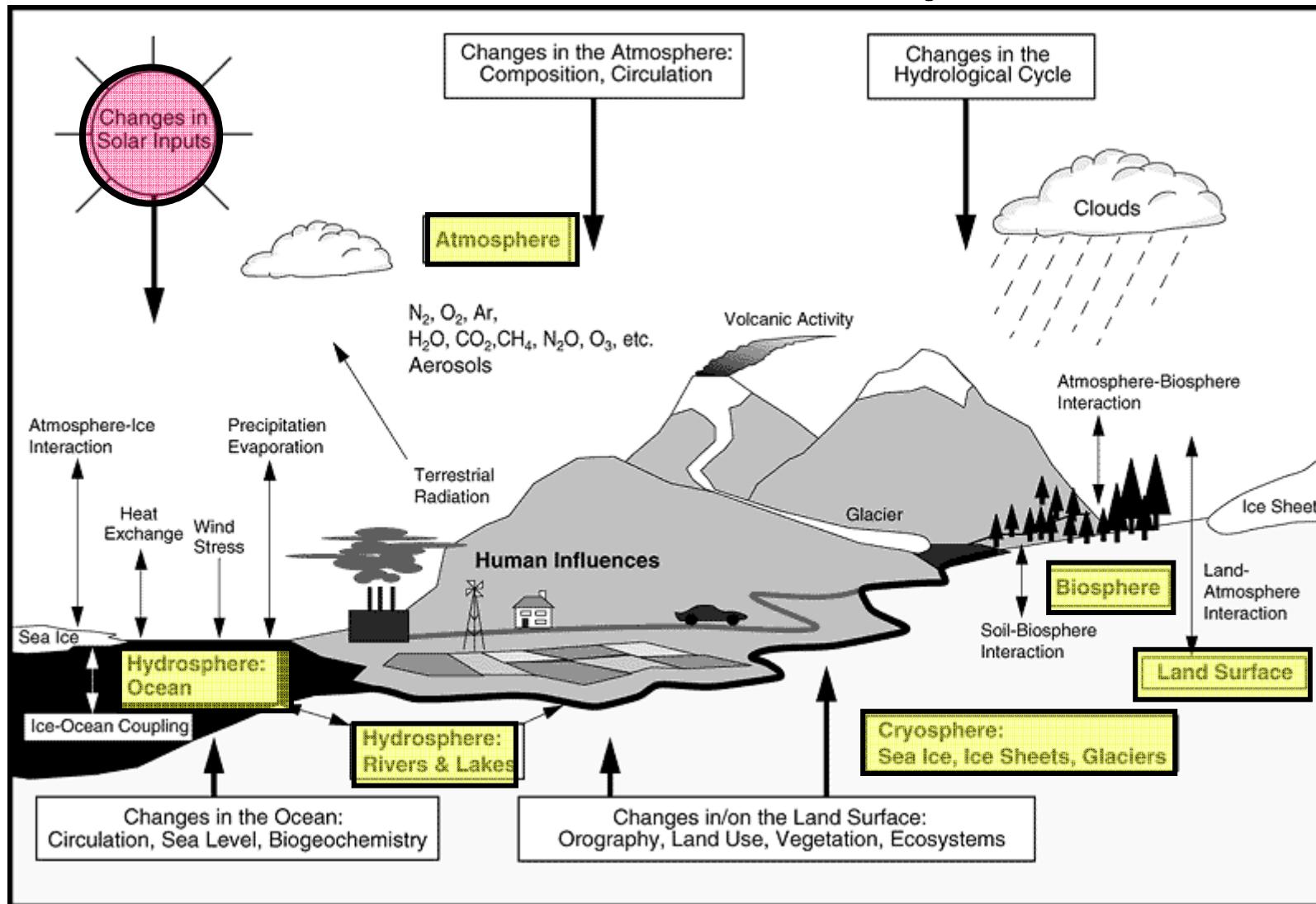
Convezione (Benard)



Convezione (Benard)



The Global Climate System



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*

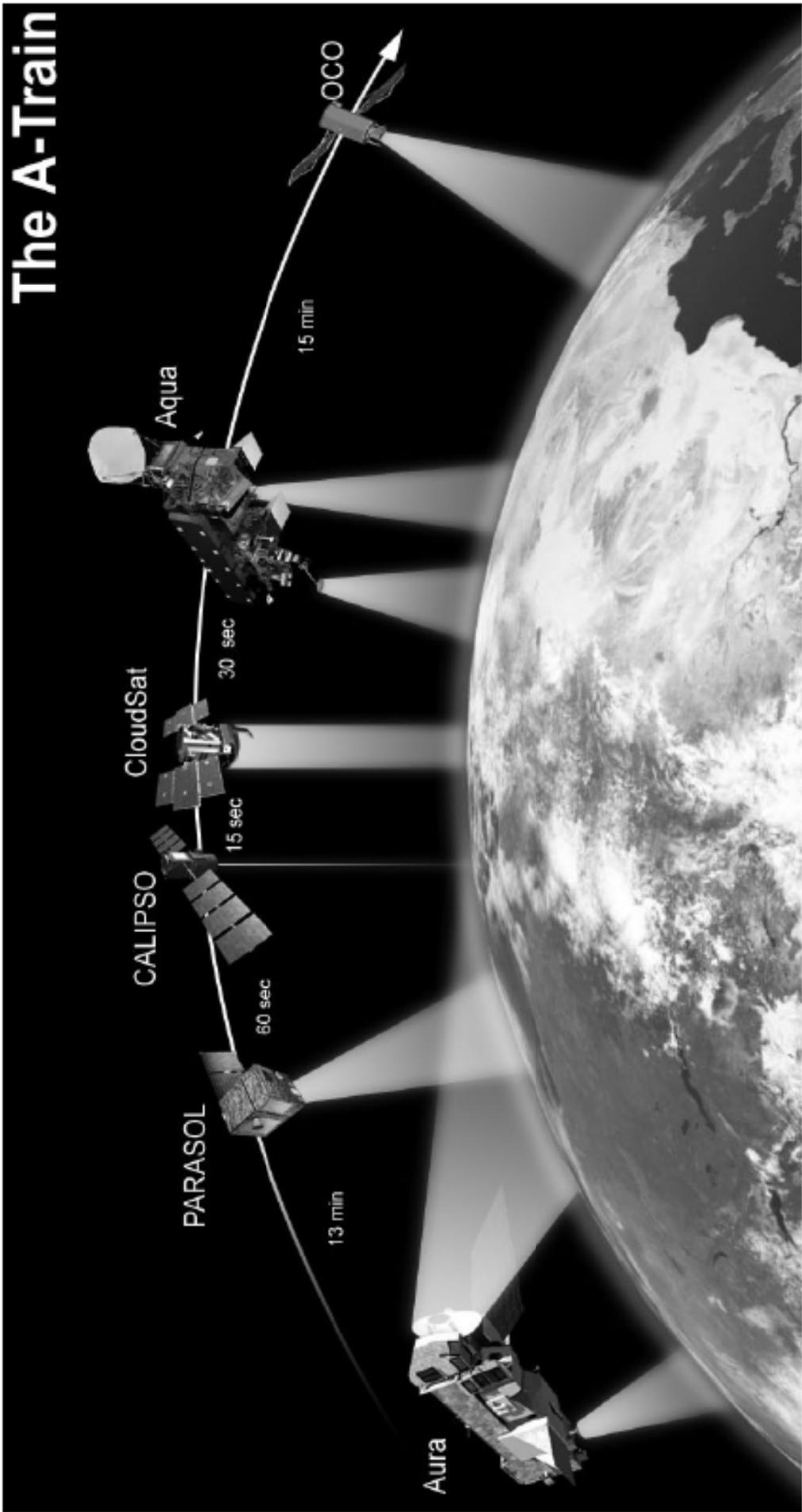
1991: Earth Science Enterprise

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 II
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	
Total Solar Irradiance	ACRIM III, TIM	
SOLAR RADIATION	Solar Spectral Irradiance	SIM, SOLSTICE

24 EOS Measurements



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

un esempio di interazione tra sottosistemi: El nino

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

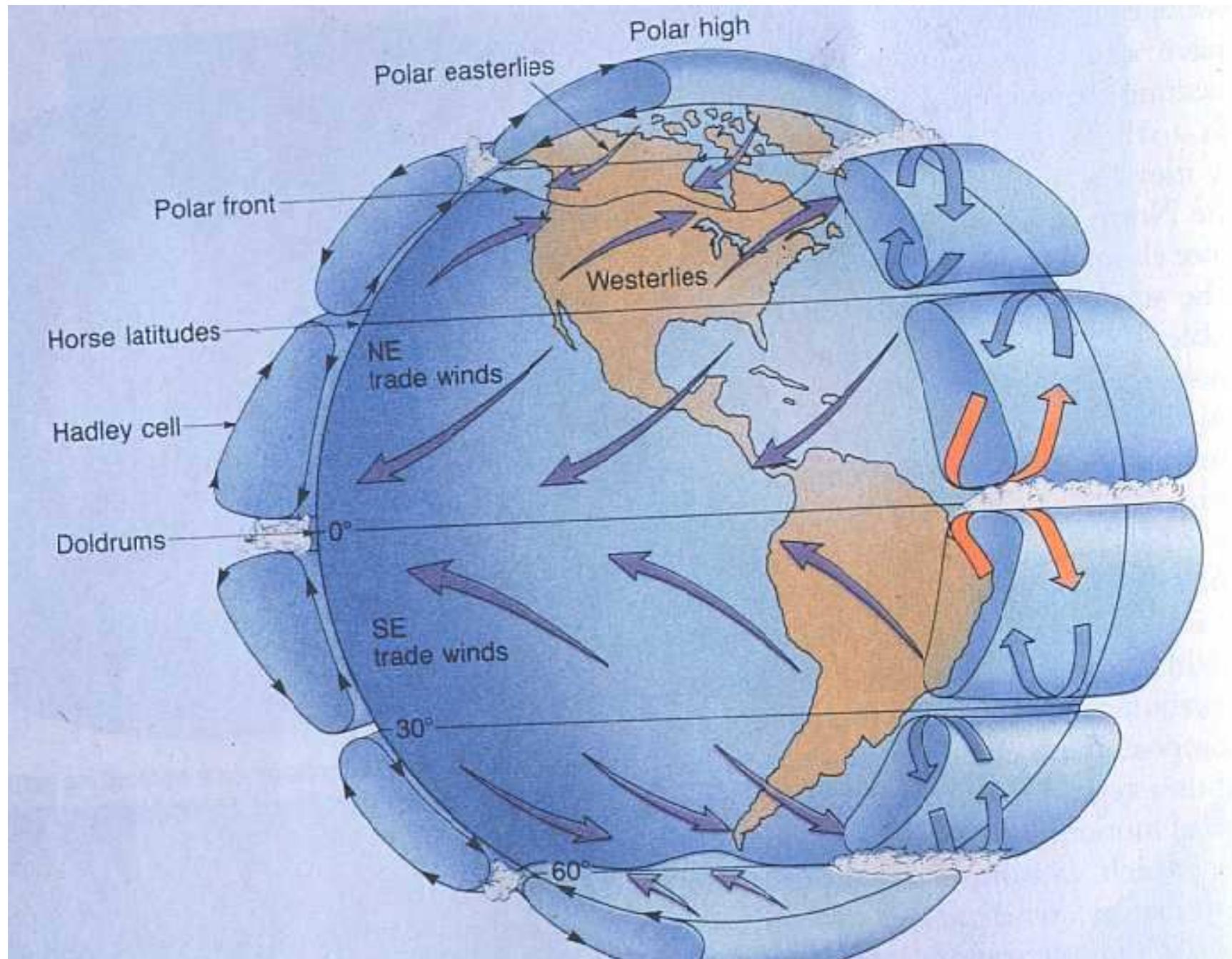


feed back positivo



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

circolazione globale



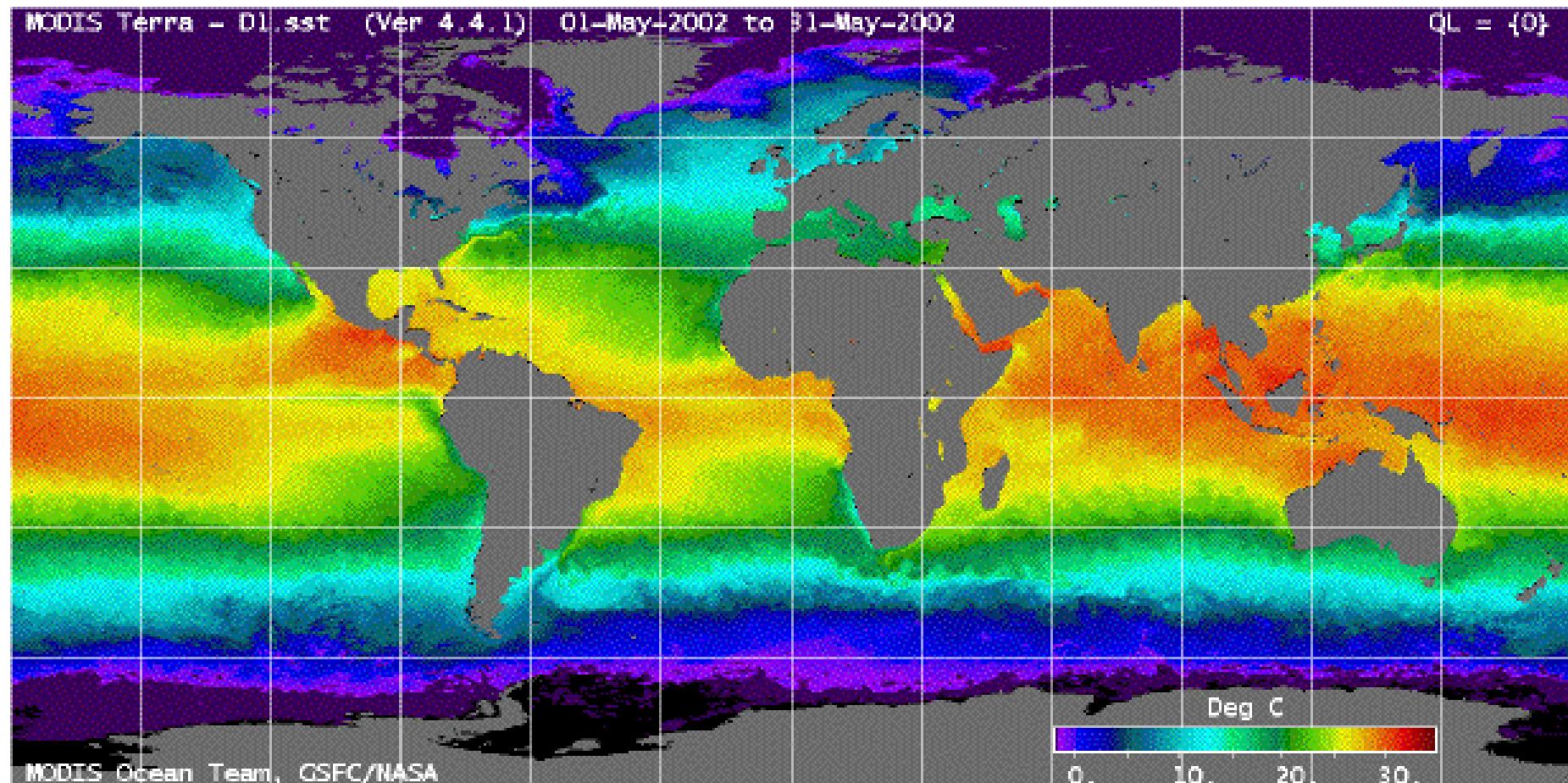
El Niño

Interazione Atmosfera/Oceano

- l'atmosfera influenza l'oceano principalmente a causa dello stress del vento superficiale;

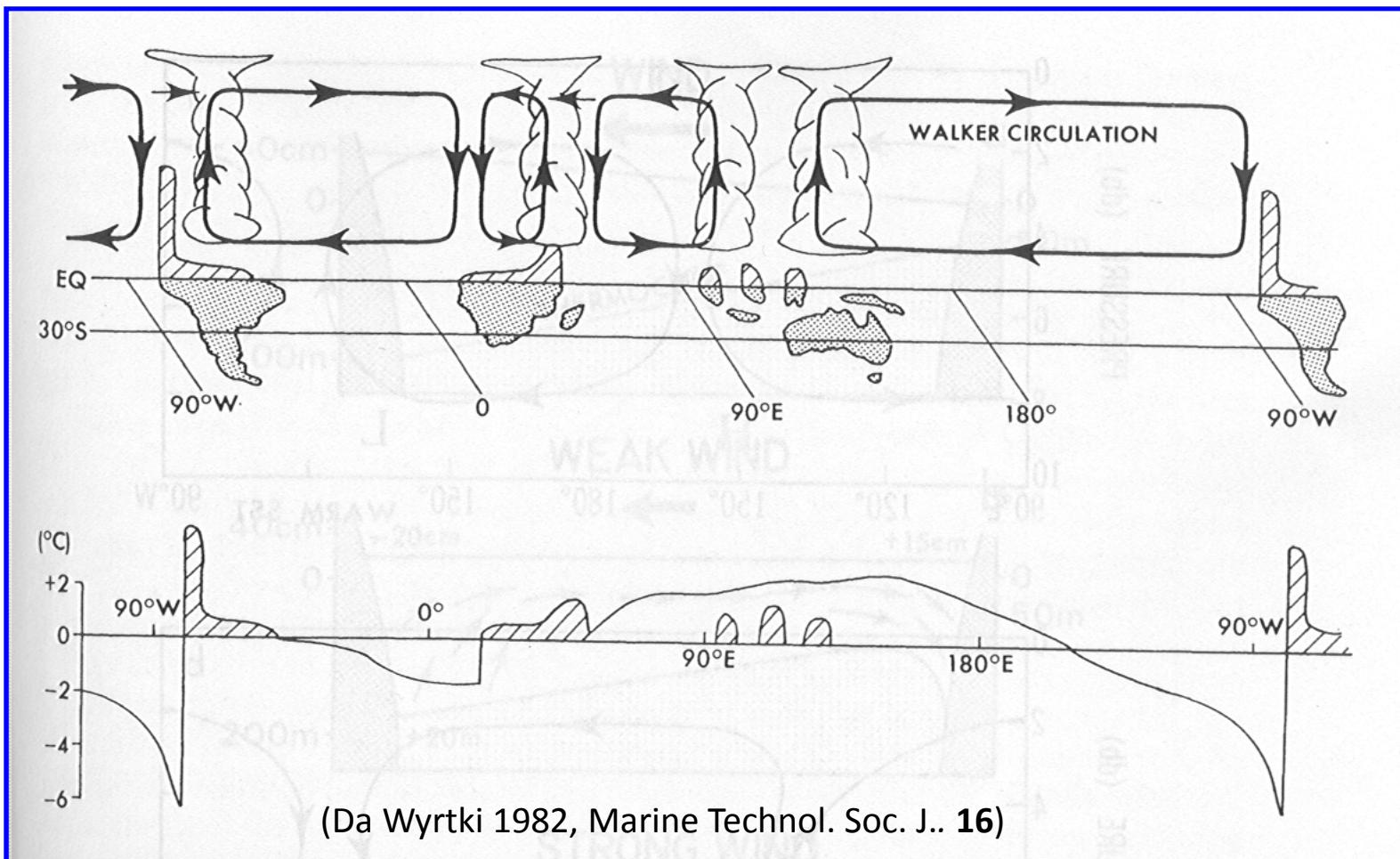
- l'oceano influenza l'atmosfera principalmente a causa di anomalie nella temperatura della sua superficie (*Sea Surface Temperature SST*) e del conseguente flusso verticale di calore sensibile e latente.

temperatura media oceanica



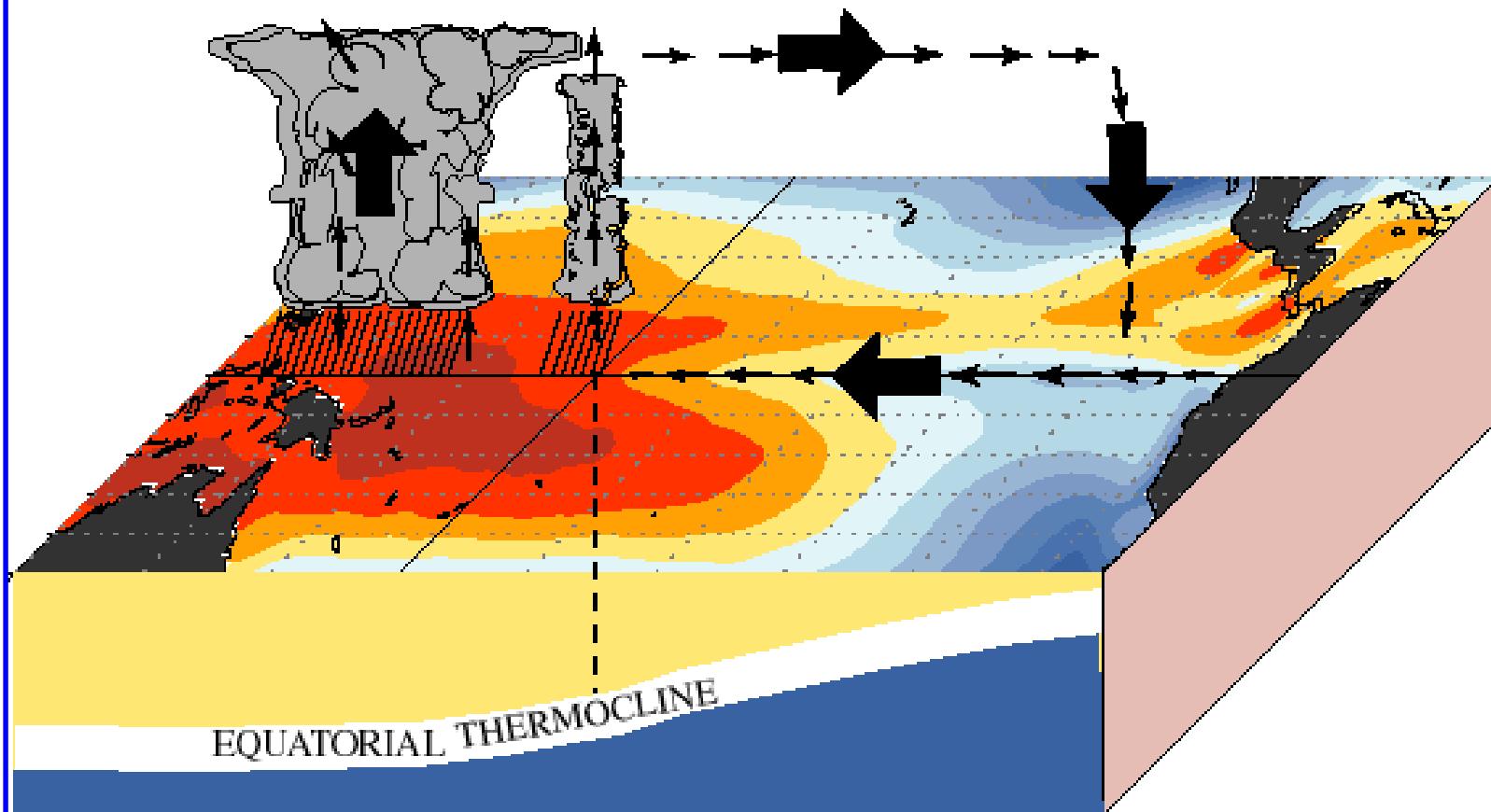
Circolazione Atmosferica Equatoriale

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.



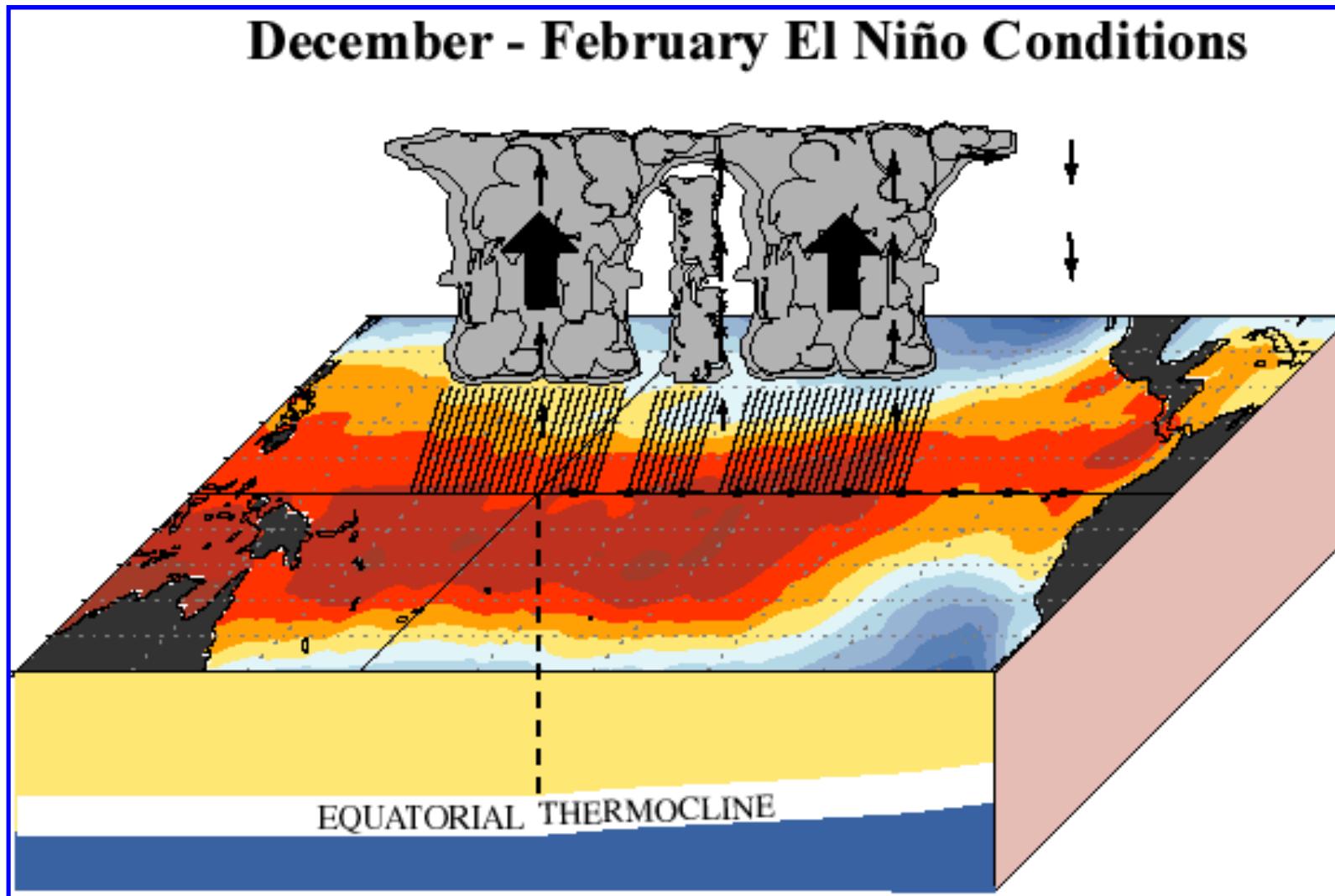
Circolazione Atmosferica Equatoriale

December - February Normal Conditions



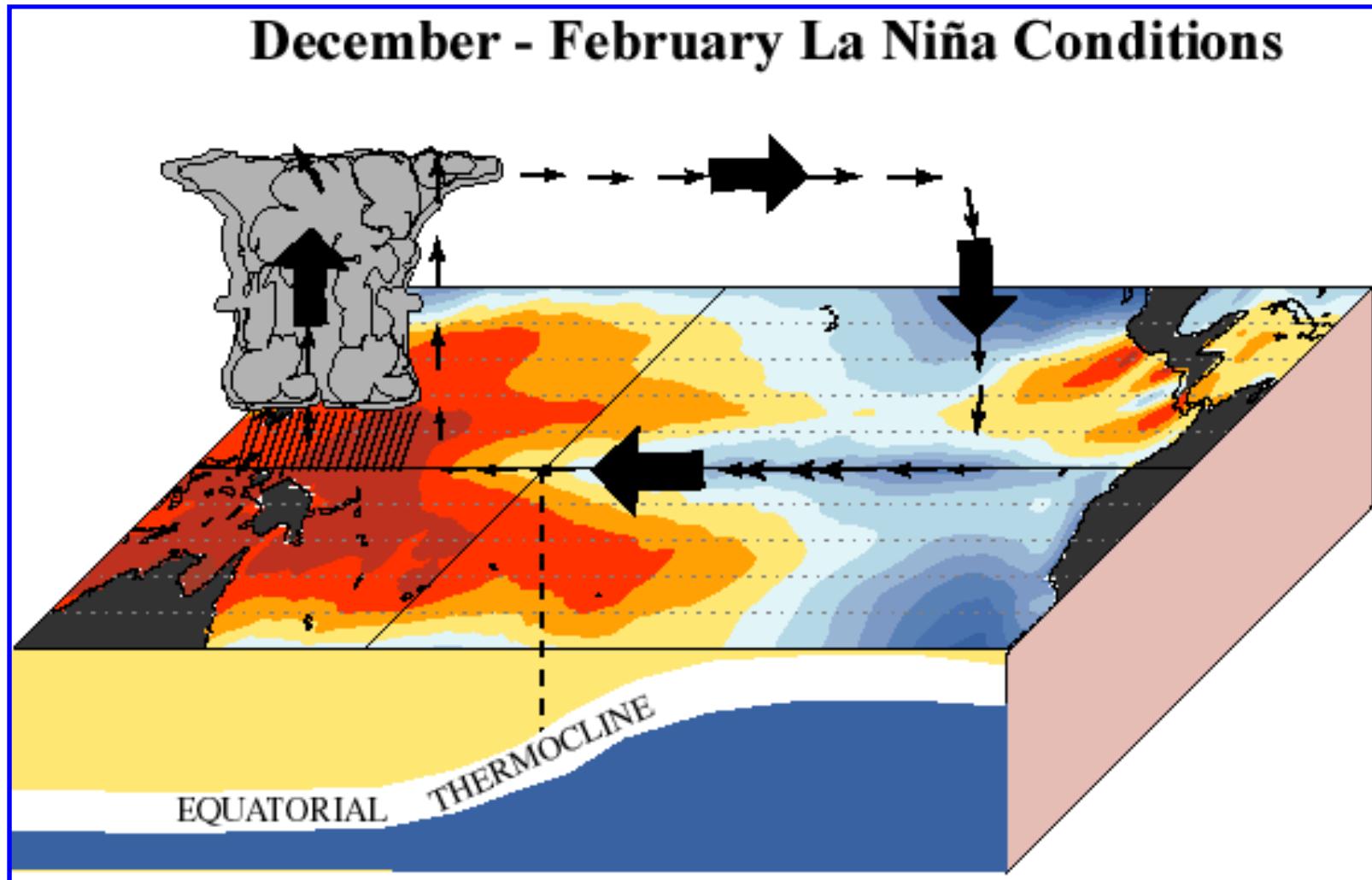
Circolazione Atmosferica Equatoriale

Condizione ENSO – El Niño



Circolazione Atmosferica Equatoriale

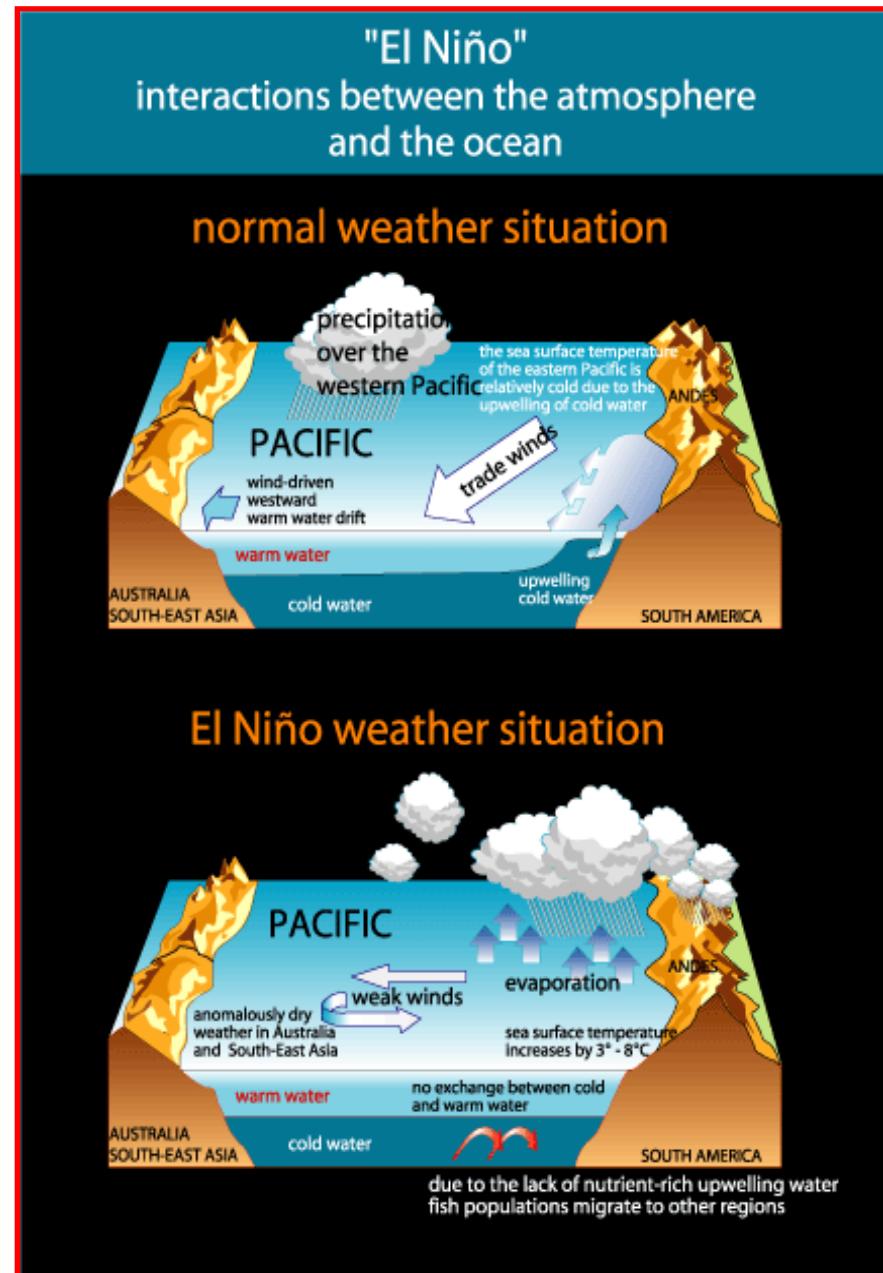
Condizione anti ENSO – La Niña

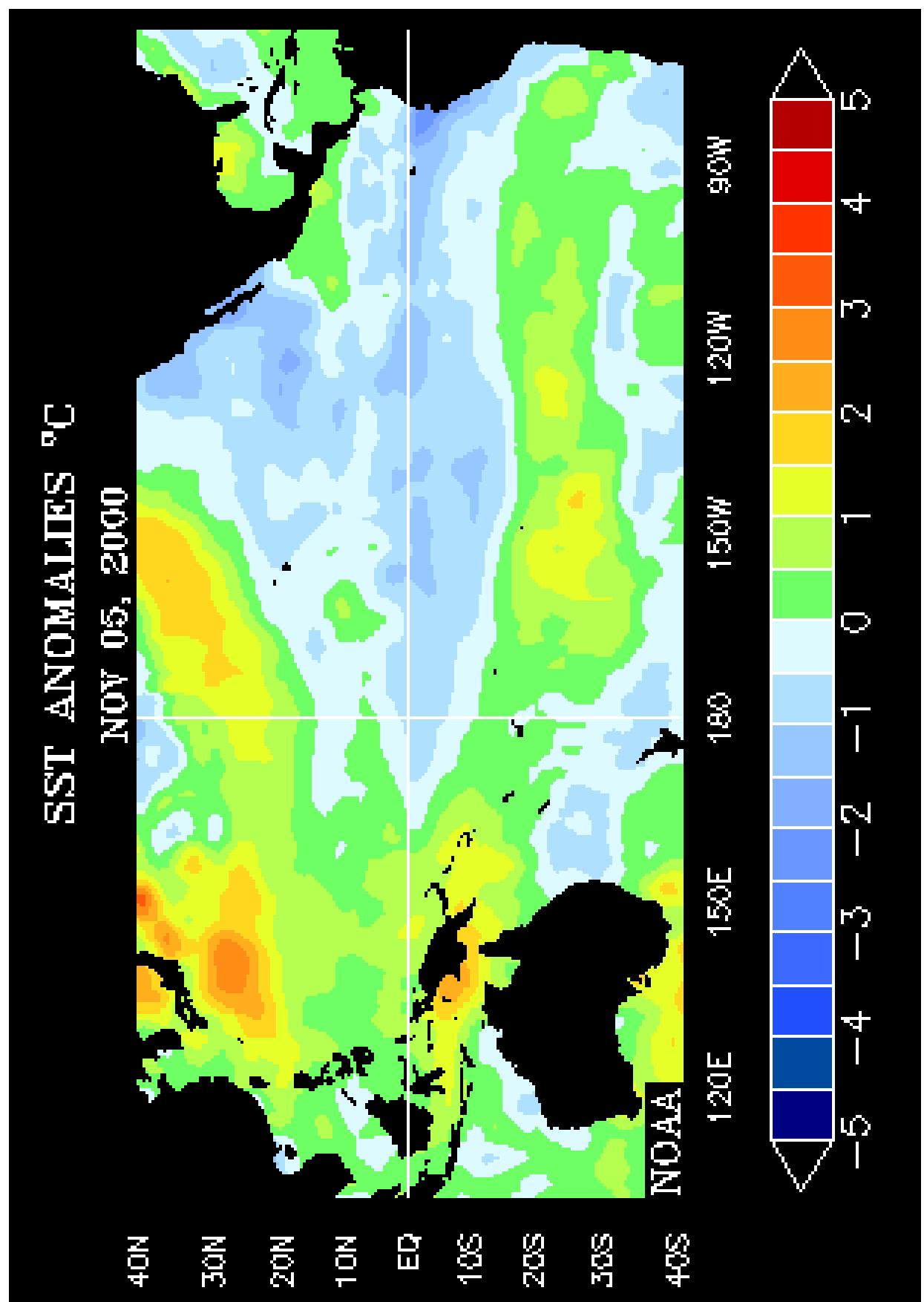


Circolazione Atmosferica Equatoriale - Condizione ENSO

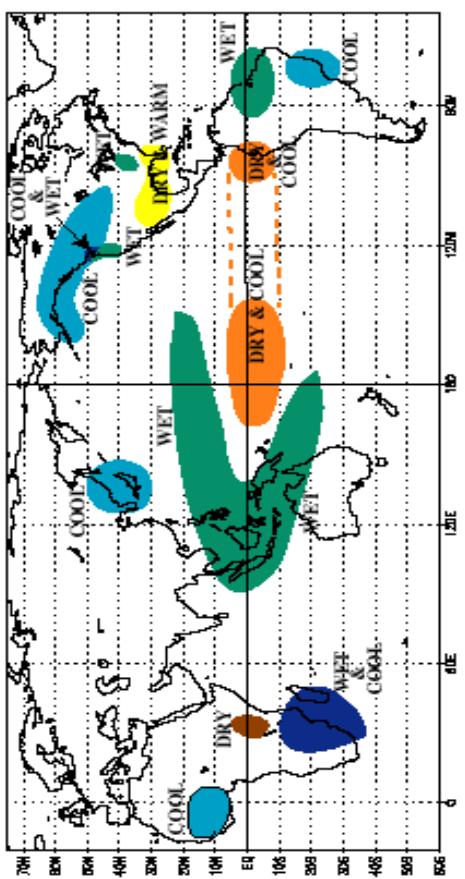
Negli anni “normali” il forte gradiente di temperatura superficiale (freddo a est caldo a ovest) nel Pacifico equatoriale è accompagnato da **forti venti alisei** che spingono le acque superficiali verso ovest permettendo a quelle più fredde e profonde di risalire in superficie. La **risalita delle acque**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

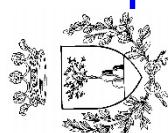
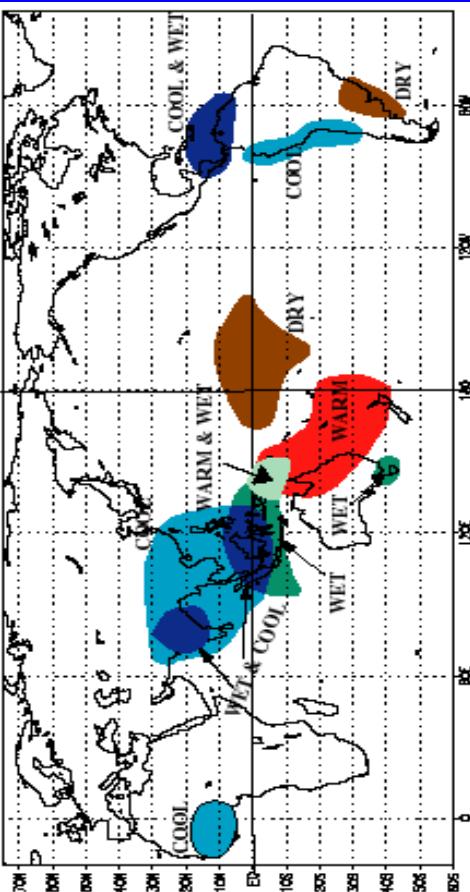




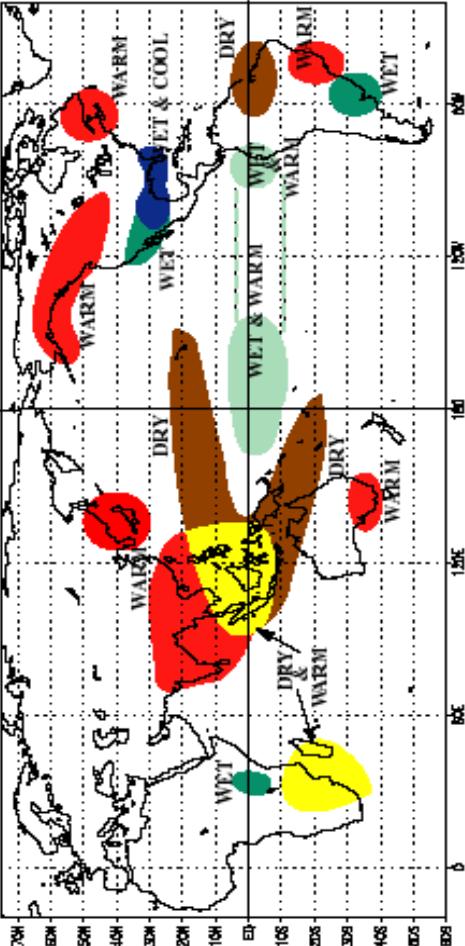
COLDEPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



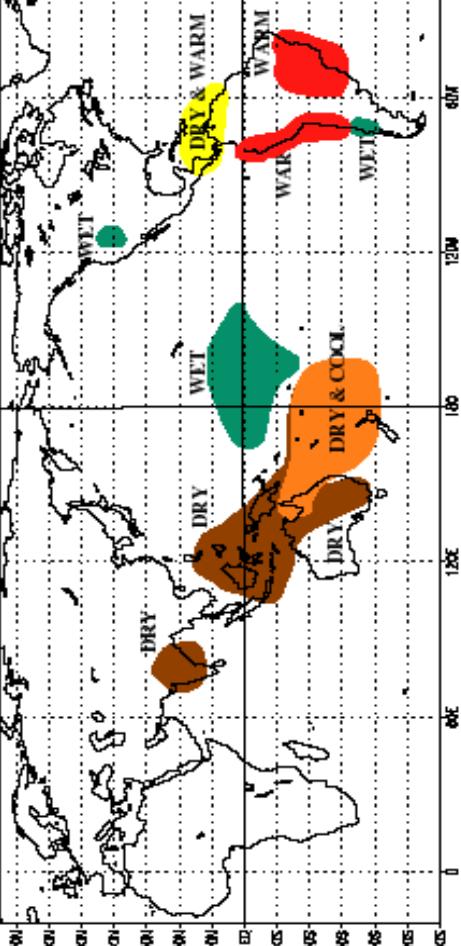
COLDEPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST



WARM EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY



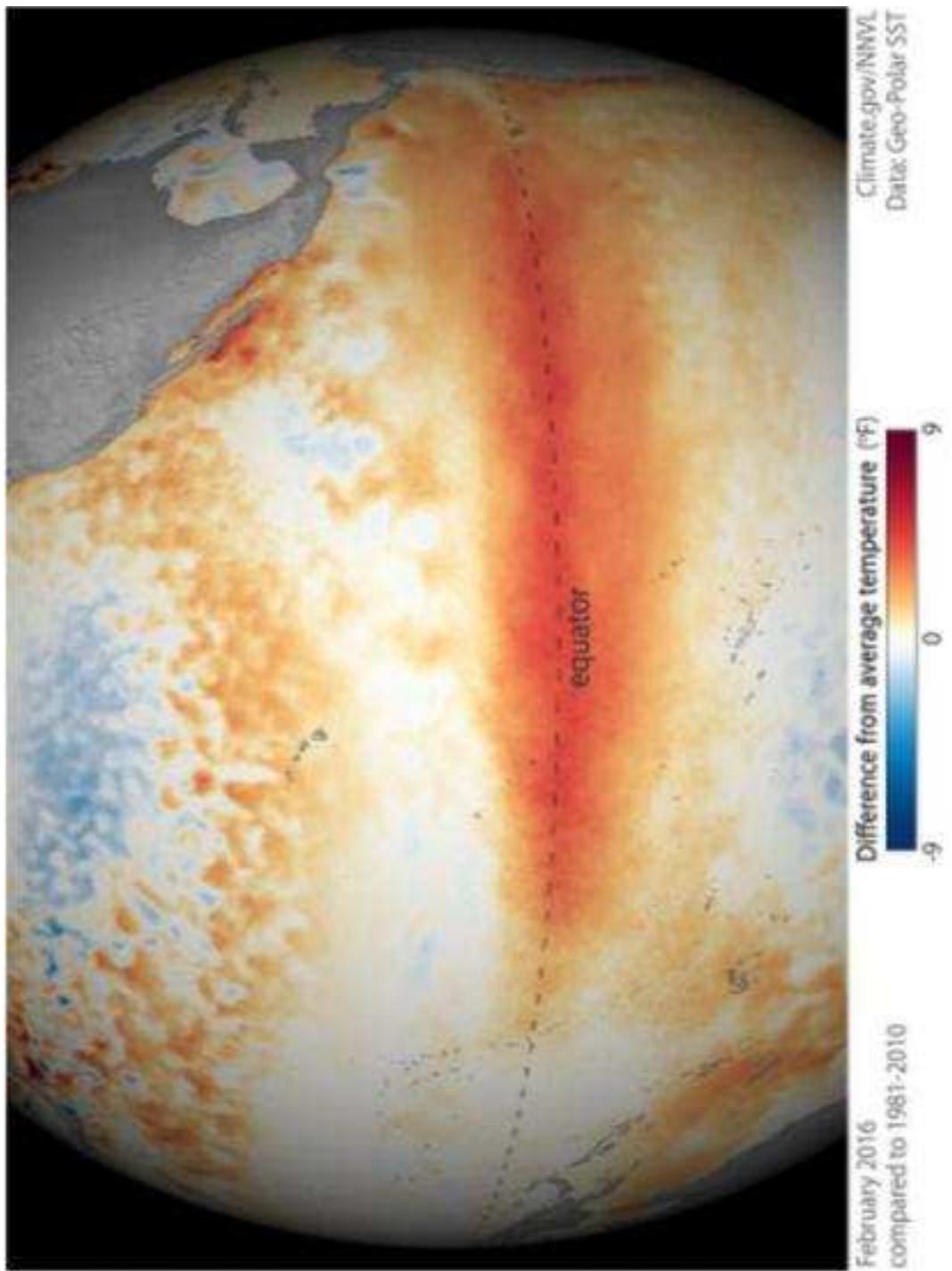
WARM EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST



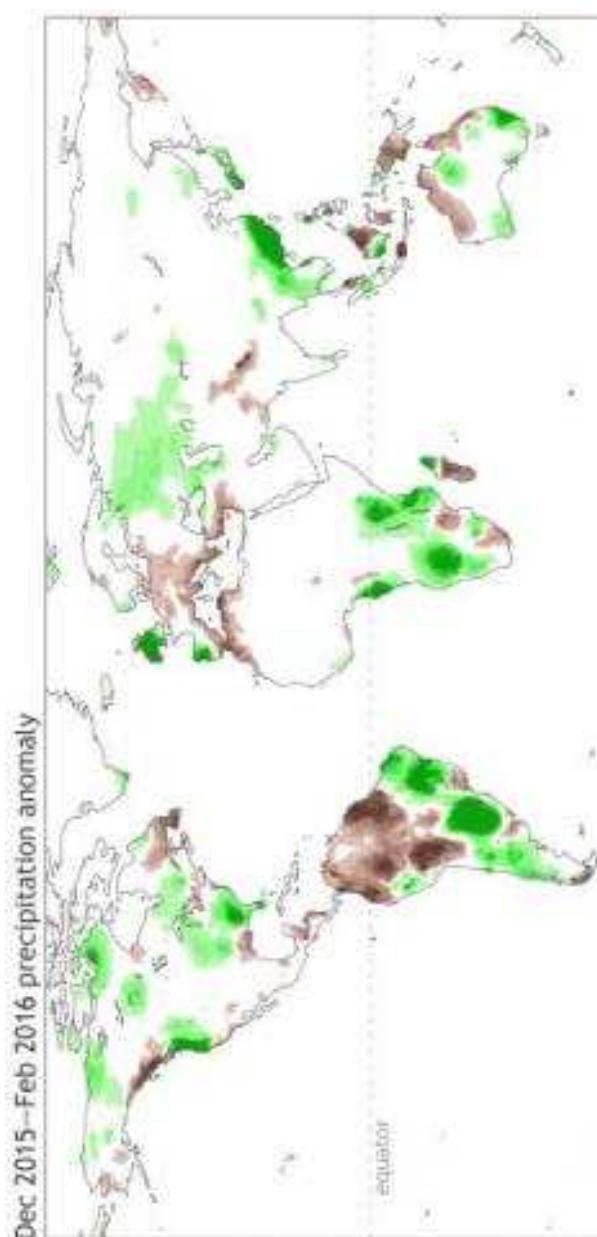
Climate Prediction Center
NCEP



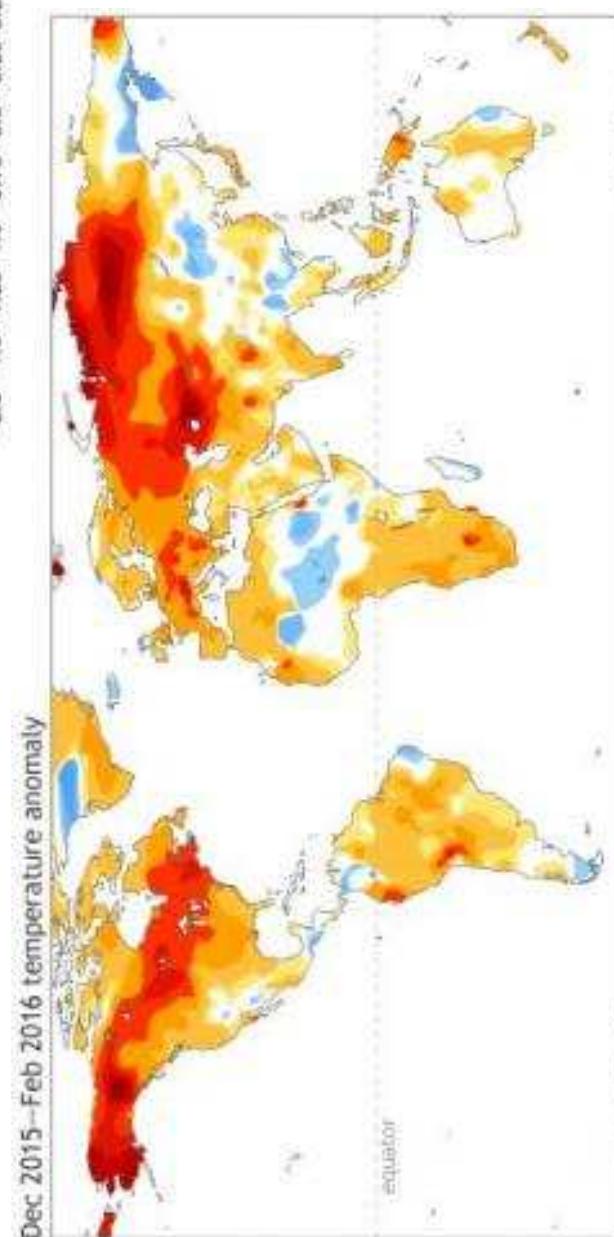
Climate Prediction Center
NCEP



NOAA Climate.gov Data: CPC



NOAA Climate.gov Data: CPC



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

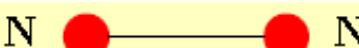
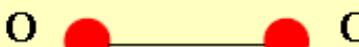
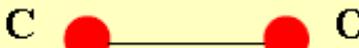
IMMISSIONE DI GAS IN ATMOSFERA

IMMISSIONE DI AEROSOL IN ATMOSFERA

SFRUTTAMENTO DEL TERRENO

forzanti - GHG I

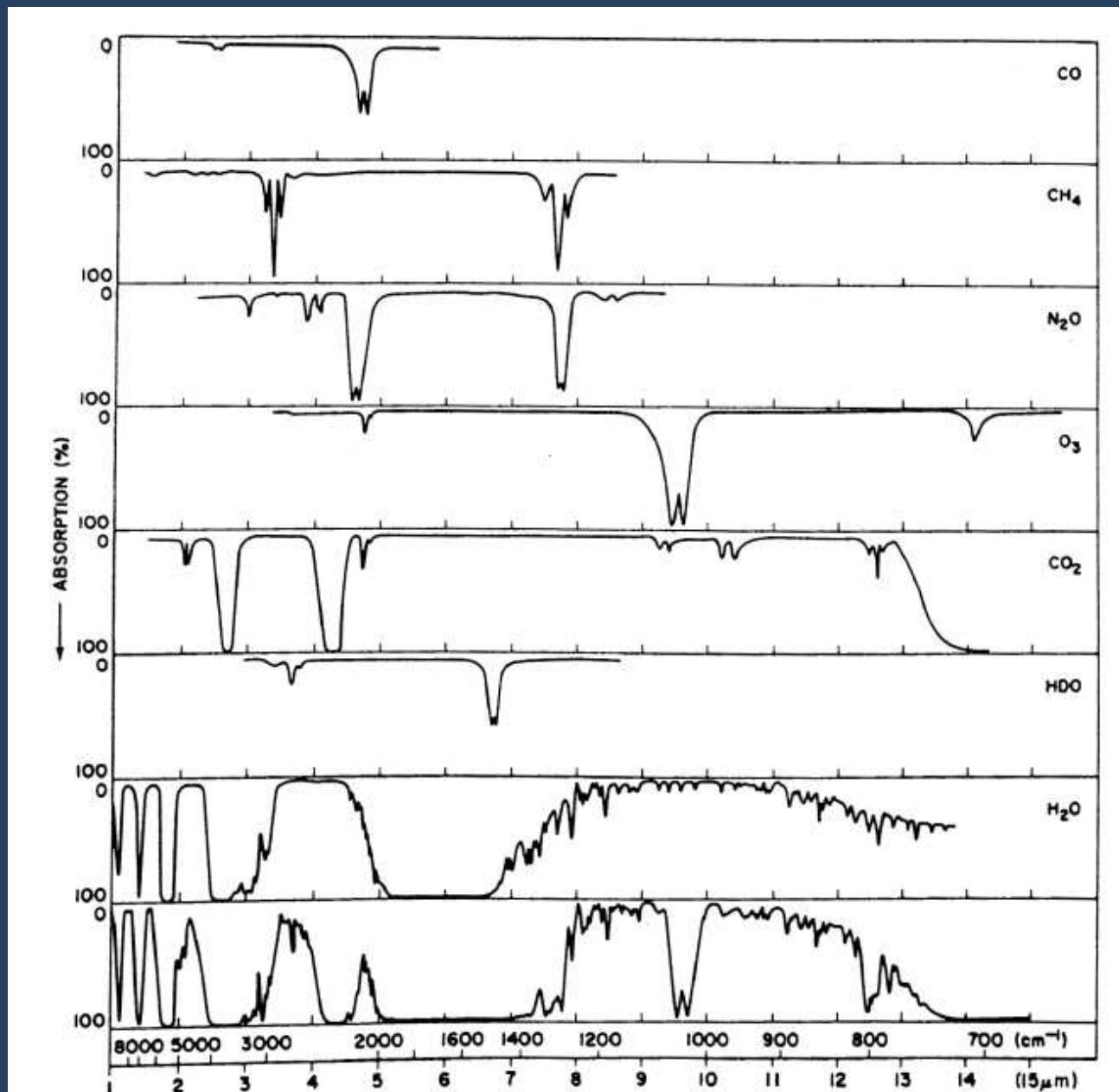
interazione tra radiazione e costituenti atmosferici

Molecule	Structure	Permanent dipole moment	May acquire dipole moment
N_2		No	No
O_2		No	No
CO		Yes	Yes
CO_2		No	Yes (in two vibrational modes)
N_2O		Yes	Yes
H_2O		Yes	Yes
O_3		Yes	Yes
CH_4		No	Yes (in two vibrational modes)

Peixoto and Oort (1998)

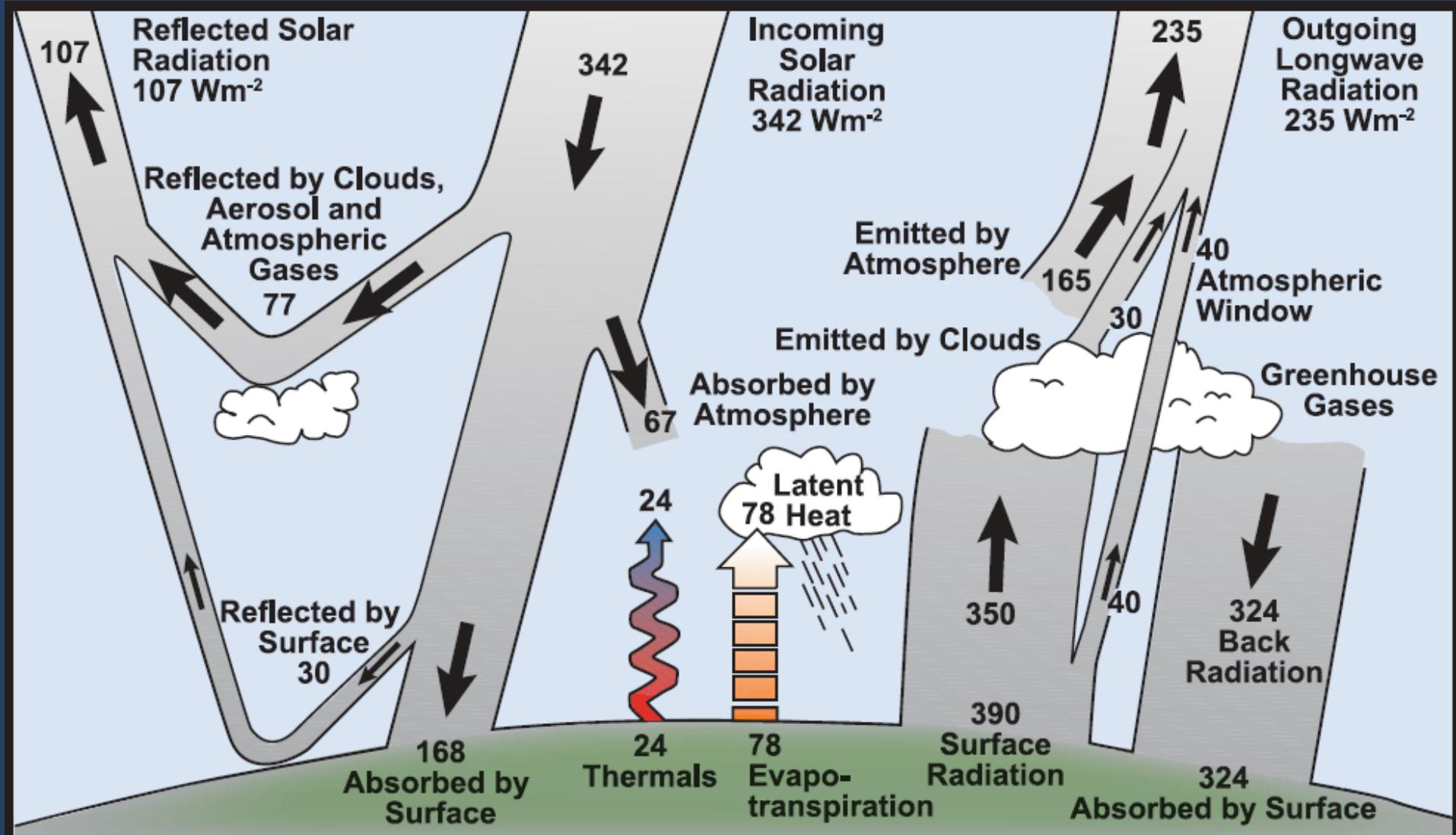
forzanti - GHG II

spettri di assorbimento dei gas atmosferici



forzanti - GHG III

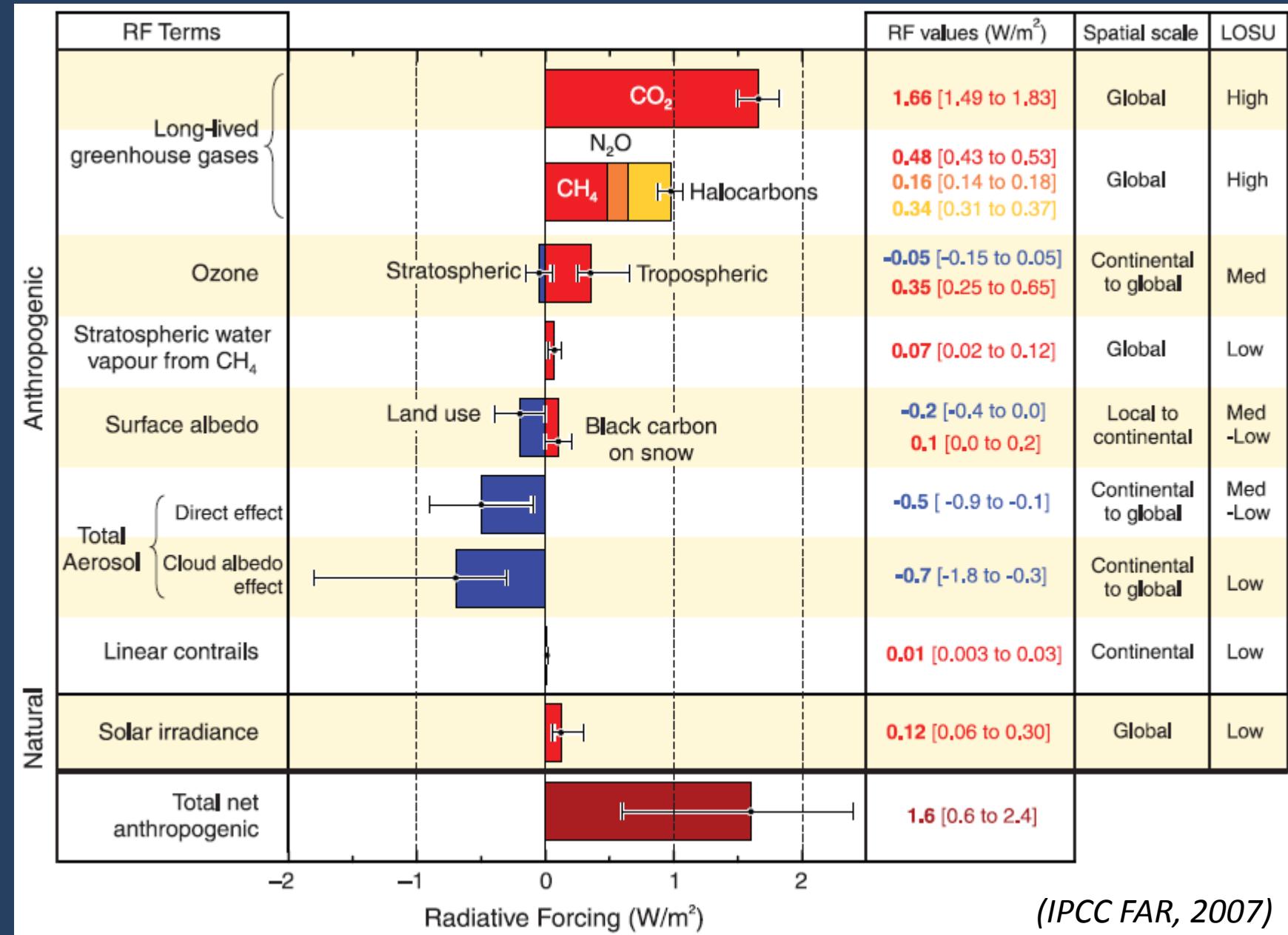
bilancio energetico terrestre: flussi globali medi annui (Wm^{-2})



Kiehl and Trenberth (1997)

forzanti - GHG V

radiative forcing & LOSU



forzanti - GHG VII

GWP per alcuni gas

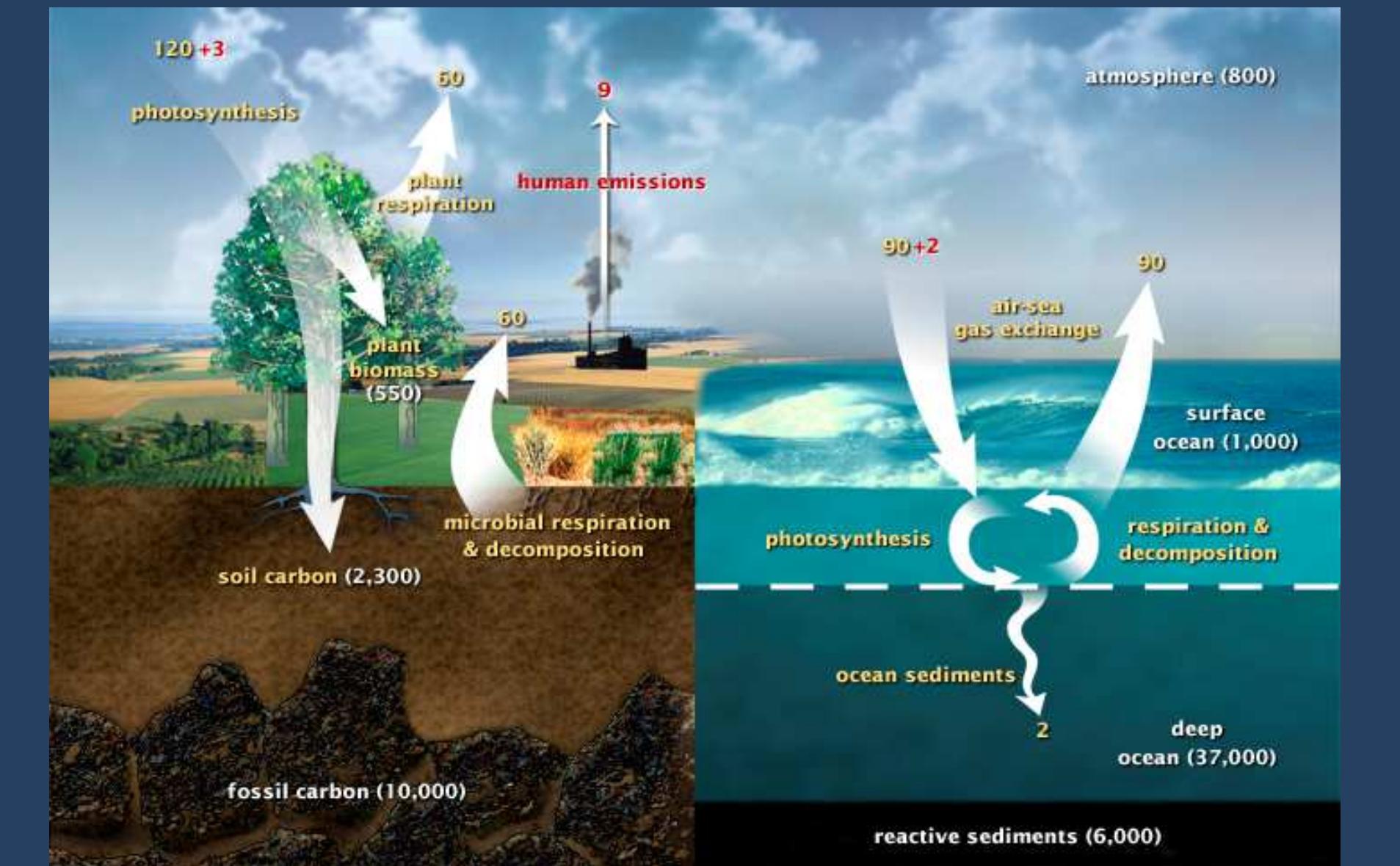
(IPCC FAR, 2007)

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR‡ (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	5.14x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Methane ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₂ FOClF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Carbon tetrachloride	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClFCF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220

forzanti - GHG VIII

ciclo veloce del carbonio

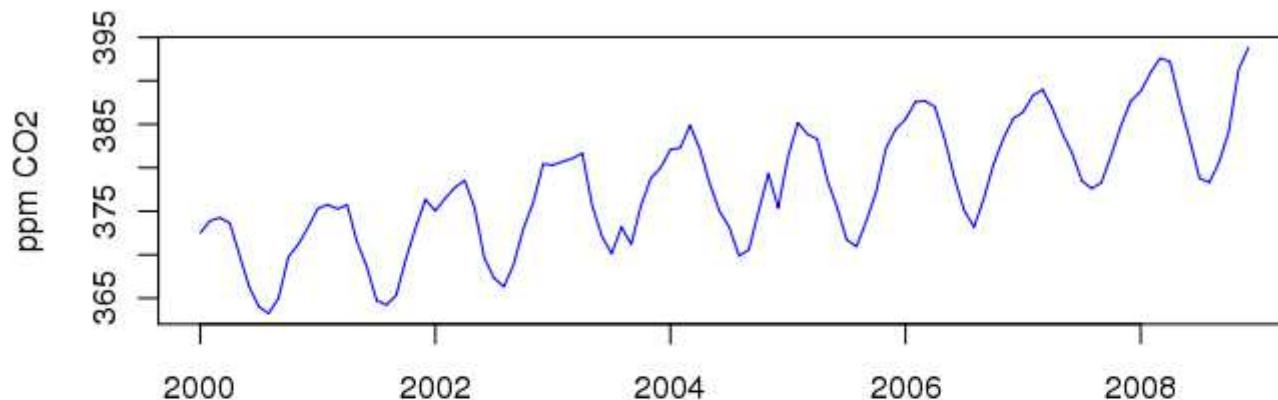
flussi naturali (GtC/anno) flussi antropici (GtC/anno) riserve (GtC)



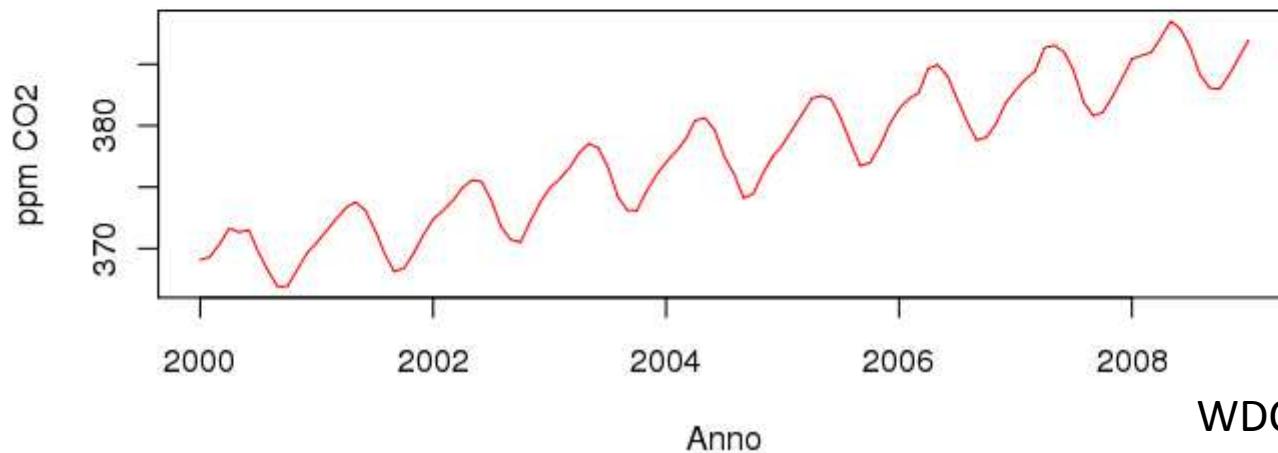
forzanti - GHG XI

misure di contenuto di CO₂

CO2 - Monte Cimone



CO2 - Mauna Loa



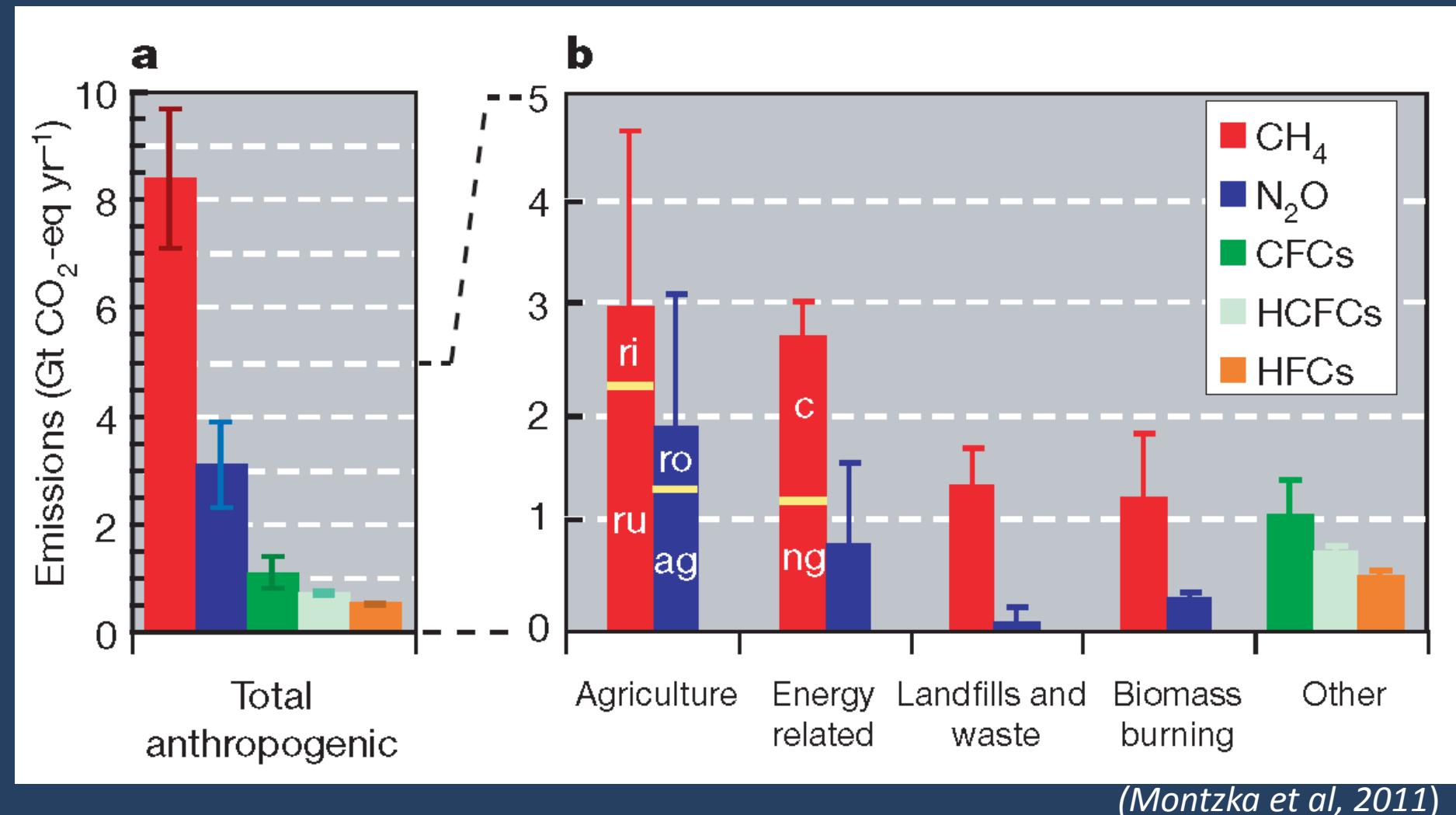
Anno

WDCGG

forzanti - GHG XII

meccanismi di produzione e distruzione di altri GHG

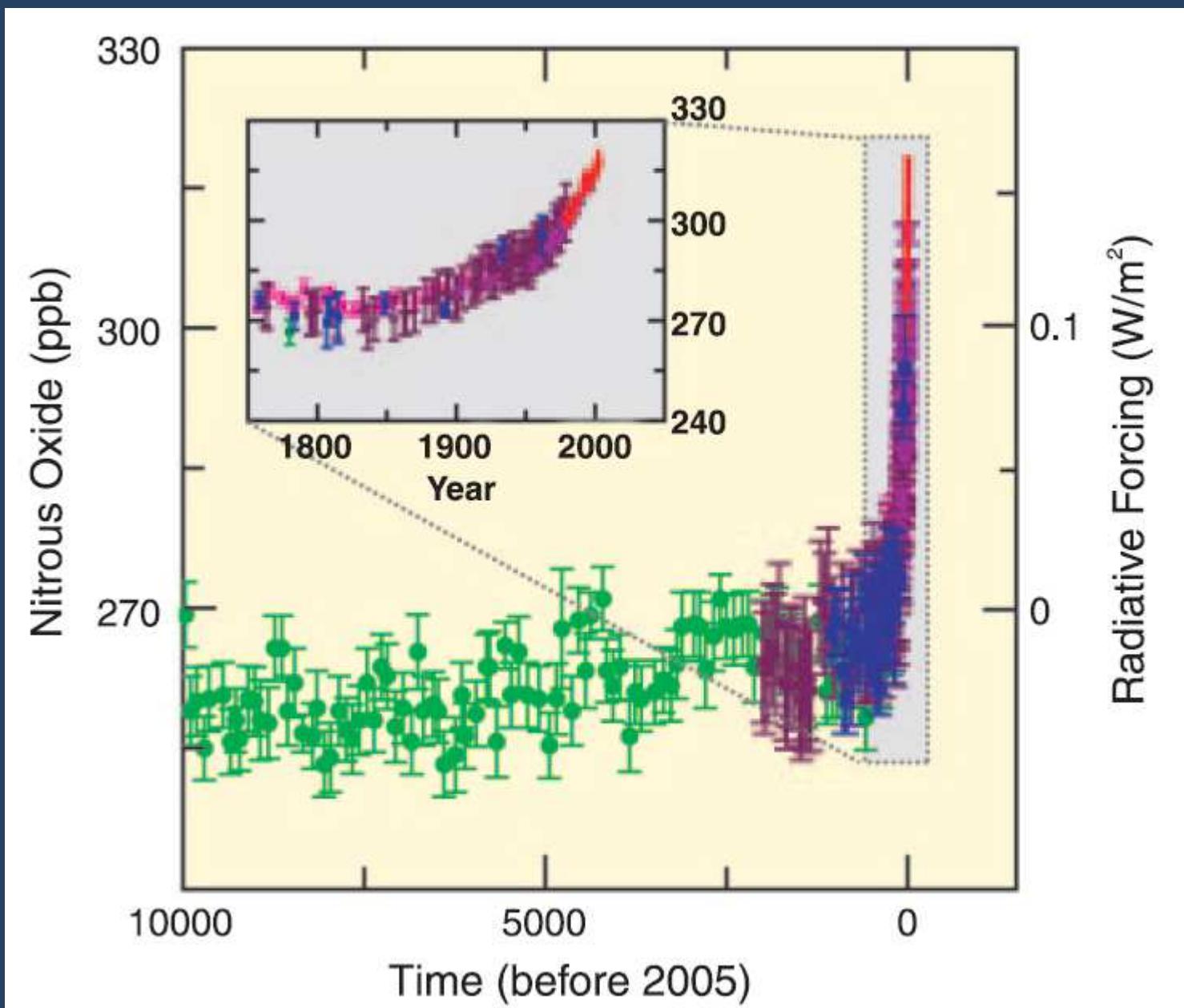
ri: coltivazione del riso; ru: ruminanti; ng: gas naturali; c: miniere
ro: run-off; ag: agricoltura



(Montzka et al, 2011)

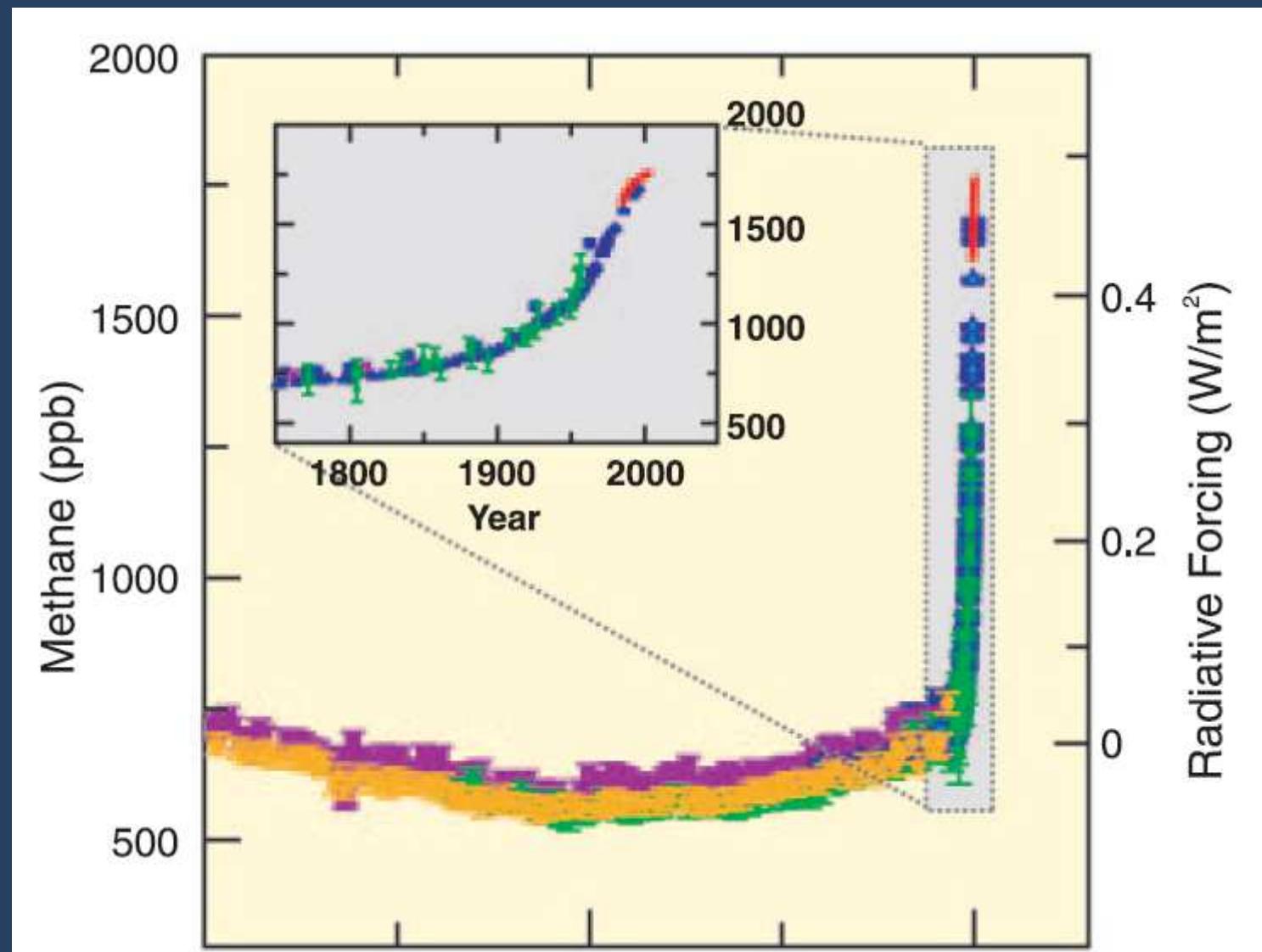
forzanti - GHG XIII

record storici (ice cores)



forzanti - GHG XIII

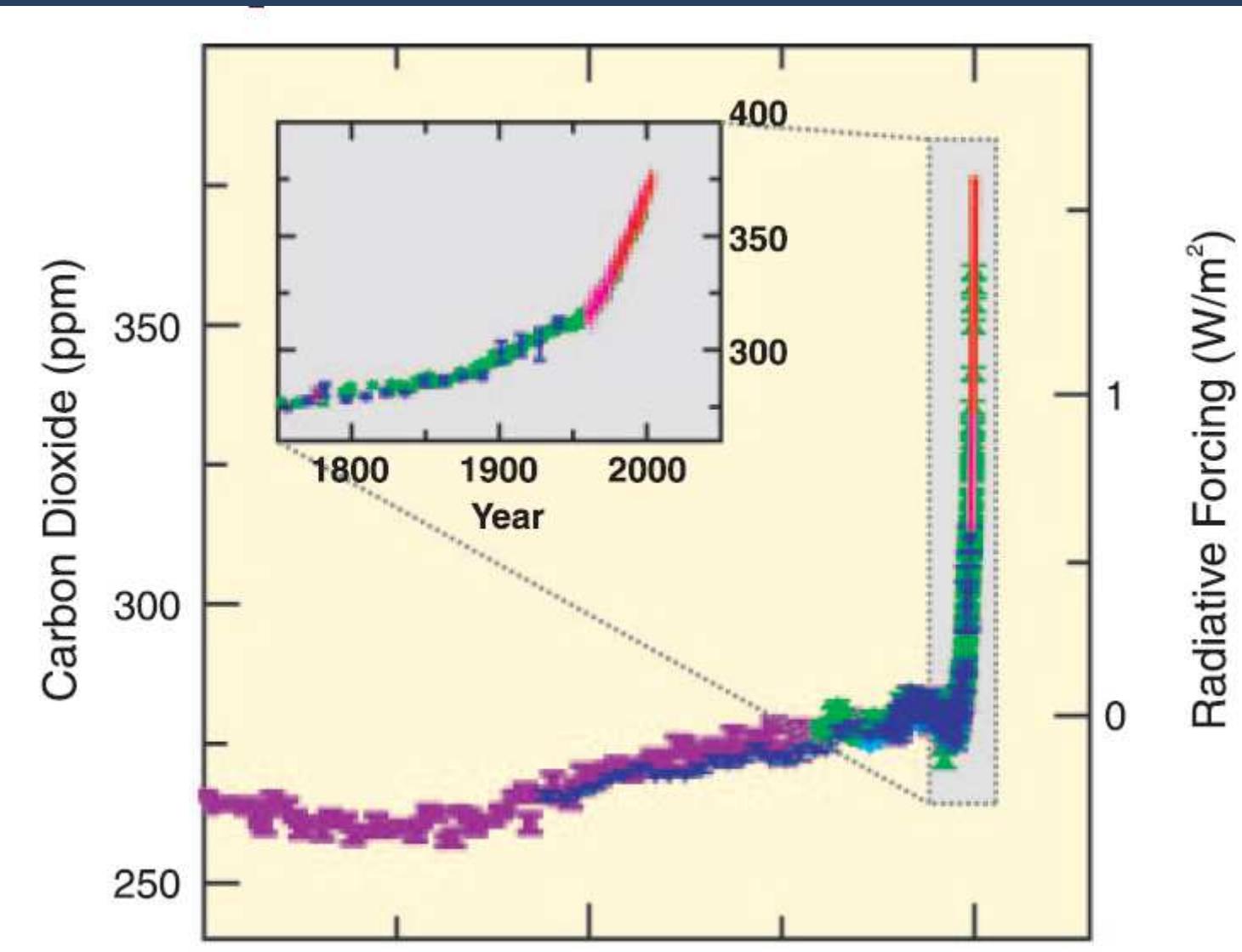
record storici (ice cores)



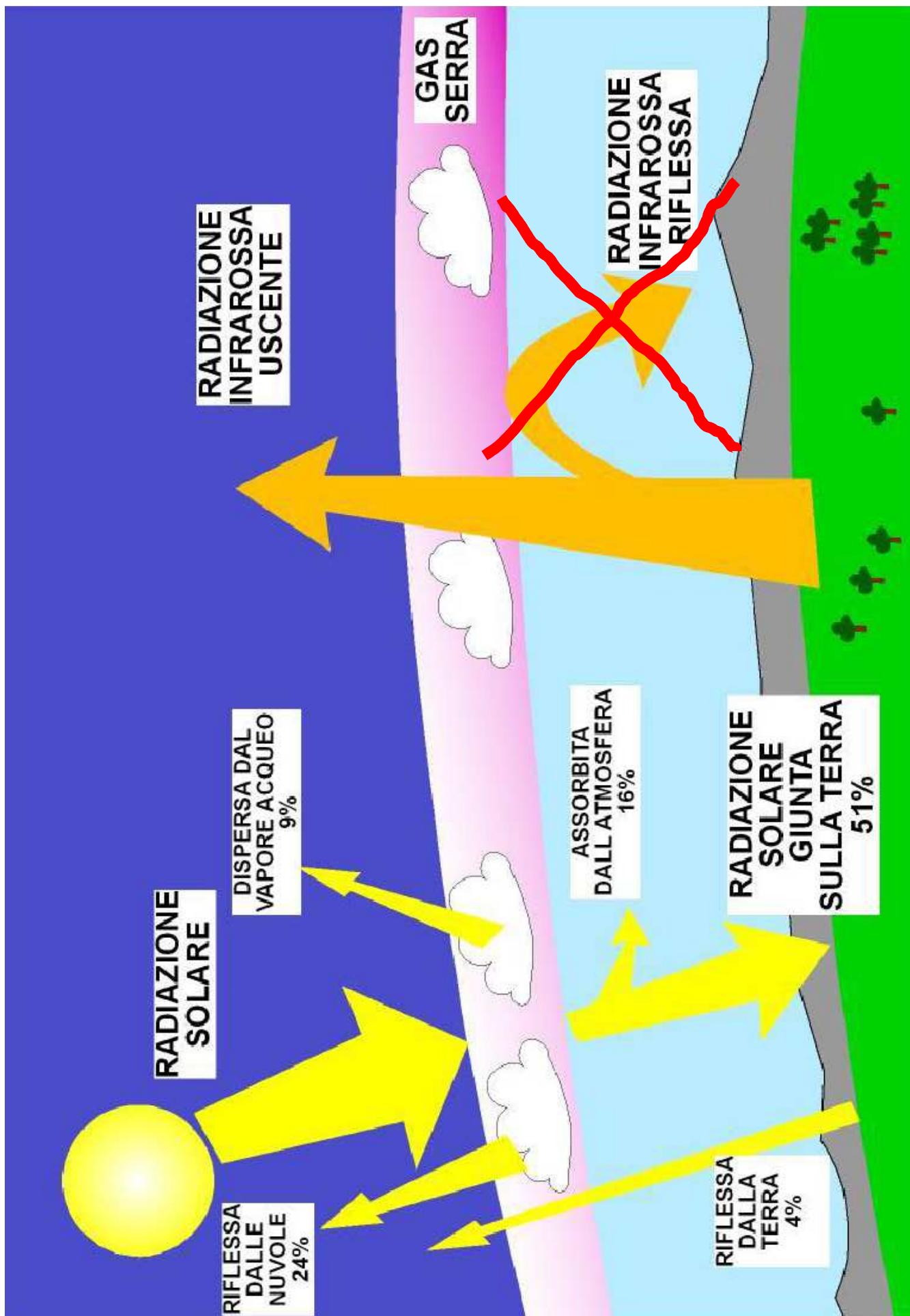
IPCC, 2007

forzanti - GHG XIII

record storici (ice cores)



IPCC, 2007



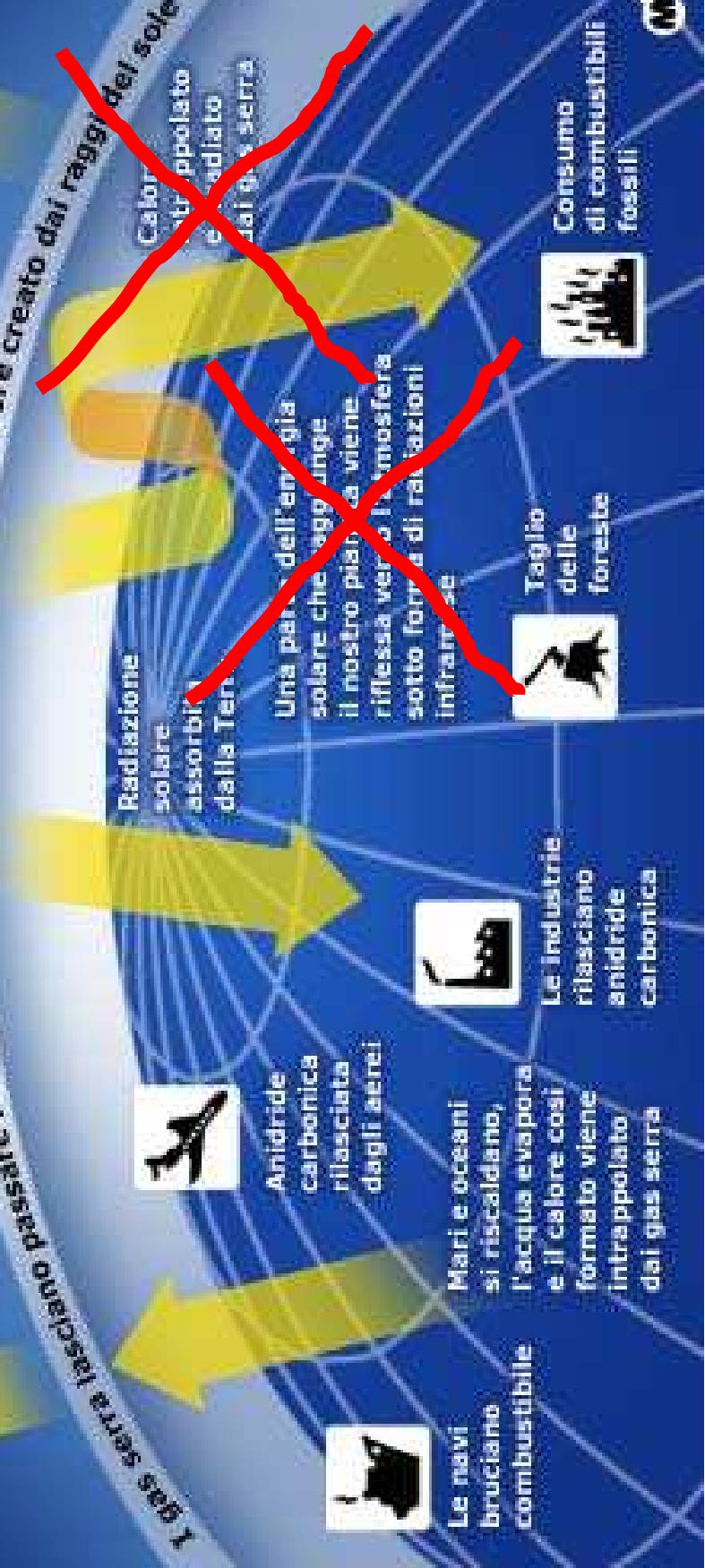
L'effetto serra

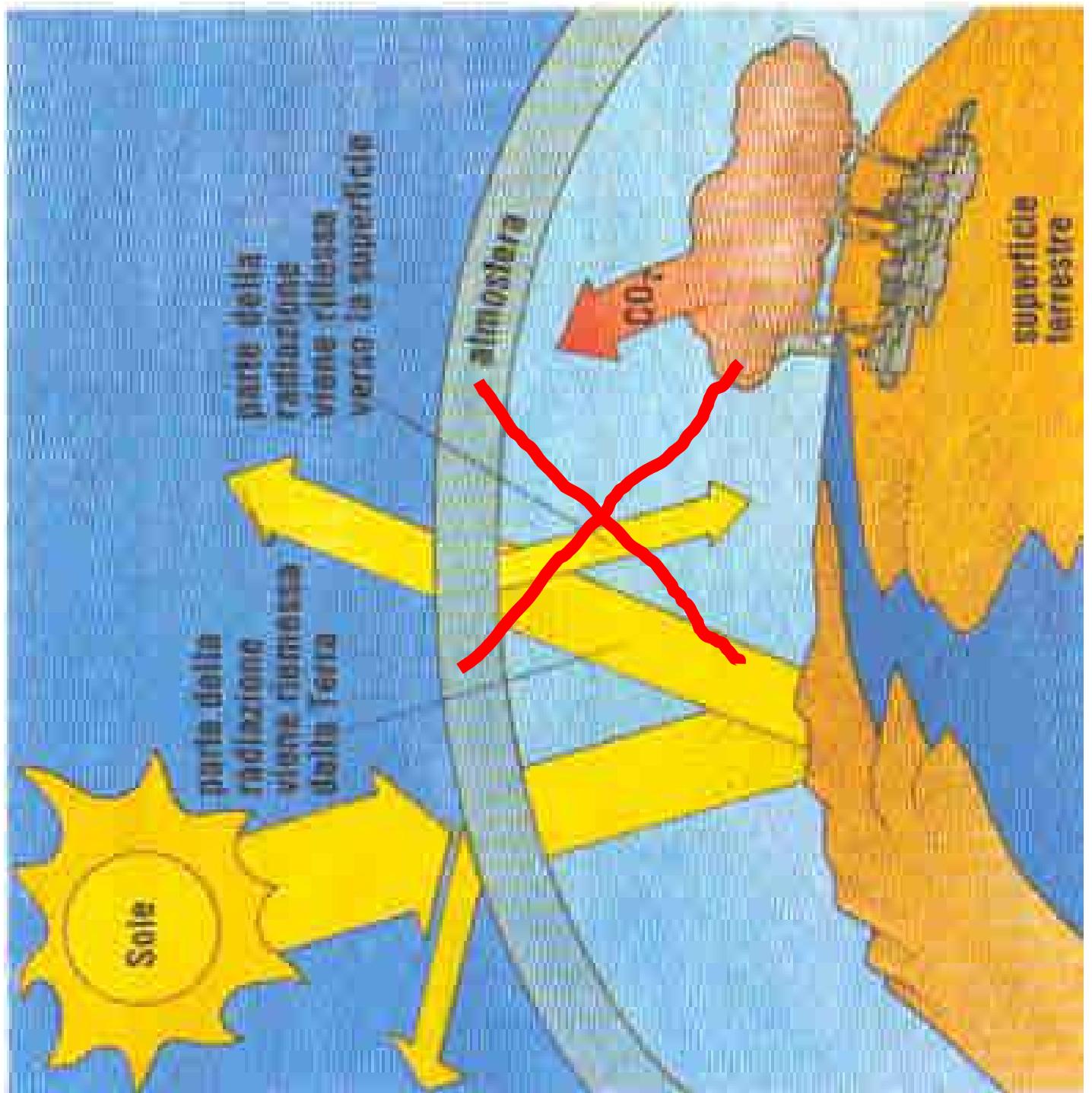
Energia Solare

Circa il 30% delle radiazioni infrarosse si diffondono nello spazio



Circa l'80% passano l'energia solare e intrappolano parte del calore creato dai raggi del sole



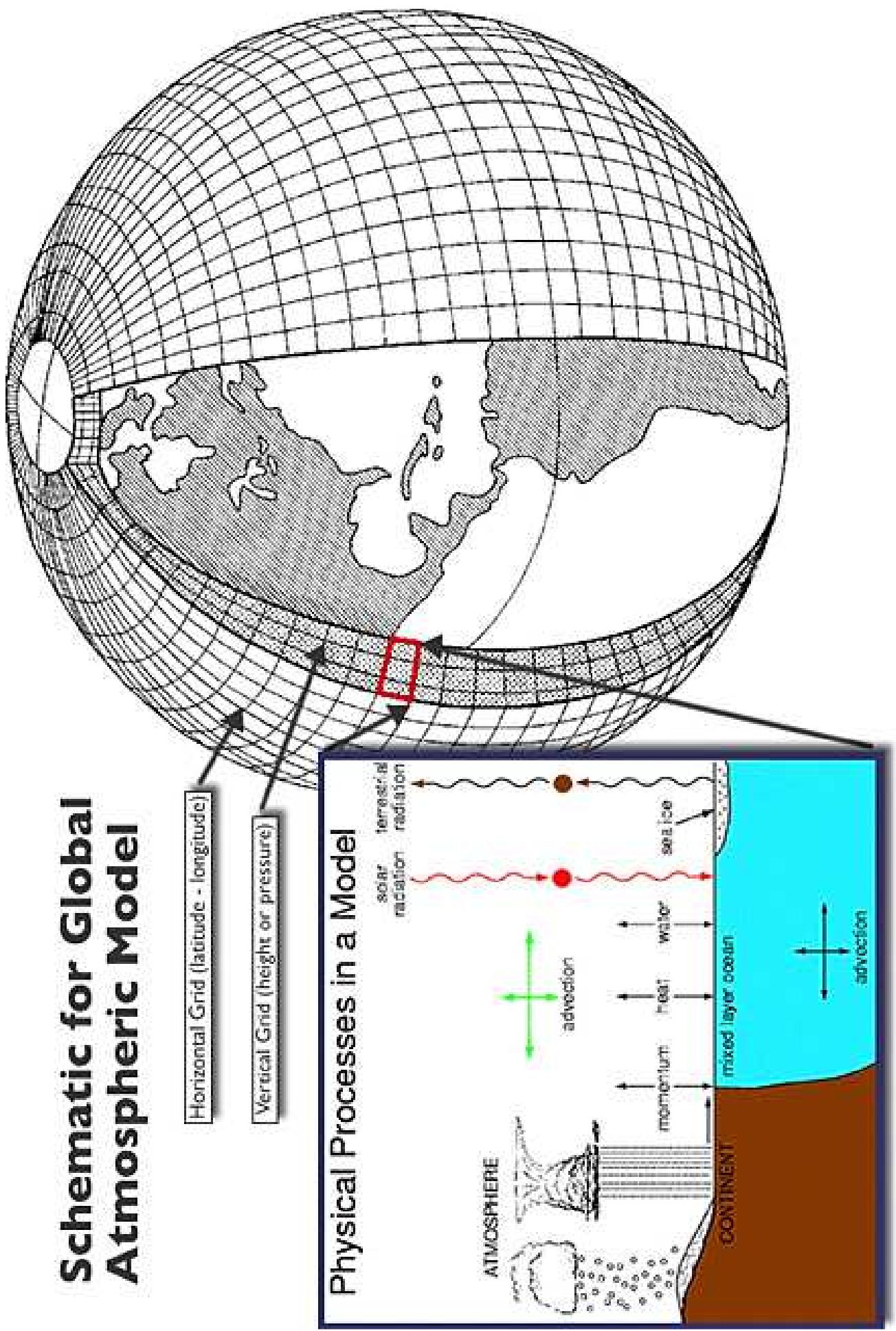




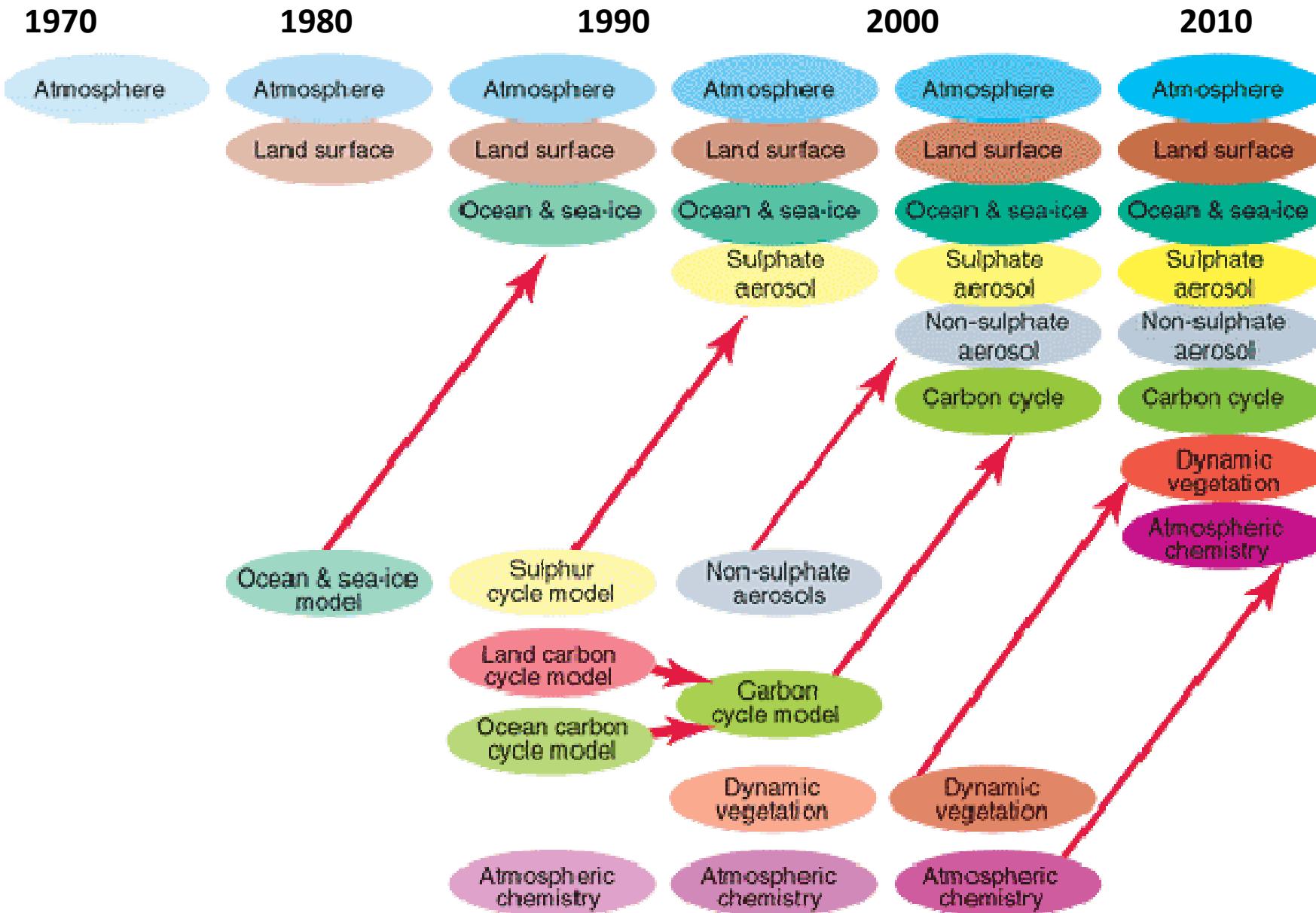
L'effetto serra ATMOSFERA



Schematic for Global Atmospheric Model

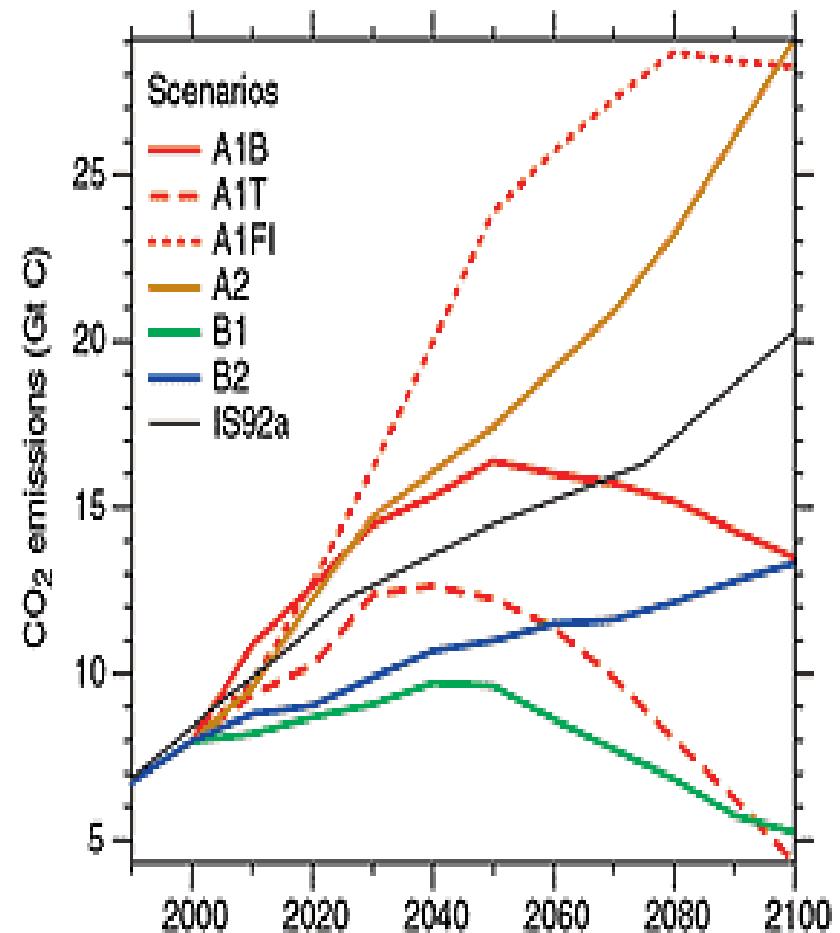


evoluzione dei modelli climatici

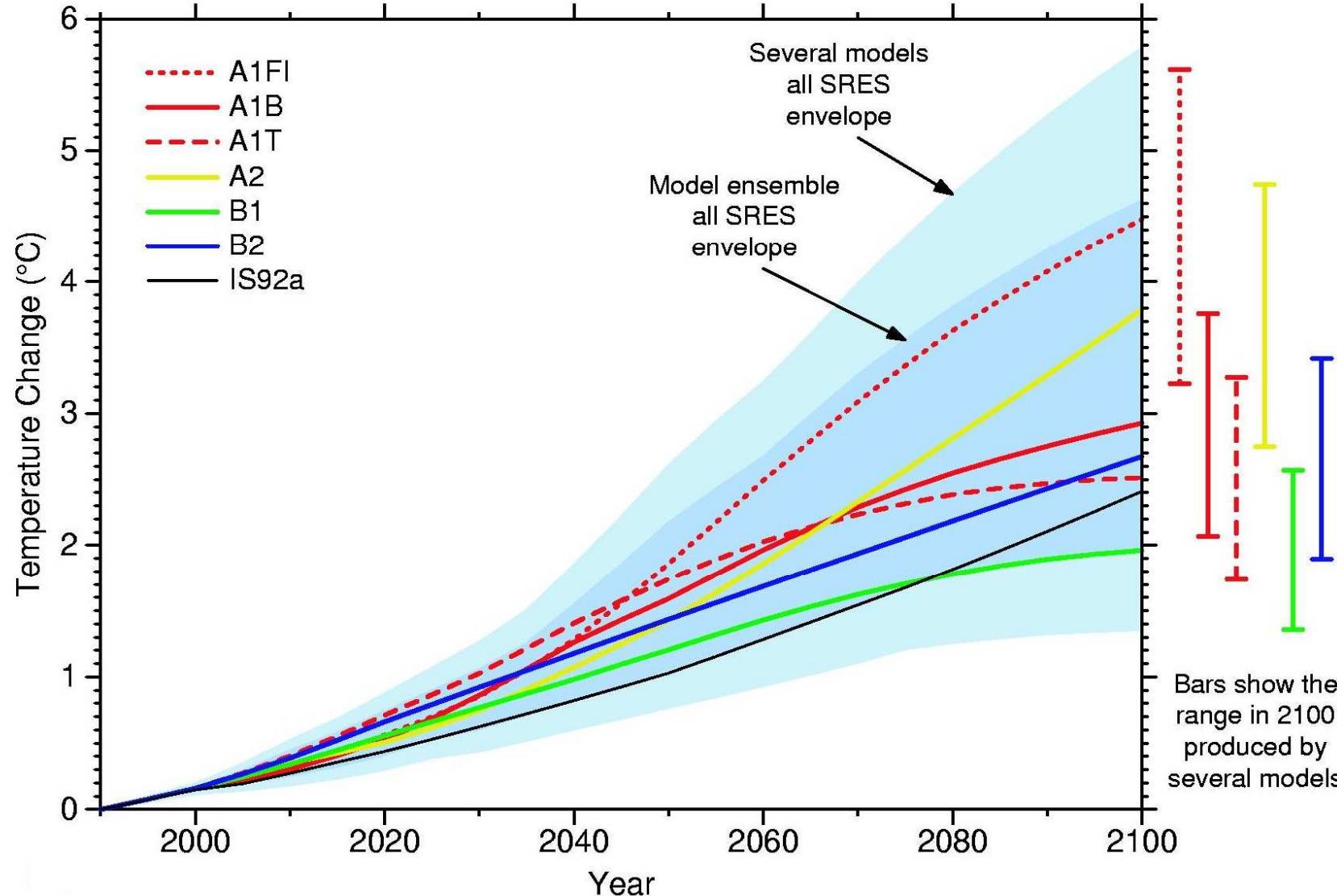


Future Climate Change

- 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-