

Introduzione al sistema climatico terrestre



Studio e previsioni dello stato del sistema

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

definizione del problema;
evidenze della tendenza climatica;
aspetti critici;

sistemi dinamici;
il sistema climatico terrestre;
un approccio osservativo.

CLIMA E TEMPO METEOROLOGICO

diversa scala temporale

diversità di metodo, dati e formulazioni teoriche

tempo meteorologico stato di un sottosistema (in particolare dell'atmosfera) ad un istante.

clima stato medio del sistema e sue variazioni nel tempo.

INDICATORI

temperatura dell'aria

altezza del mare

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

temperatura dell'aria ($h=2\text{ m}$)

termometri (tempi recenti < 200 anni):

- termometri a mercurio

- termometri a stato solido (termistori)

proxy data (paleoclima):

- anelli di accrescimento degli alberi

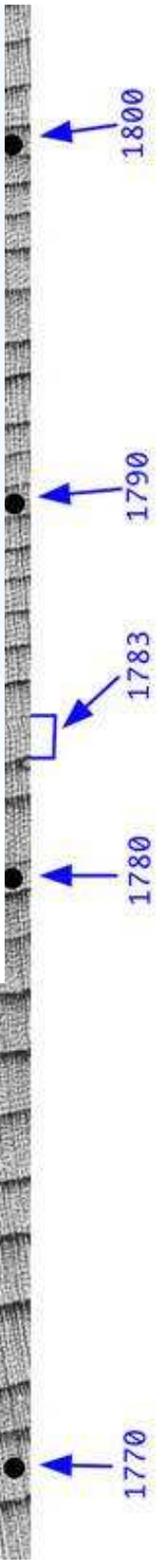
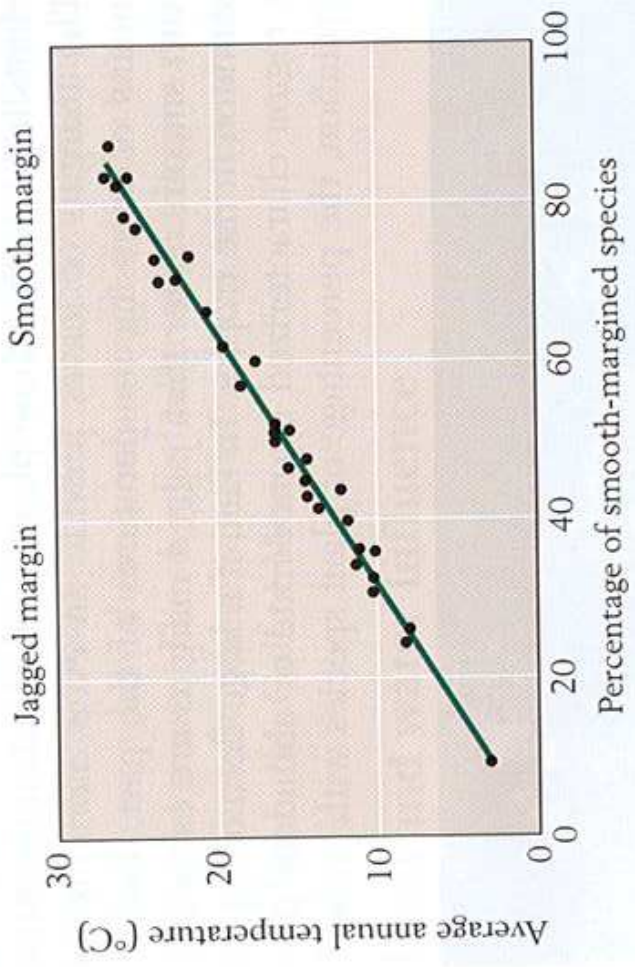
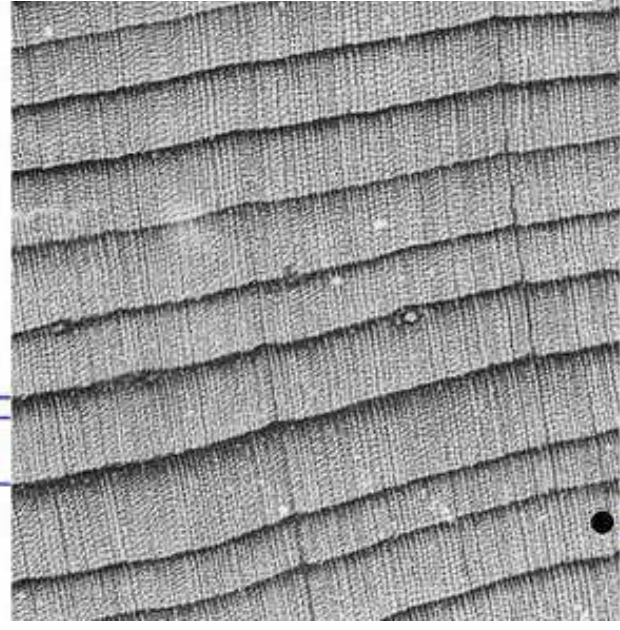
- forma delle foglie

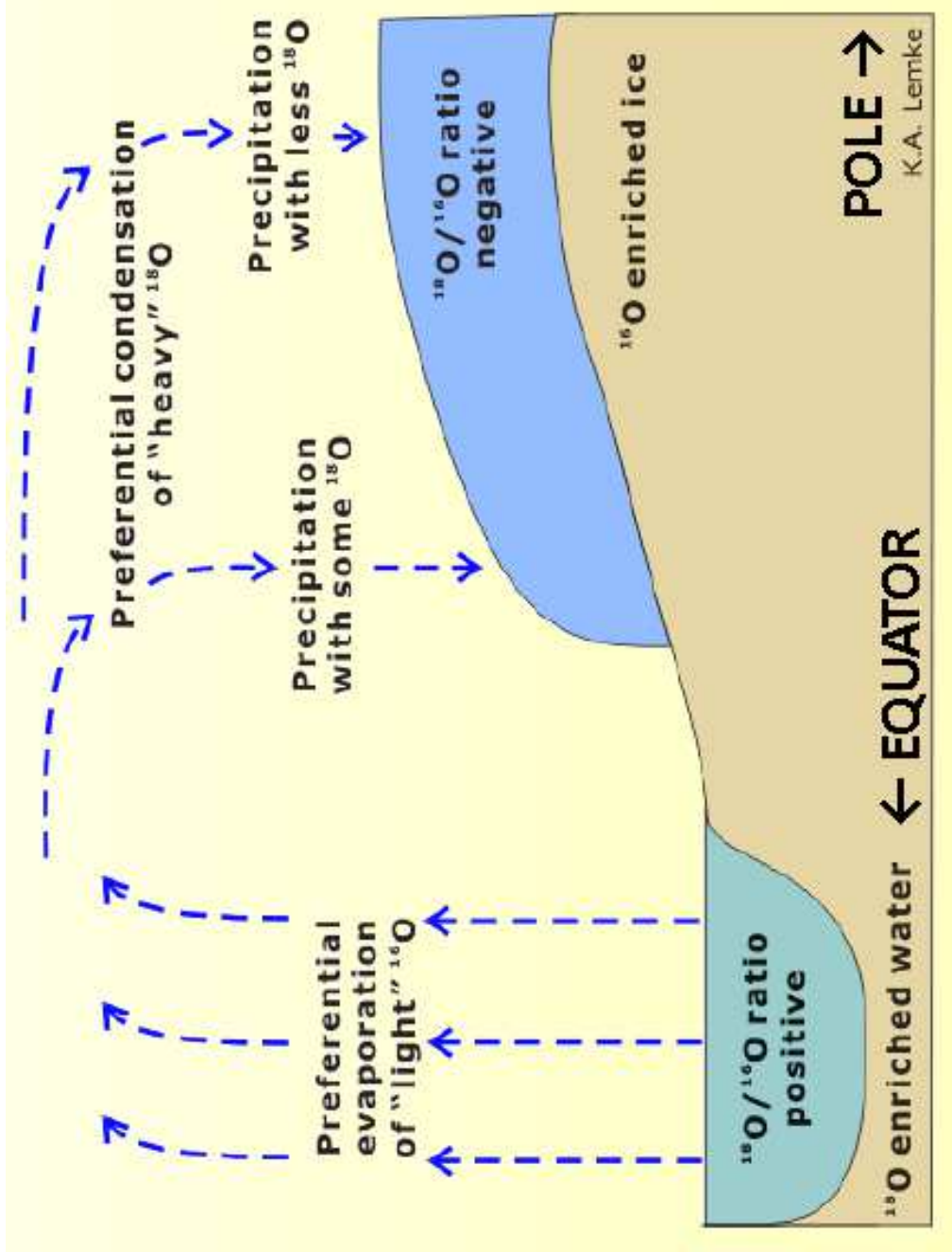
- O^{16}/O^{18}

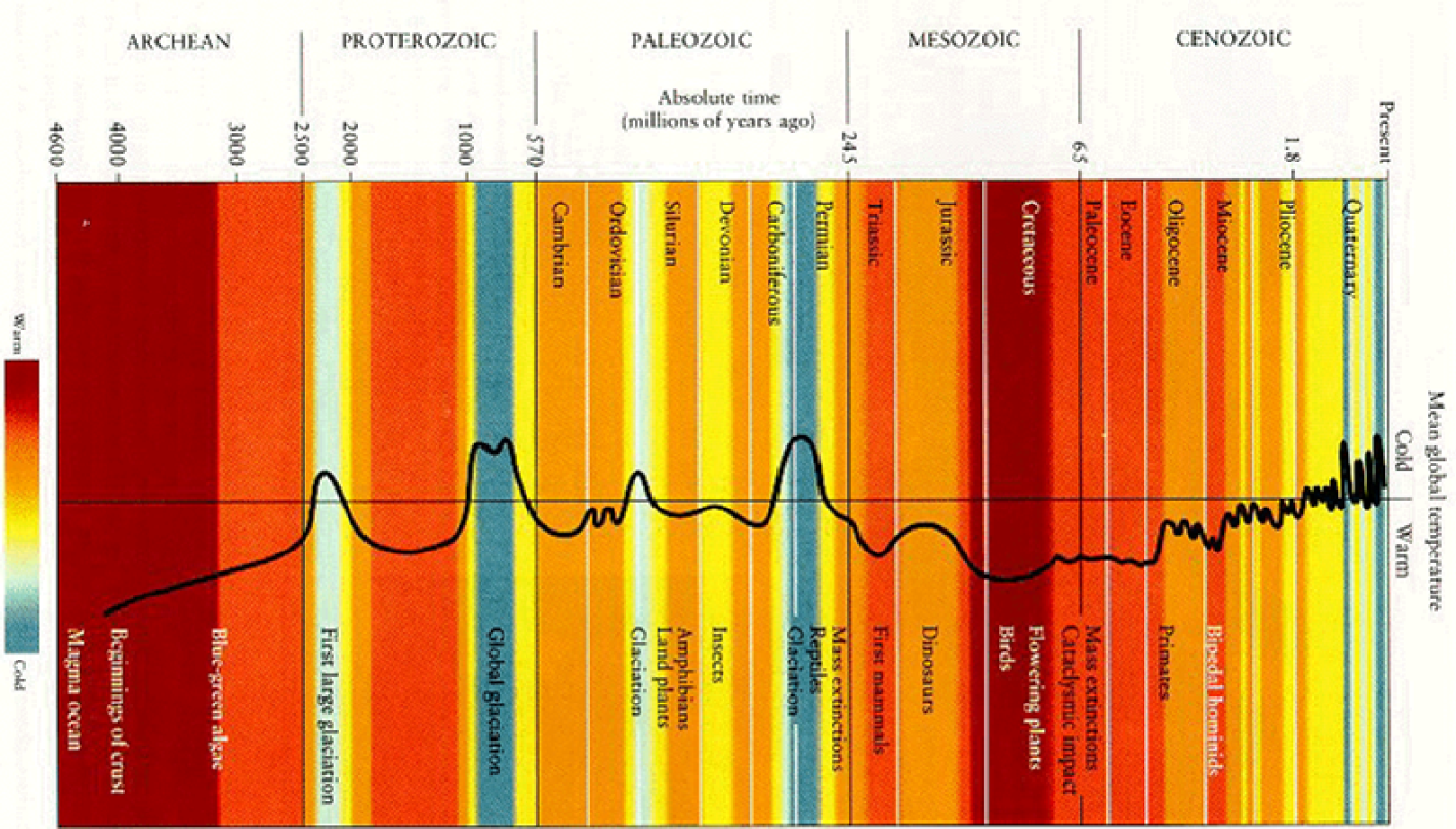
- cronache storiche



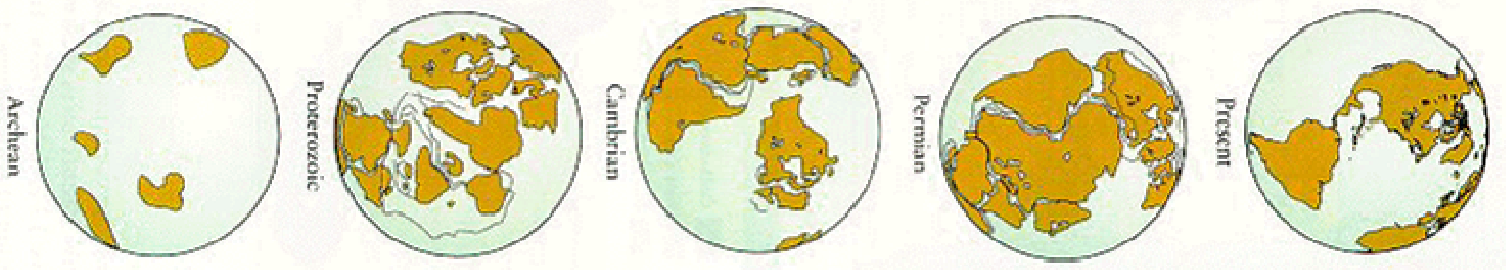
earlywood + latewood = annual



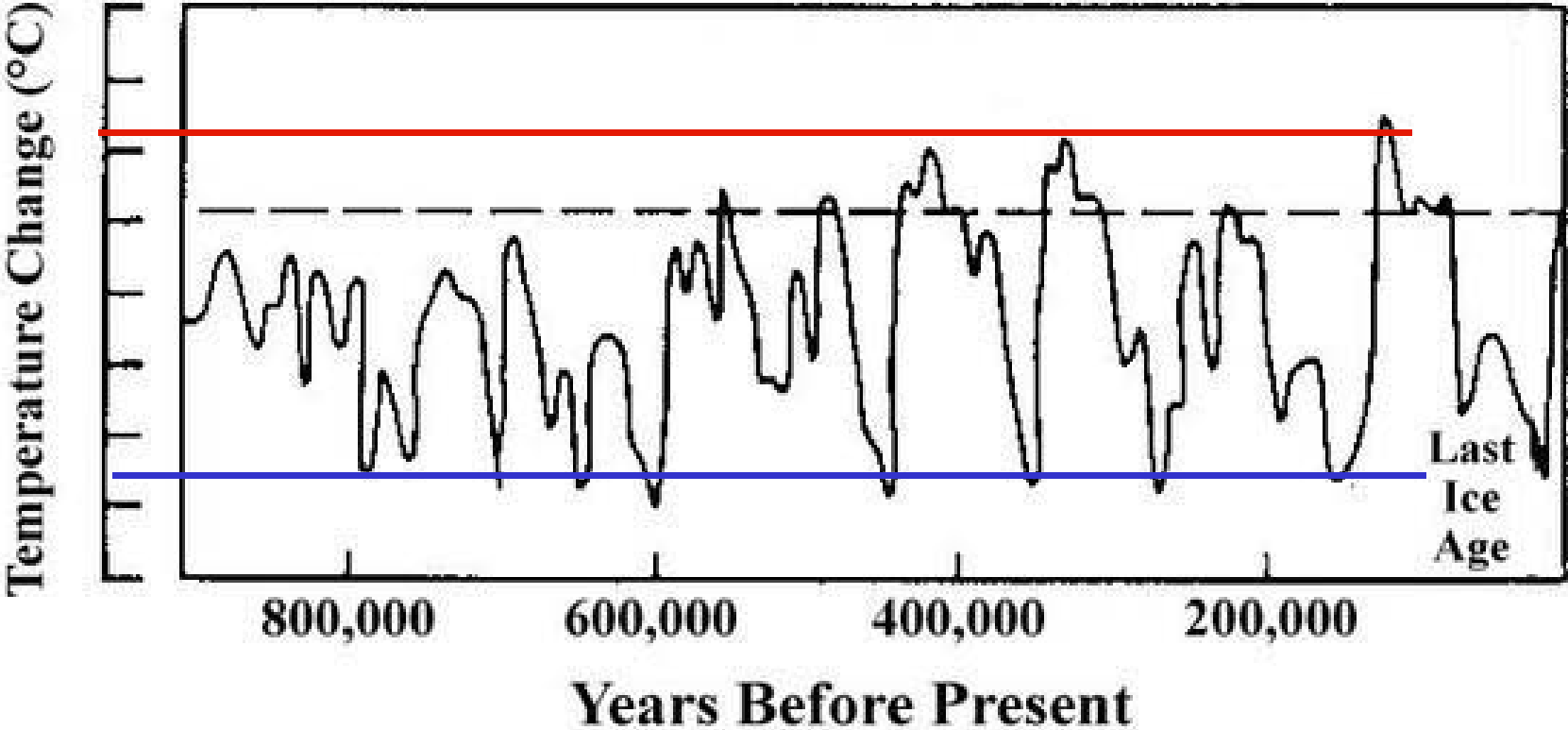




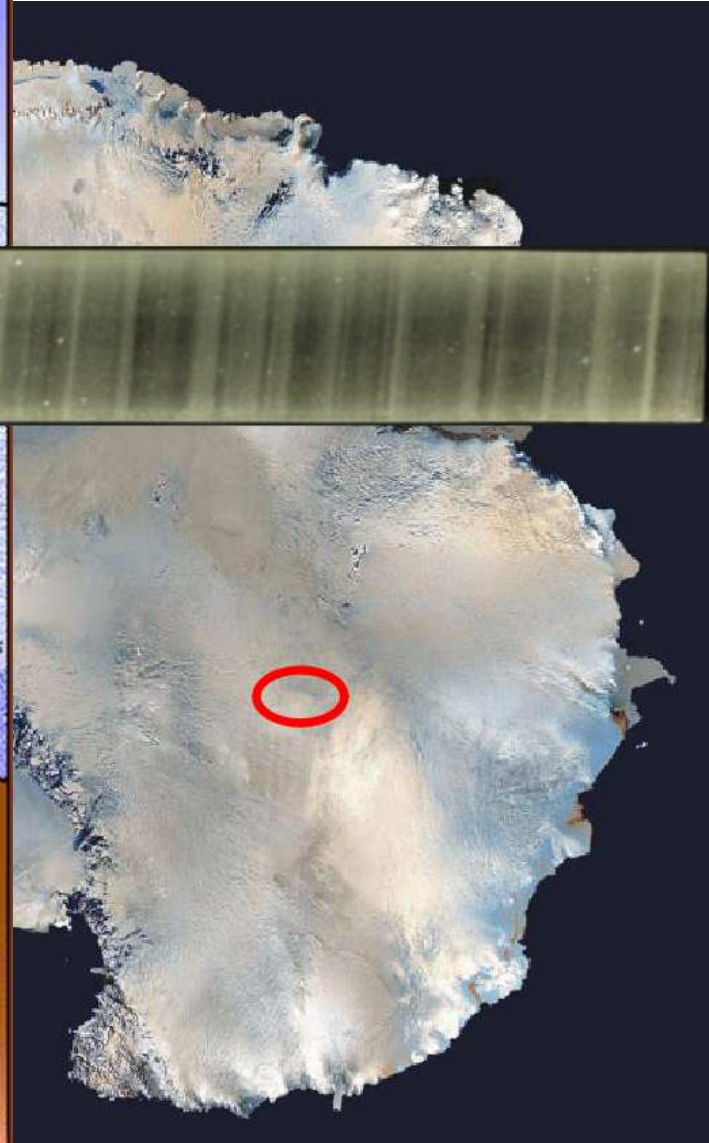
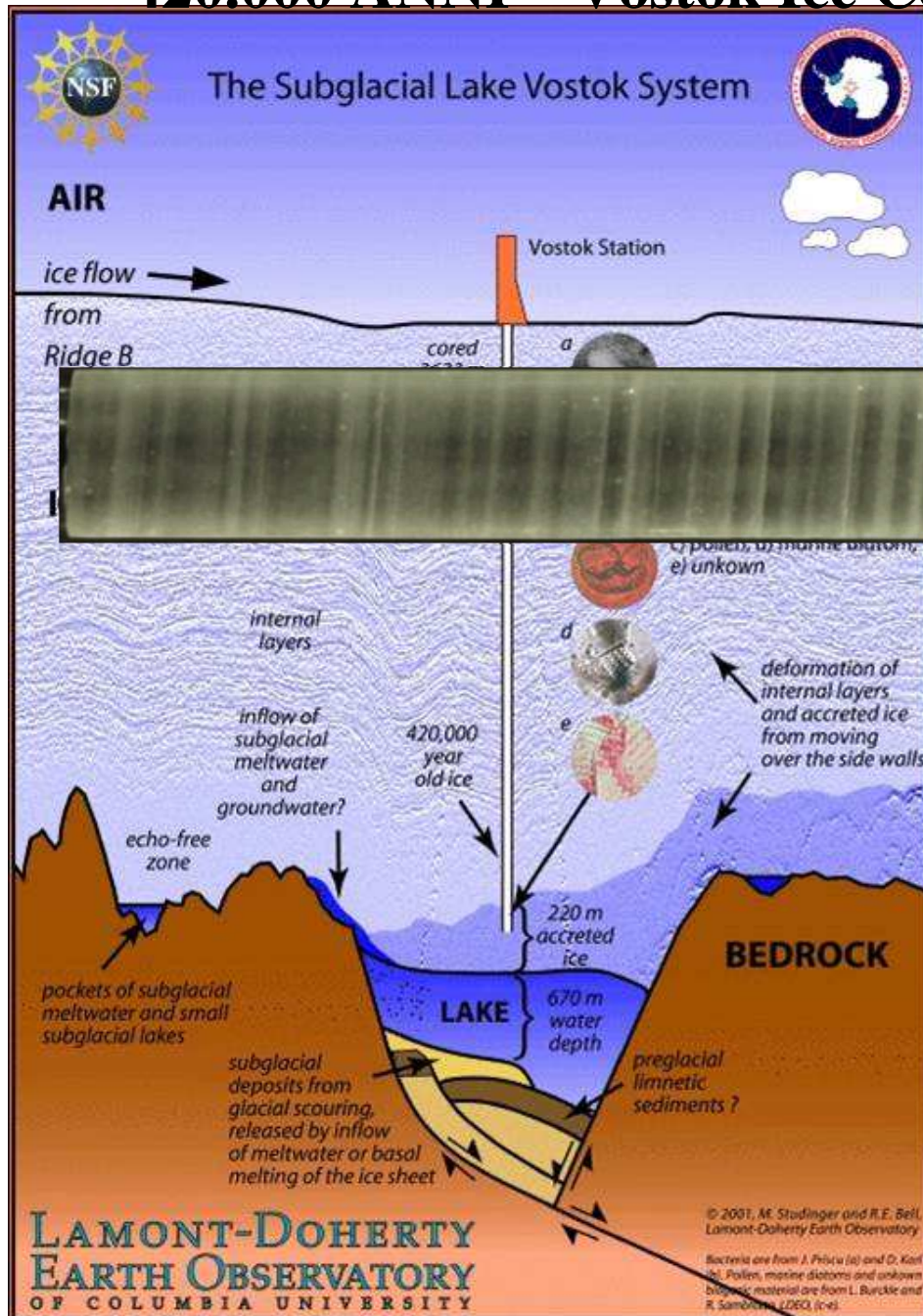
4.5 MILIARDI



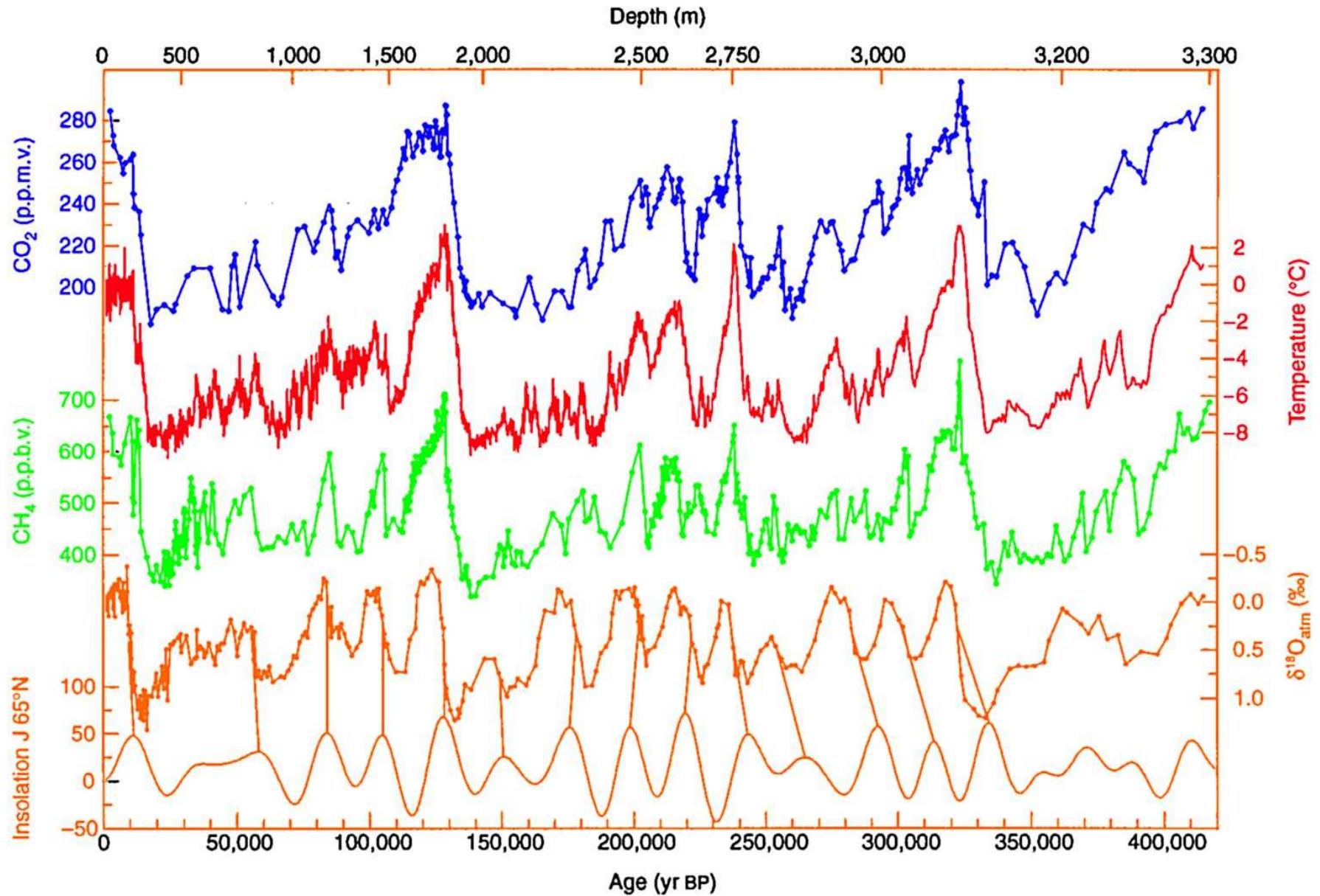
1 MILIONE DI ANNI



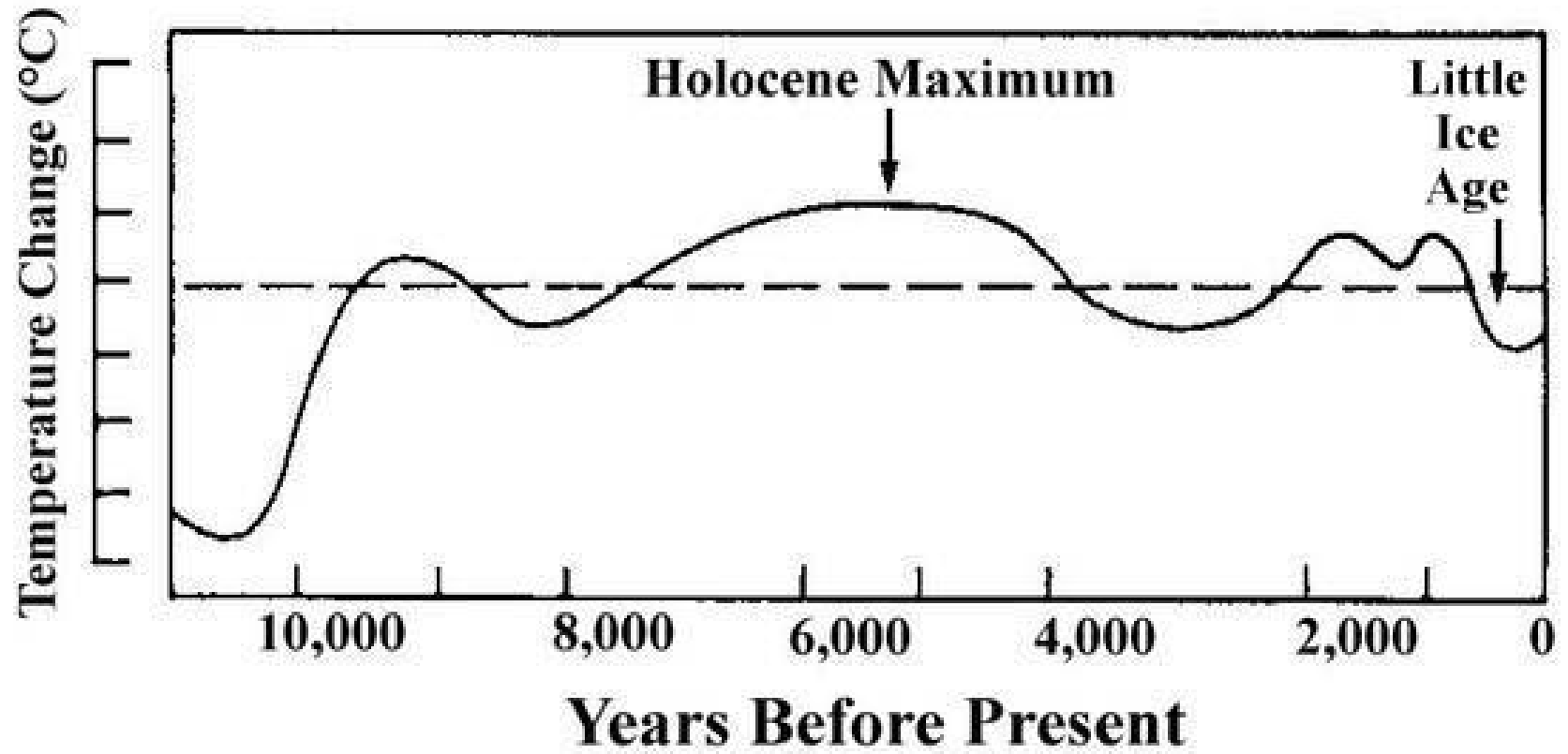
420,000 ANNI – Vostok Ice Core



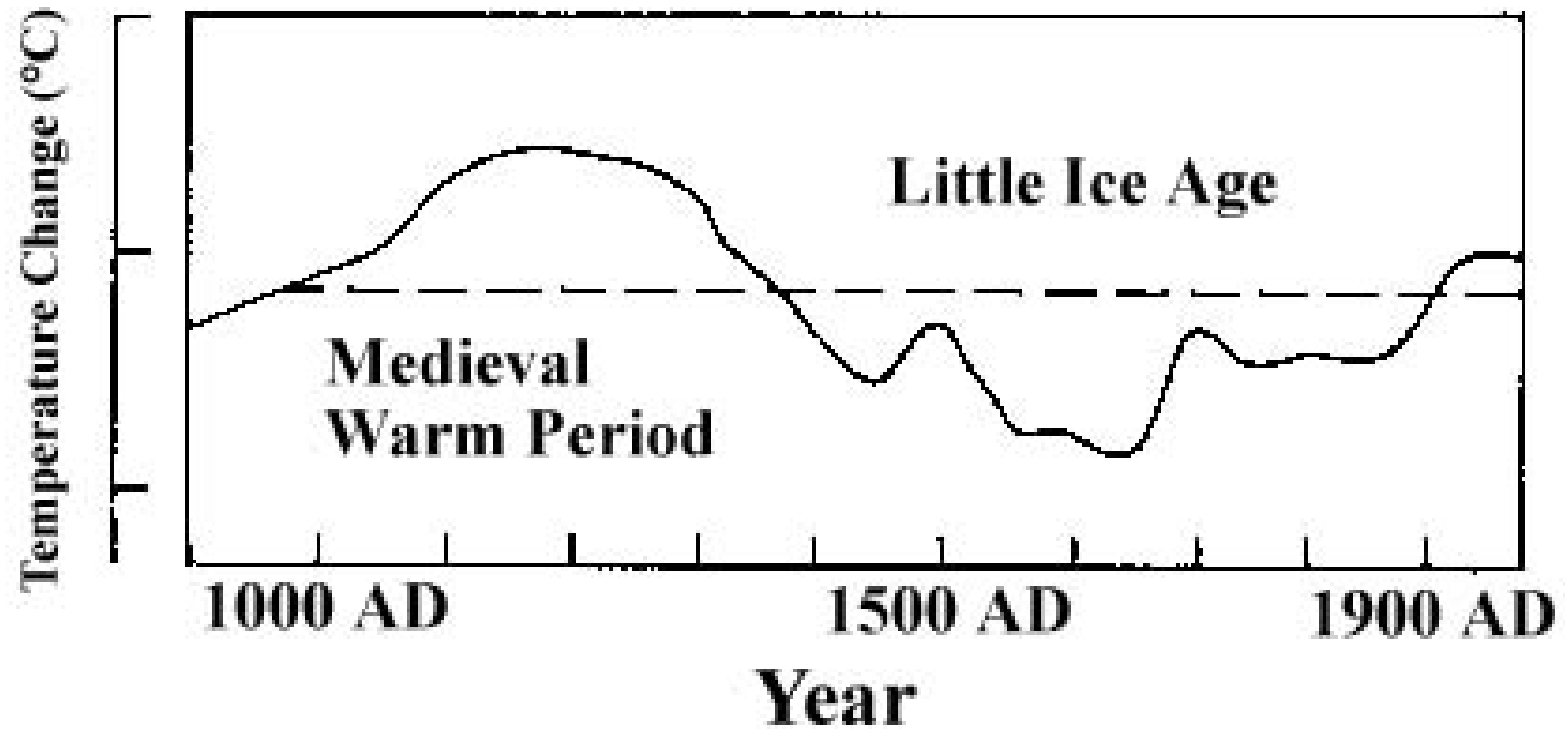
420.000 ANNI – Vostok Ice Core



10.000 ANNI

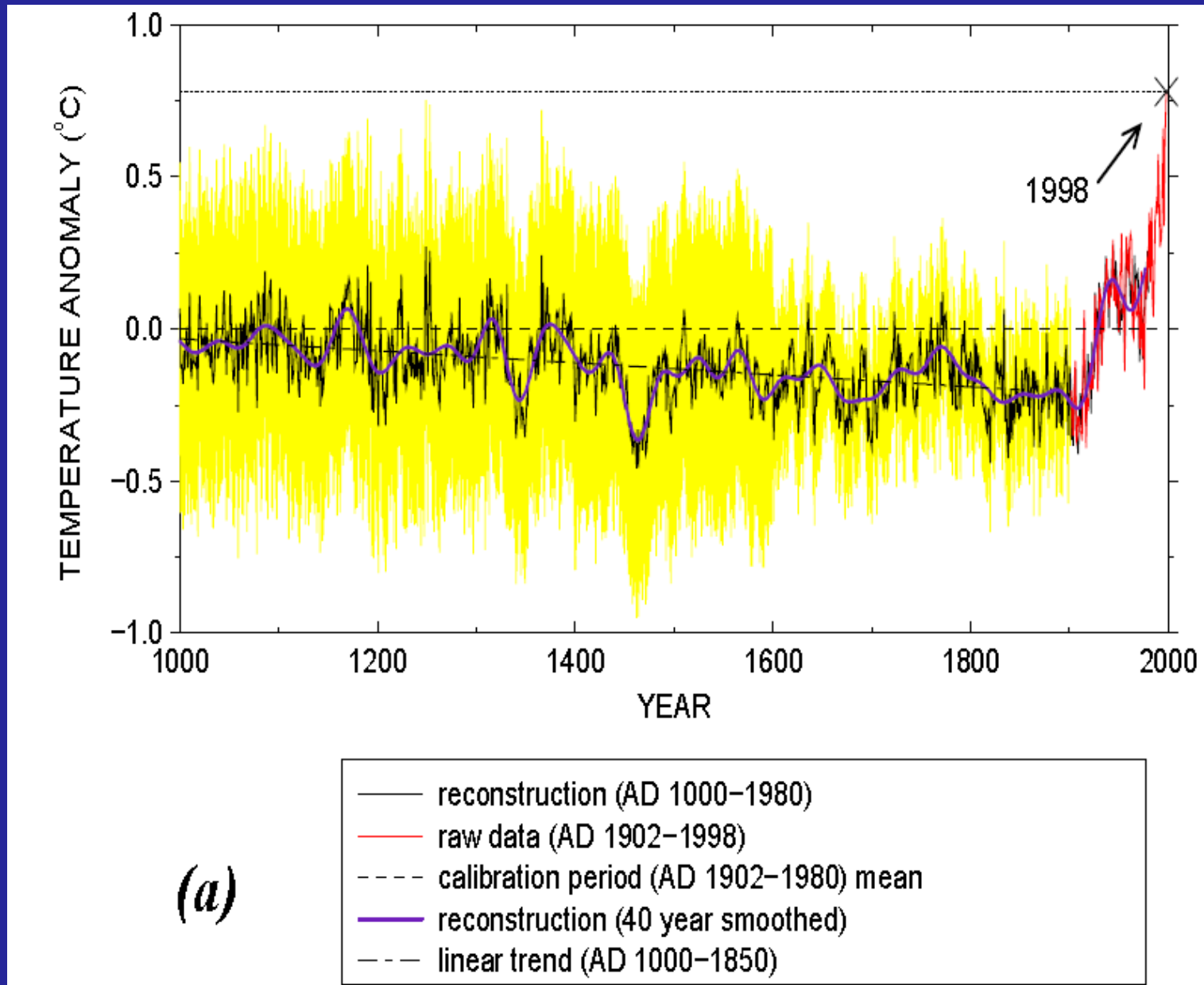


1.000 ANNI



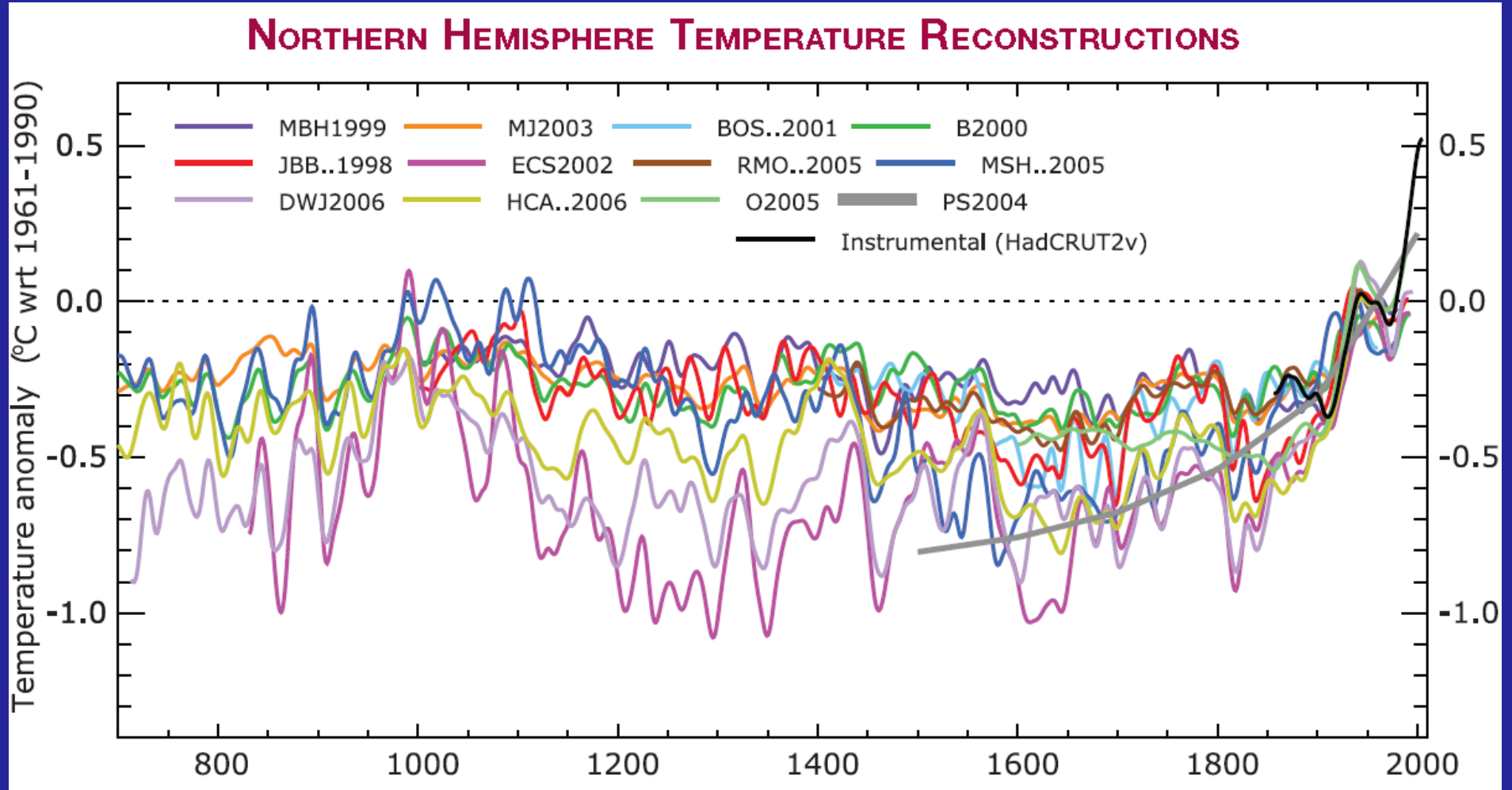
osservazione delle tendenze I

hockey stick (Mann, Bradley, Hughes, JGR, 1999)



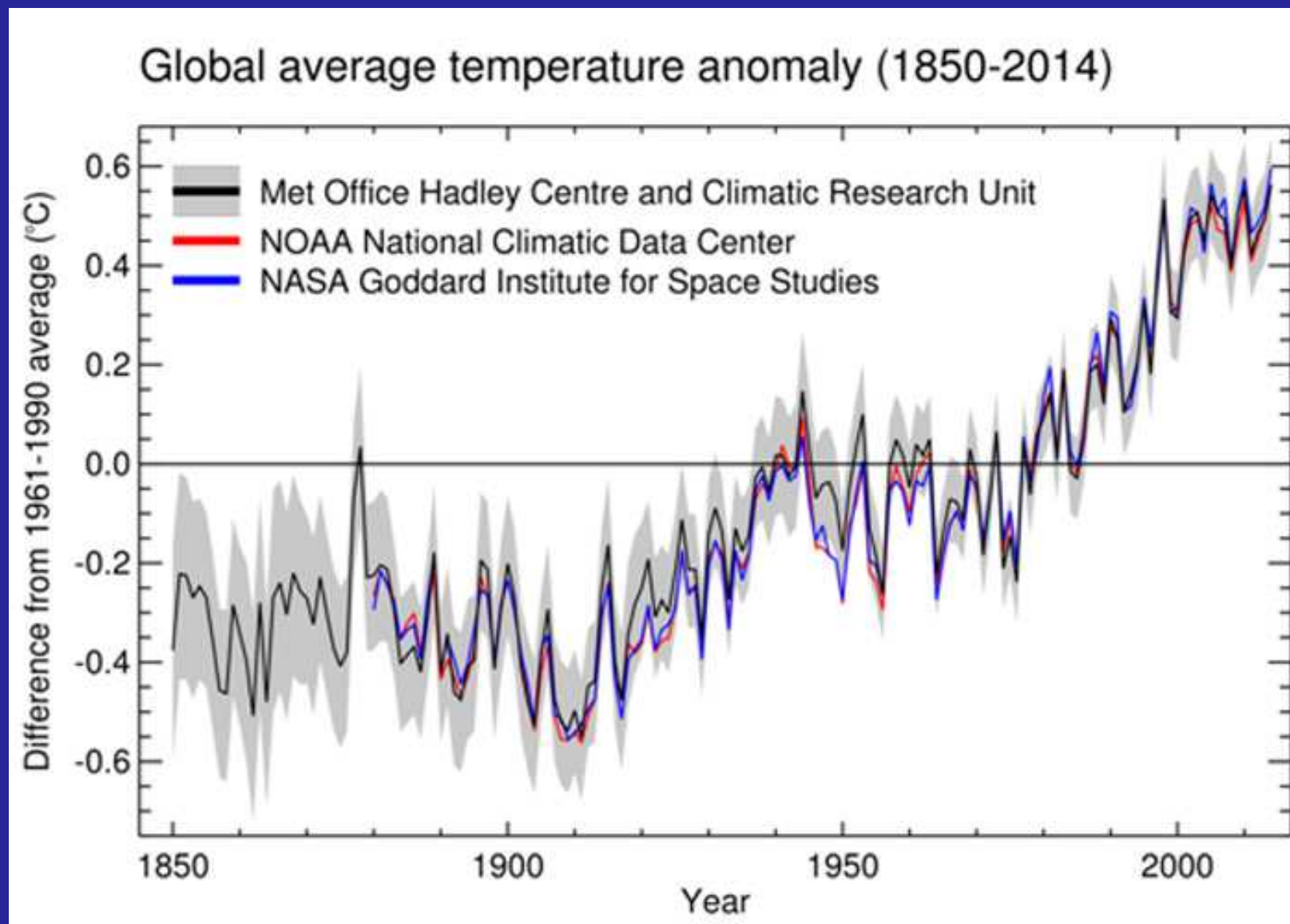
osservazione delle tendenze II

stime della temperatura media dell'emisfero nord



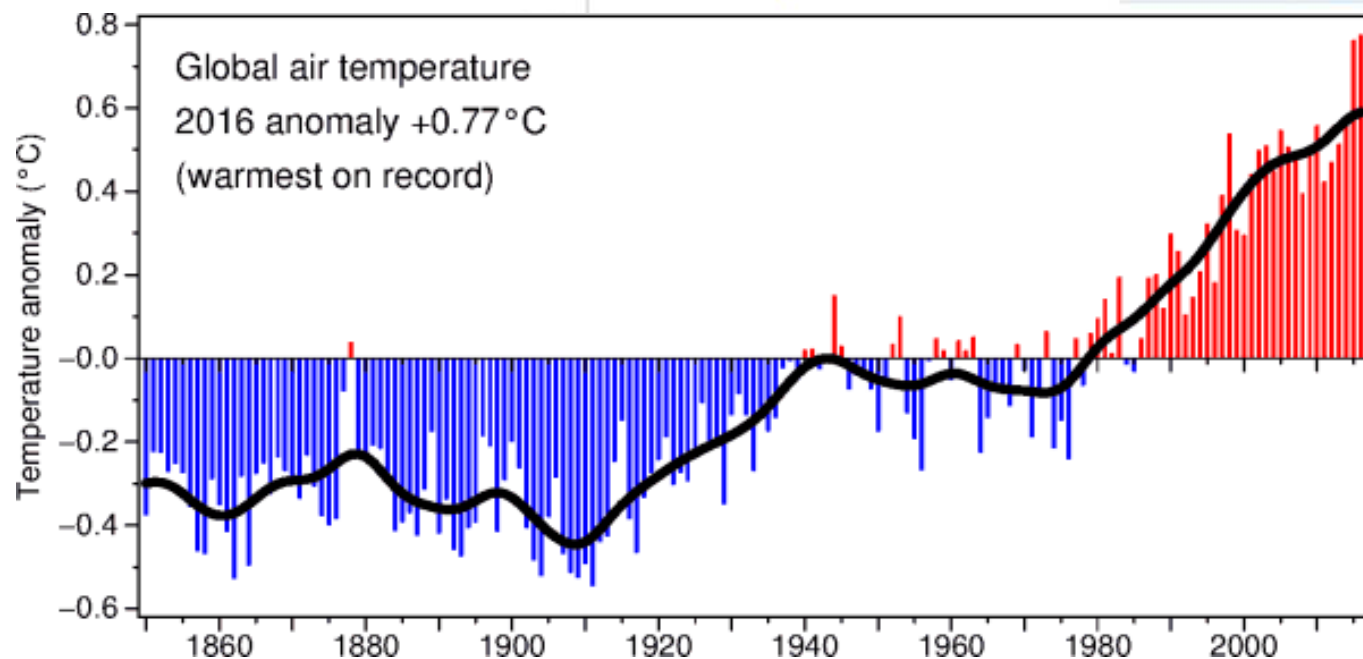
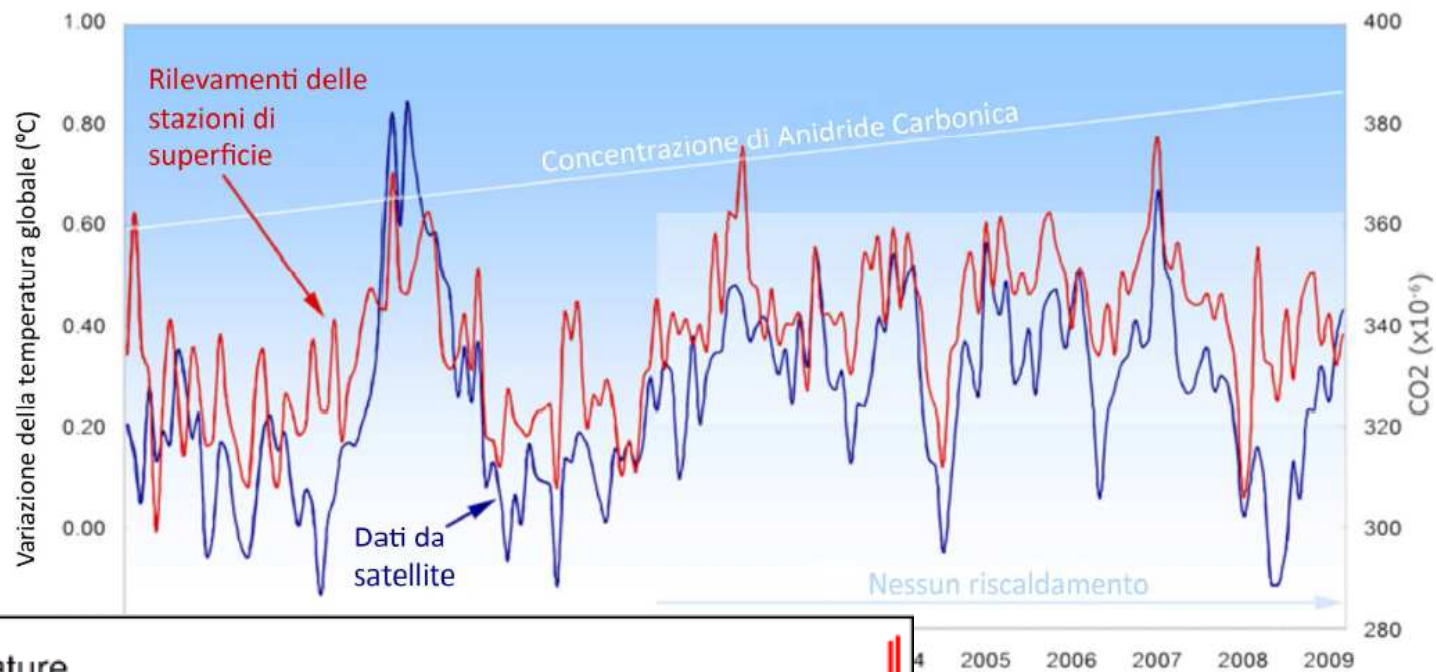
osservazione delle tendenze III

ultimi anni



osservazione delle tendenze III

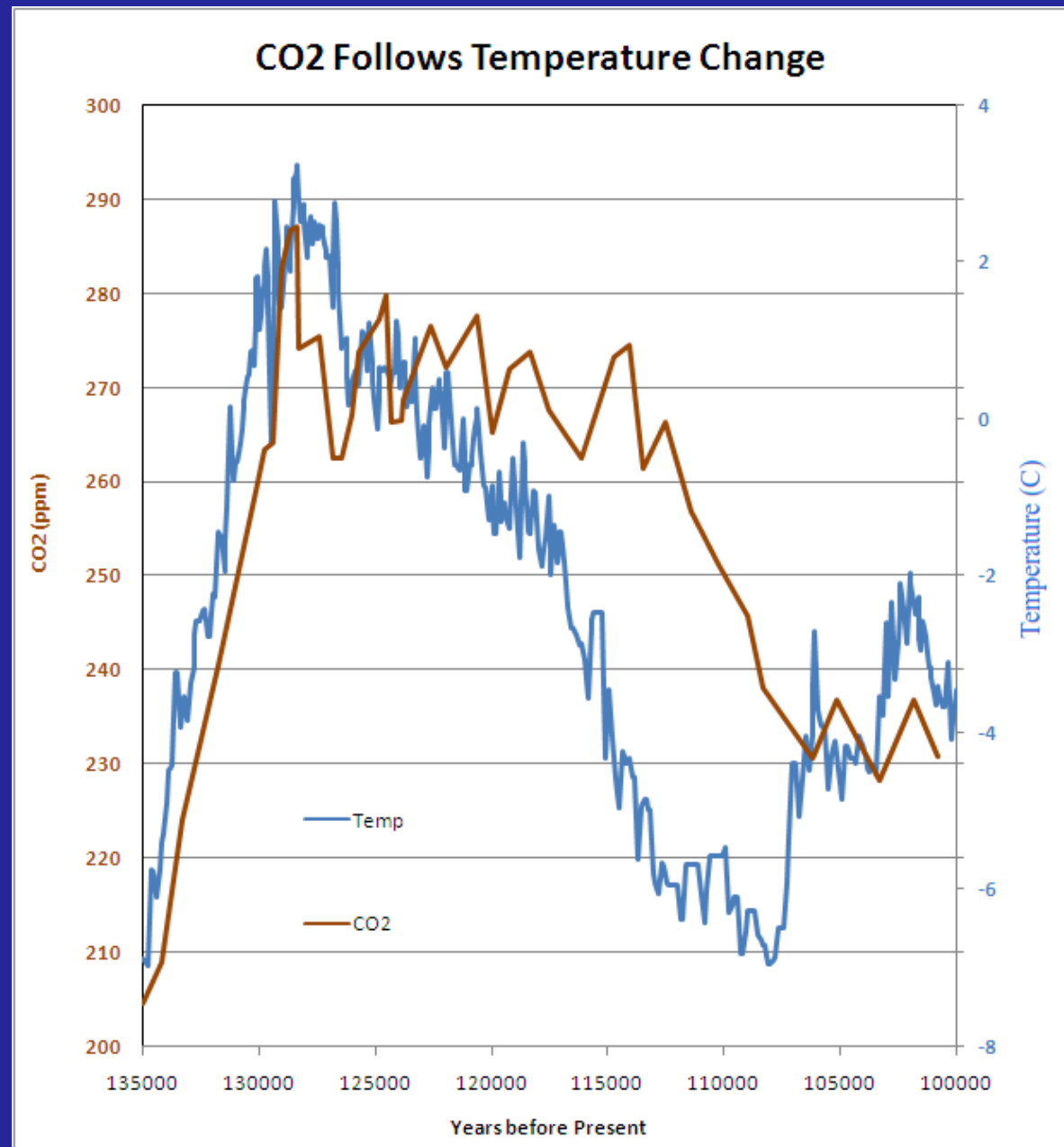
GW hiatus



osservazione delle tendenze IV

relazione GHG/ ΔT

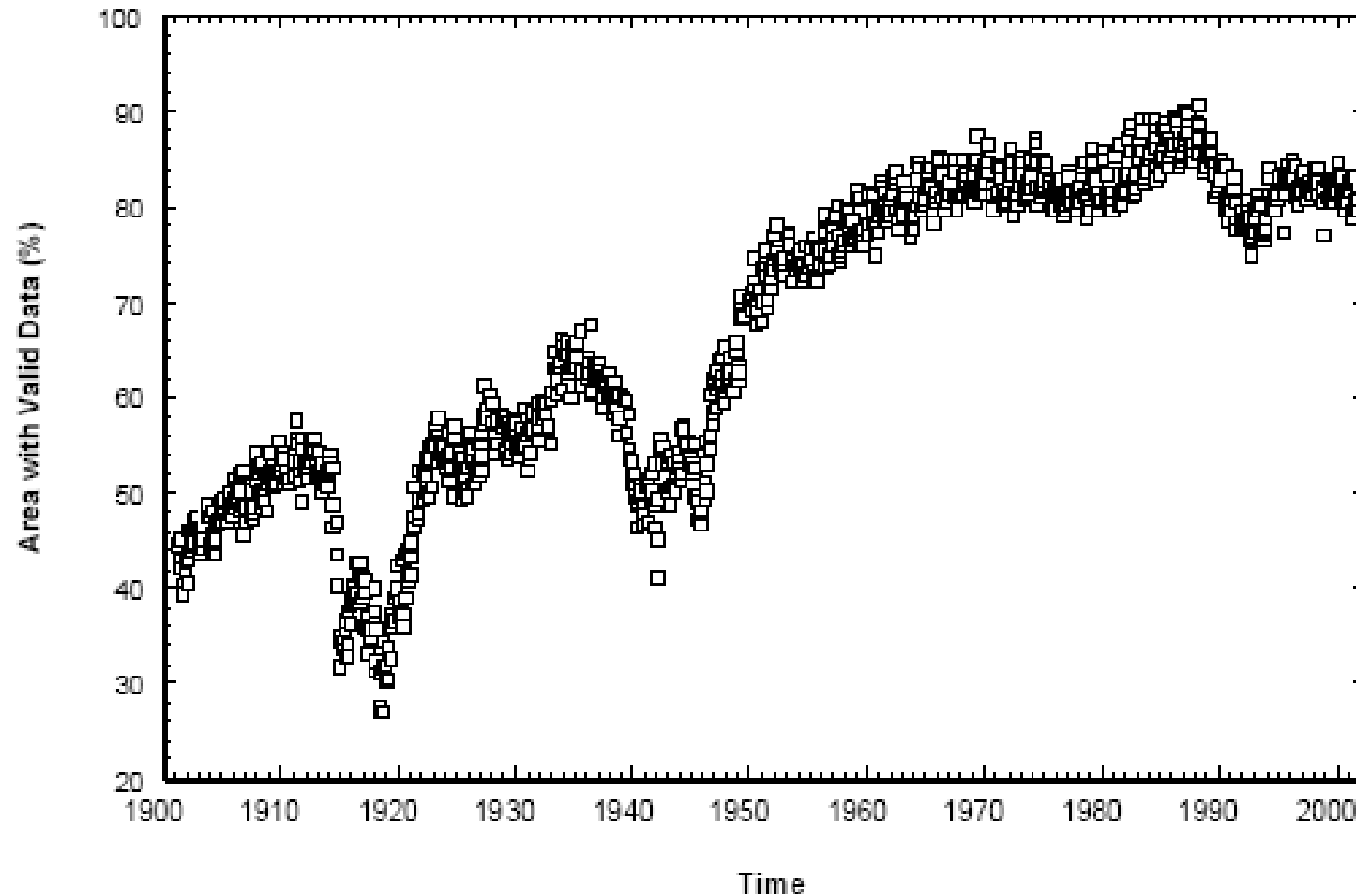
le variazioni di contenuto di CO_2 seguono di circa 800 anni le variazioni della temperatura



Mudelsee, 2001

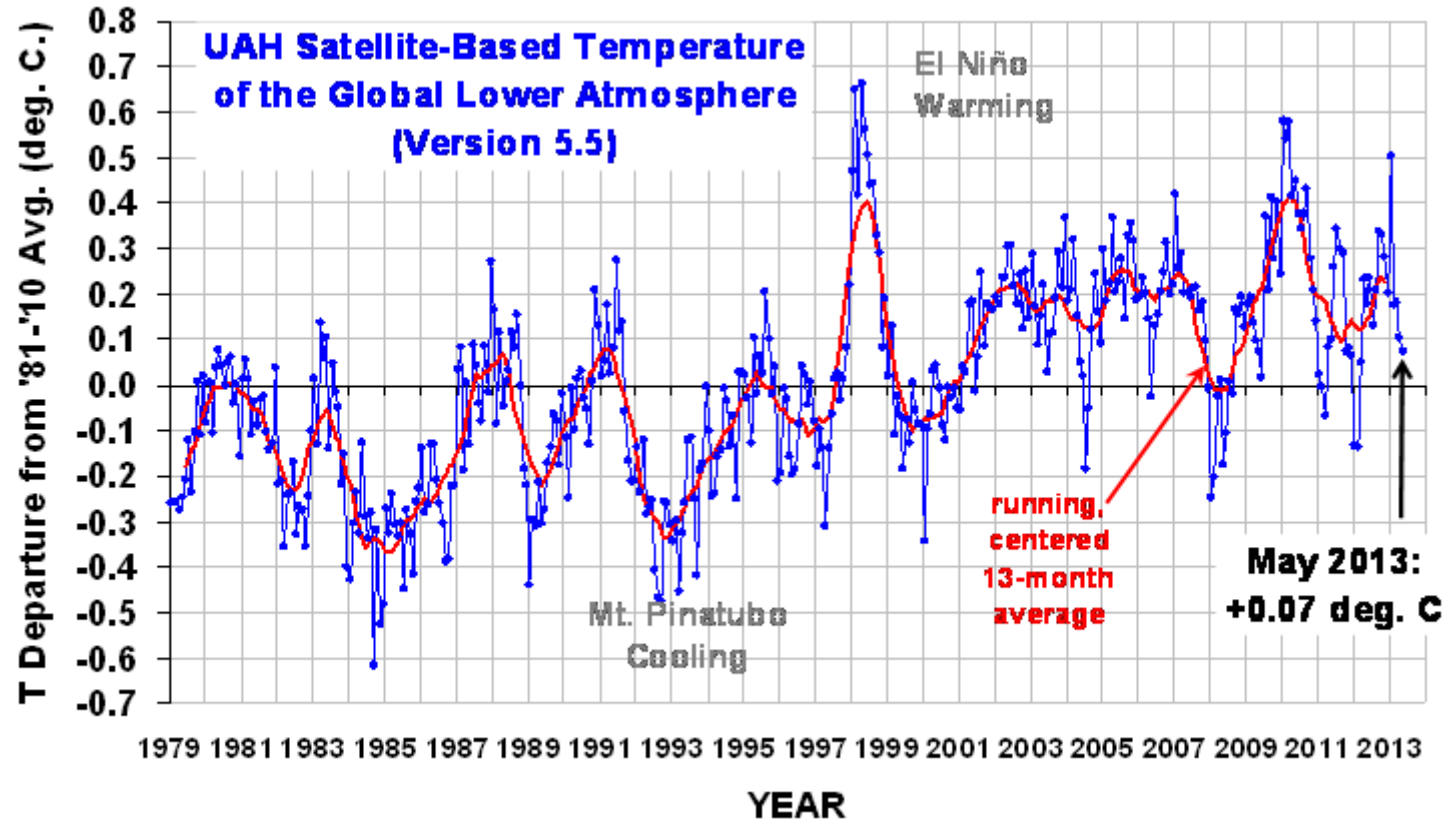
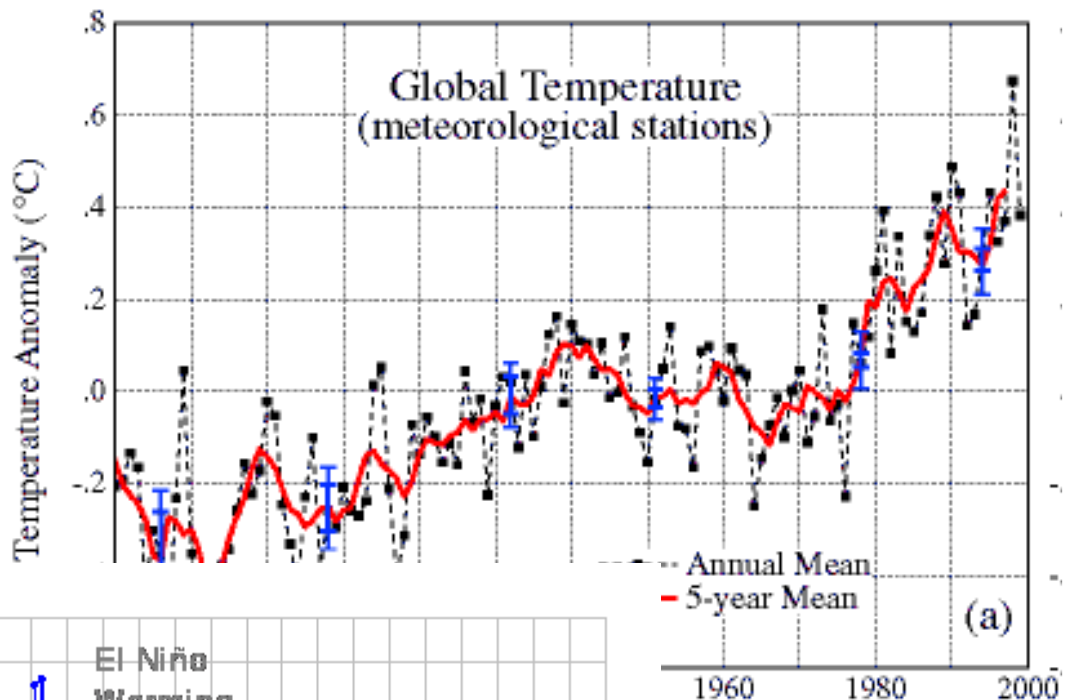
osservazione delle tendenze V
copertura globale dei sensori

la frazione di superficie globale monitorata varia
 $5^\circ \times 5^\circ \sim 550 \times 400 \text{ km}^2$



osservazione delle tendenze VI
osservazioni dallo spazio

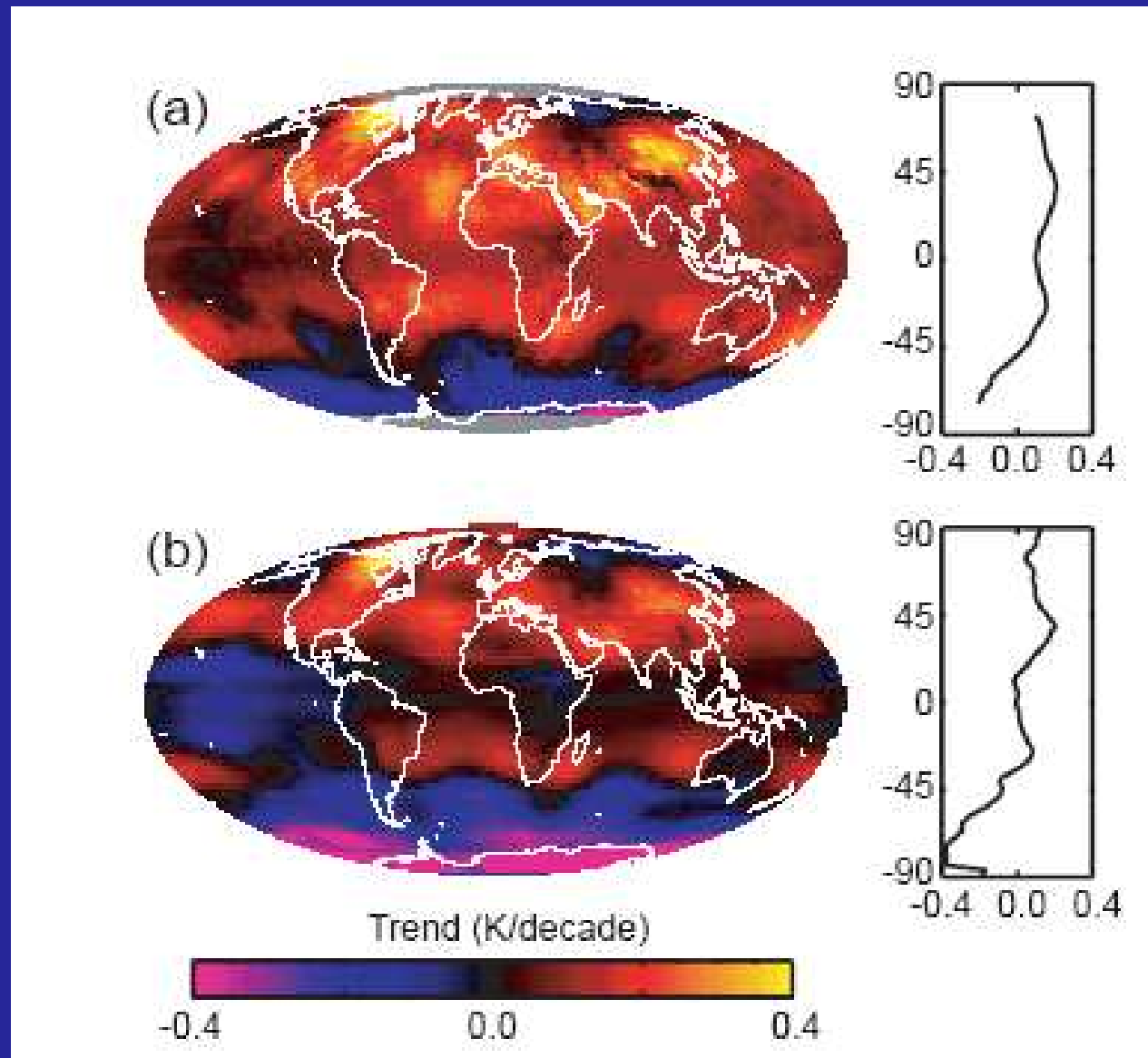
0,2 K/decade ←



0,09 K/decade ←

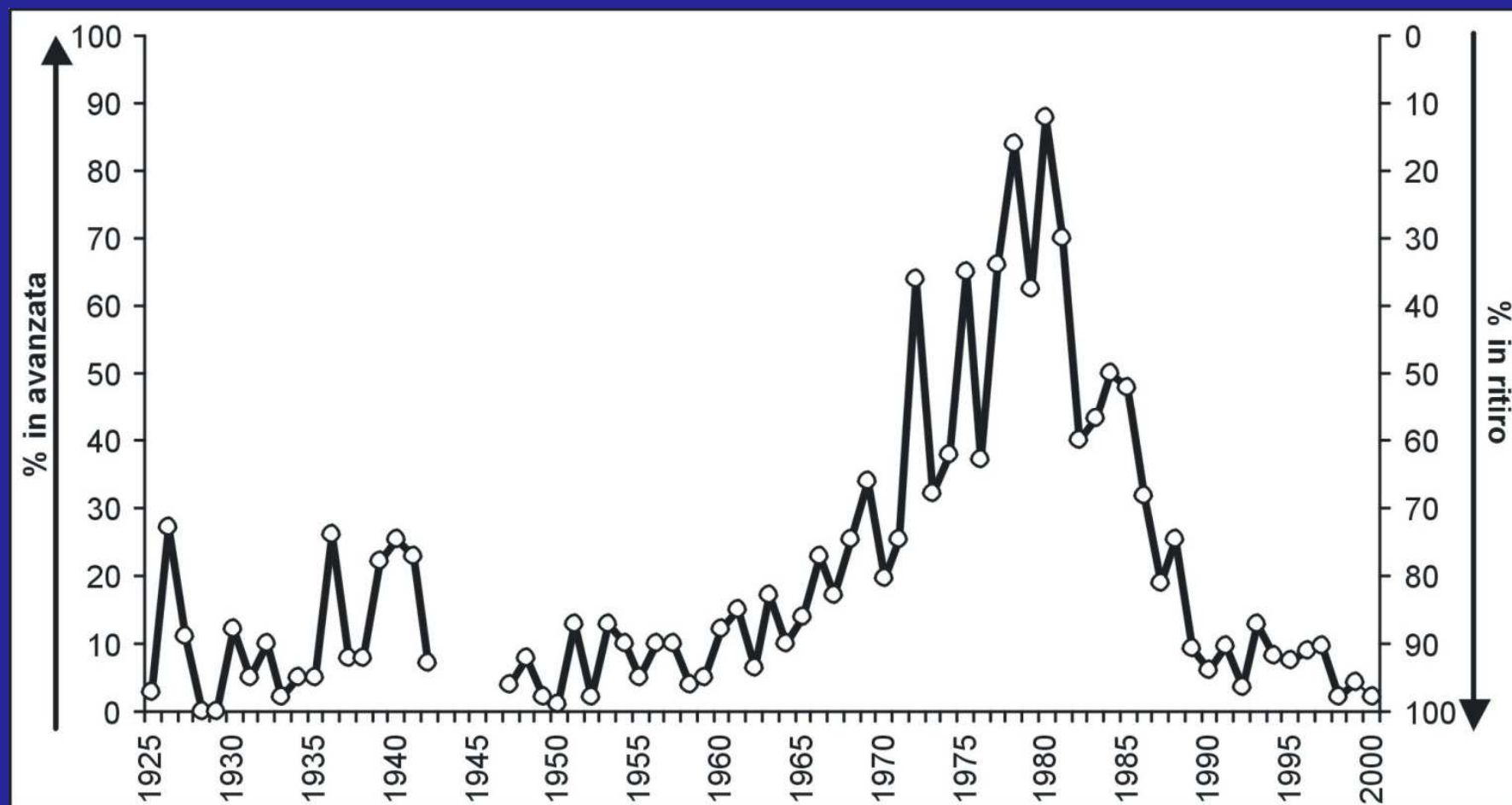
osservazione delle tendenze VIII

Microwave Sounding Unit (MSU)



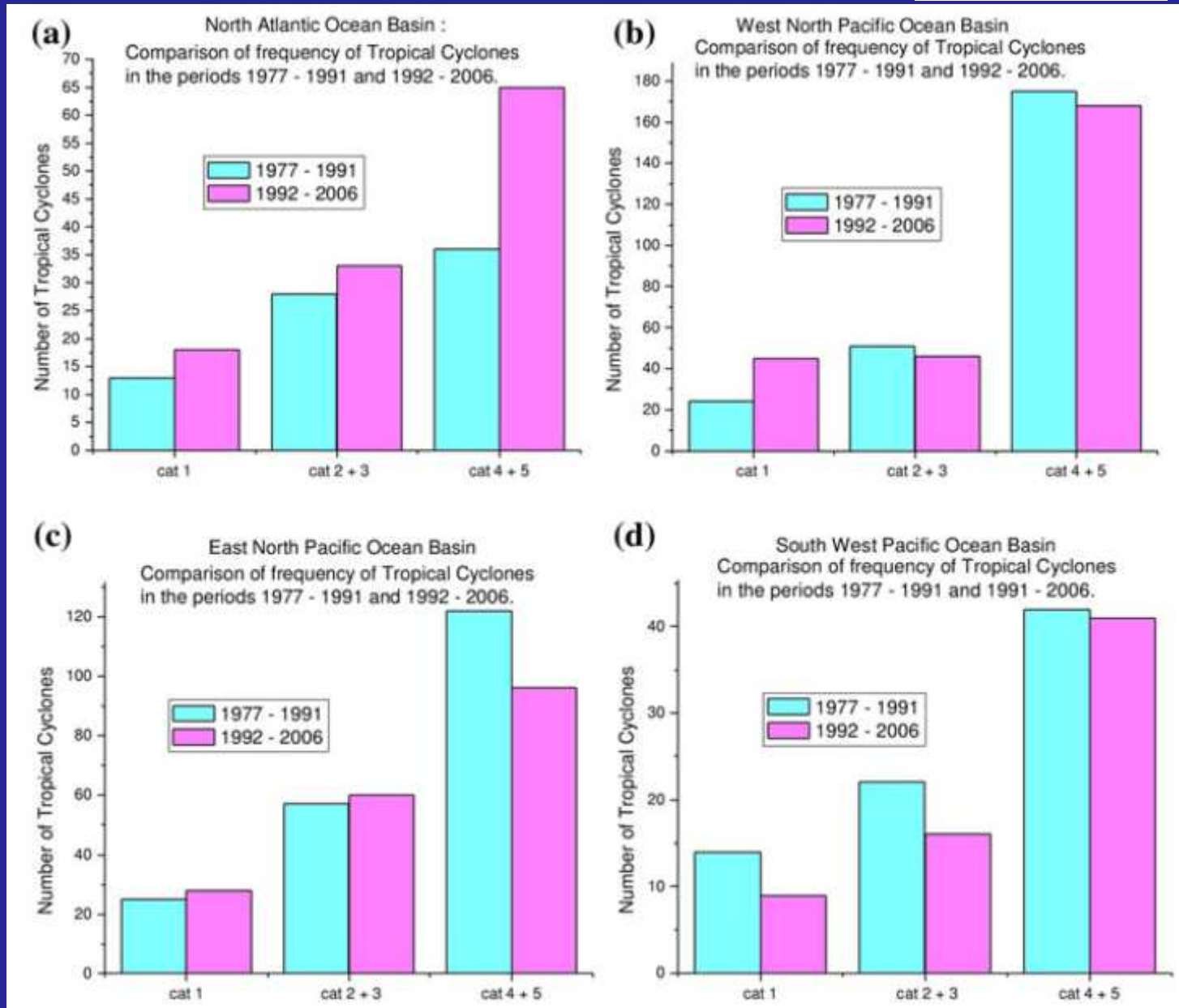
osservazione delle tendenze IX

ritiro dei ghiacciai

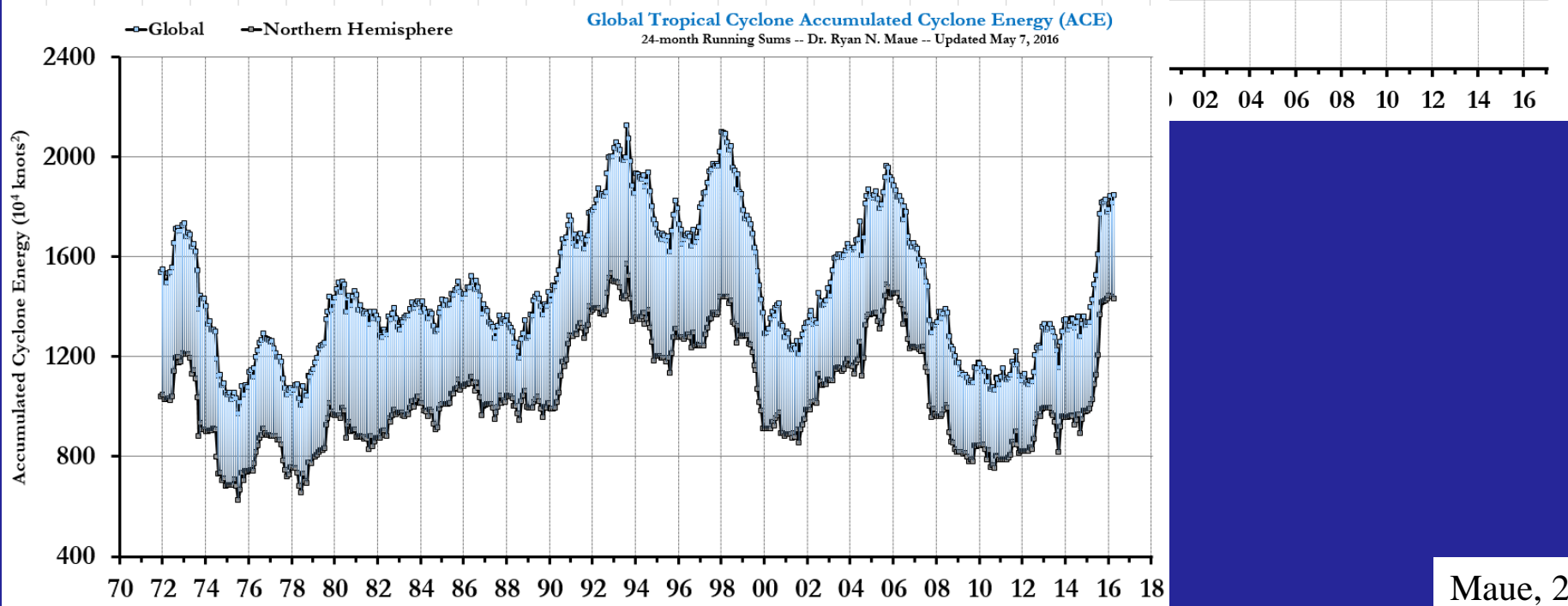
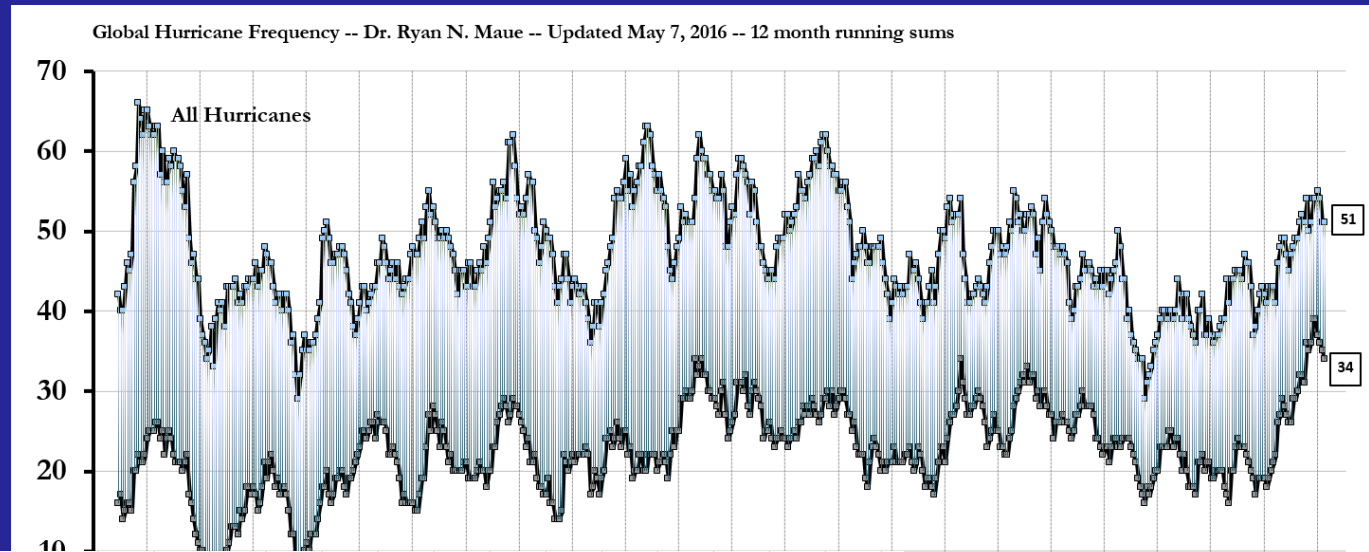


osservazione delle tendenze X eventi estremi: cicloni tropicali

Deo et al., 2011

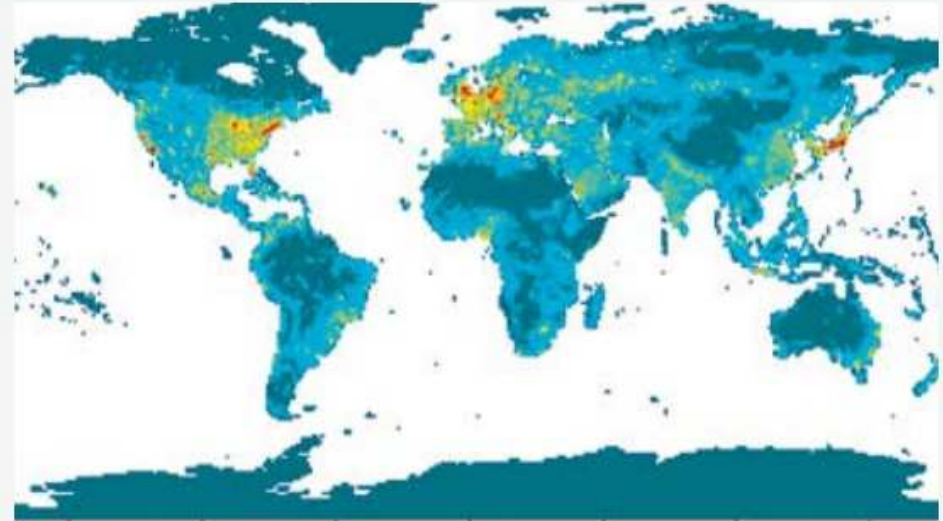


osservazione delle tendenze X eventi estremi: cicloni tropicali

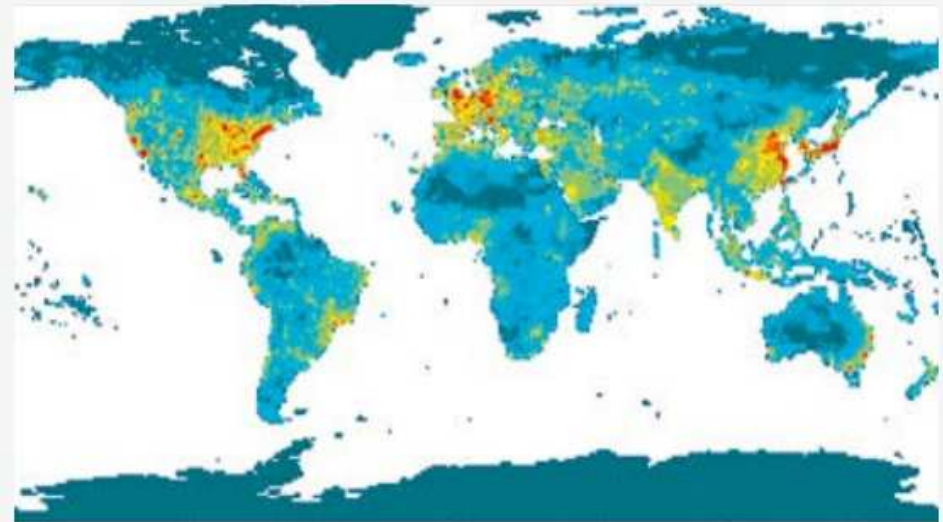


osservazione delle tendenze
eventi estremi: PIL

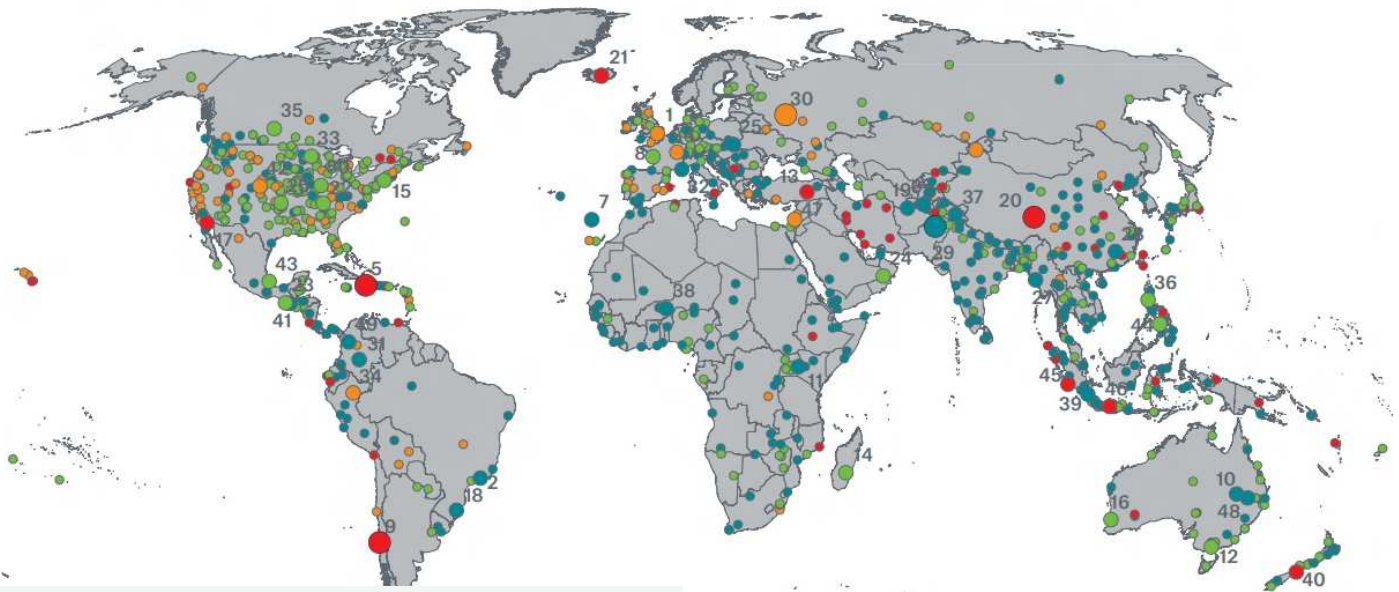
1980



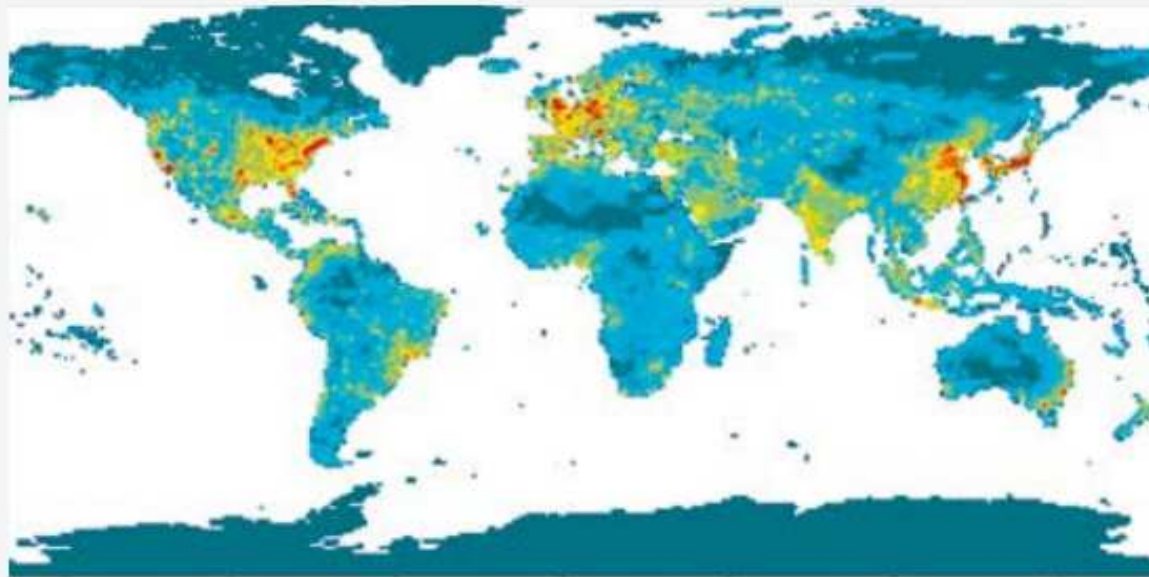
2015



osservazione delle
eventi estremi: dan



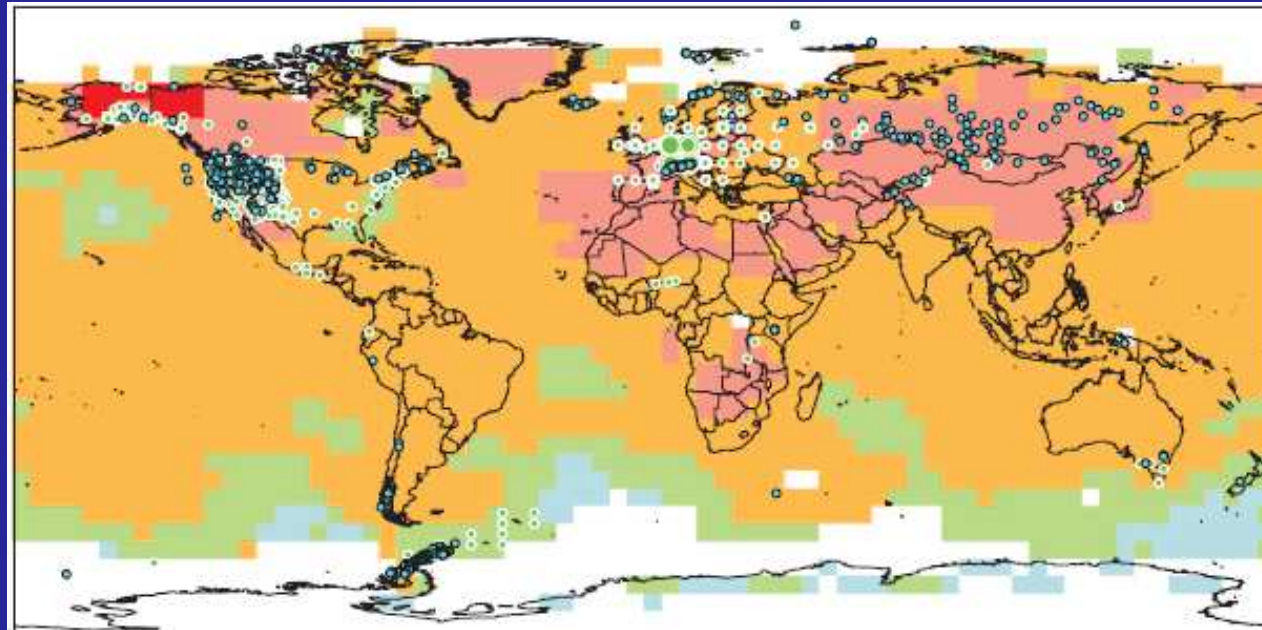
2015



Maue, 2011

osservazione delle tendenze XI

*impatto sui
sistemi fisici e
biologici*

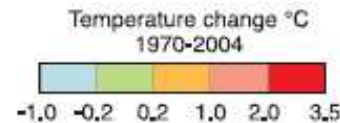


NAM		LA		EUR ^{28,115}		AFR		AS		ANZ		PR*		TER ^{28,585}		MFW**		GLO ^{28,671}	
355	455	53	5	119	28,115	5	2	106	8	6	0	120	24	764	28,585	1	85	765	28,671
94%	92%	98%	100%	94%	89%	100%	100%	96%	100%	100%	—	91%	100%	94%	90%	100%	99%	94%	90%

Observed data series

- Physical systems (snow, ice and frozen ground; hydrology; coastal processes)
- Biological systems (terrestrial, marine, and freshwater)

Europe ***	
•	1-30
○	31-100
○	101-800
○	801-1,200
○	1,201-7,500



Physical Biological

Number of significant observed changes	Number of significant observed changes
Percentage of significant changes consistent with warming	Percentage of significant changes consistent with warming

* Polar regions include also observed changes in marine and freshwater biological systems.

** Marine and freshwater includes observed changes at sites and large areas in oceans, small islands and continents. Locations of large-area marine changes are not shown on the map.

*** Circles in Europe represent 1 to 7,500 data series.

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-

sistemi dinamici, non linearità, caos;

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

un approccio osservativo.

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 un numero finito di parametri.

caratteristiche di un sistema non lineare:

- non è possibile riconoscere il ruolo di ogni singolo elemento in un processo (meccanismi di retroazione);

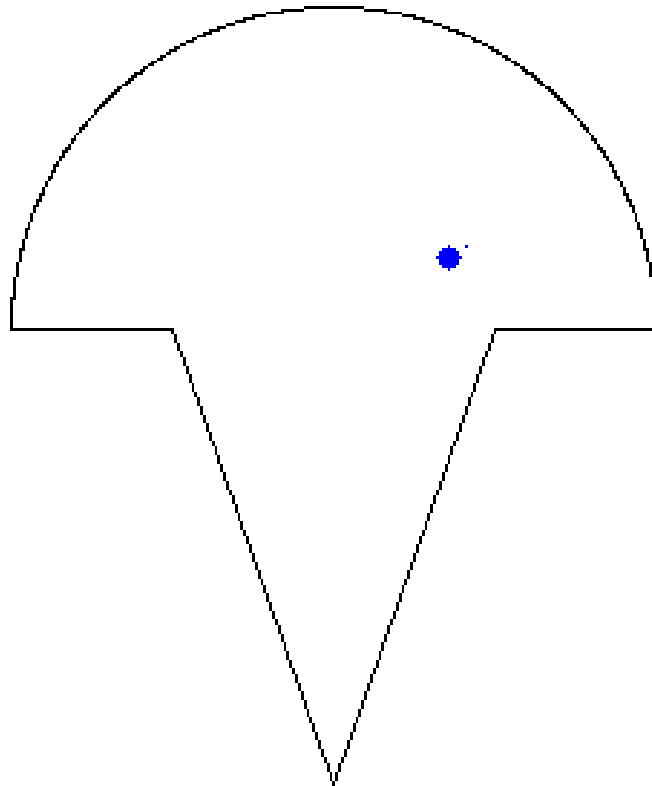
- è non predicibile (caos, sensibilità alle condizioni iniziali);

- piccole perturbazioni possono dare grandi risposte e viceversa;

- fenomeni di auto-organizzazione (vortici, convezione).

Biliardo

sensibilità alle condizioni iniziali ($\Delta\phi = 0.5\%$)



Sistema di Lorenz

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

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

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

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

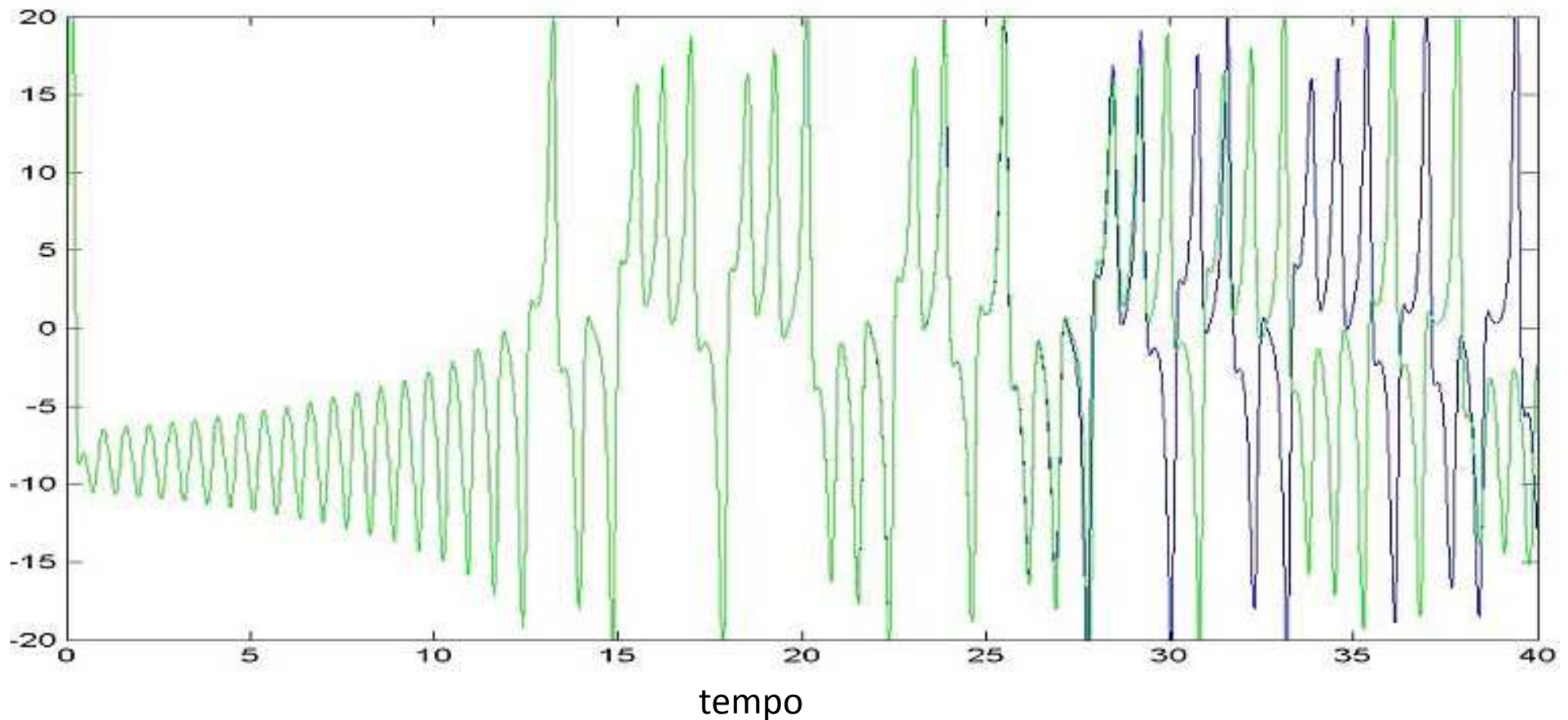
$$y_{(t=0)} = 1$$

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

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

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

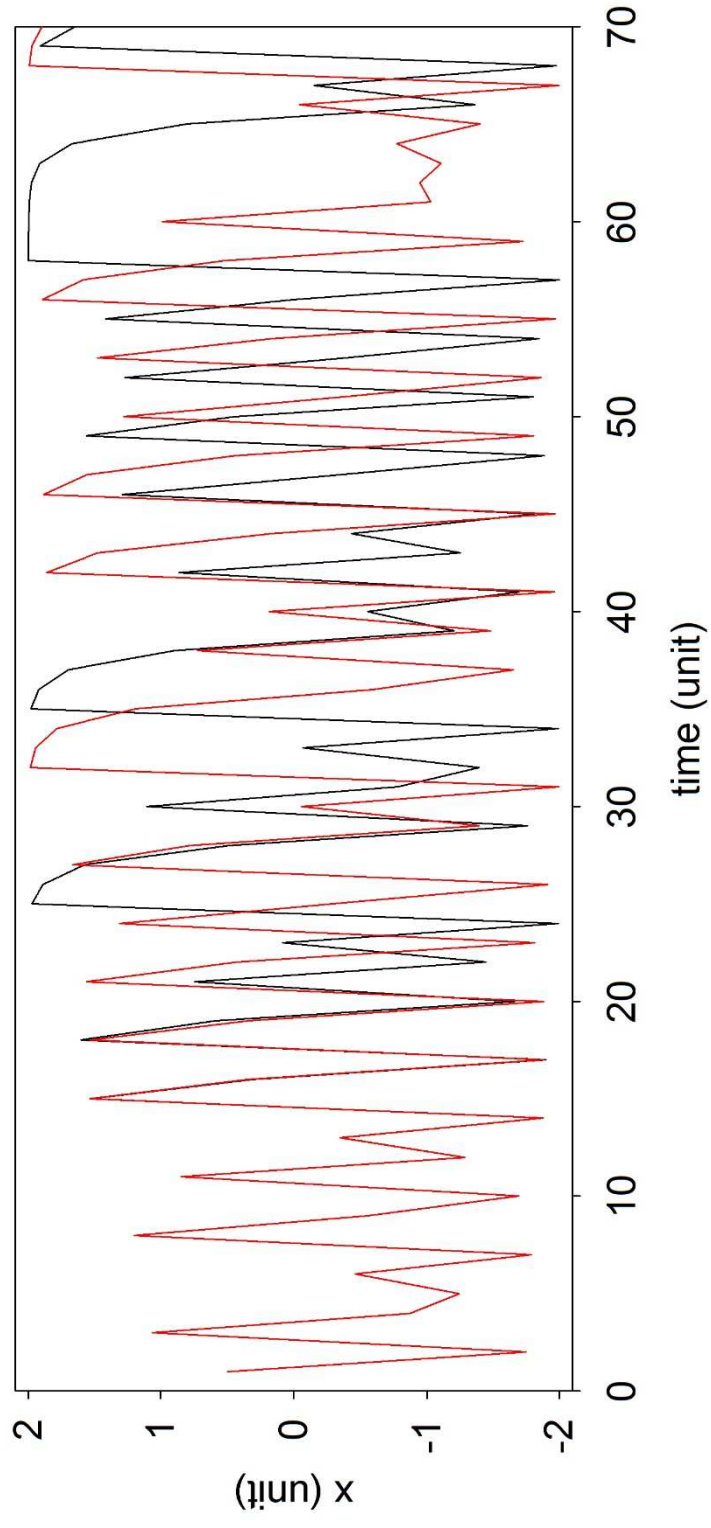
$$z_{(t=0)} = 1$$



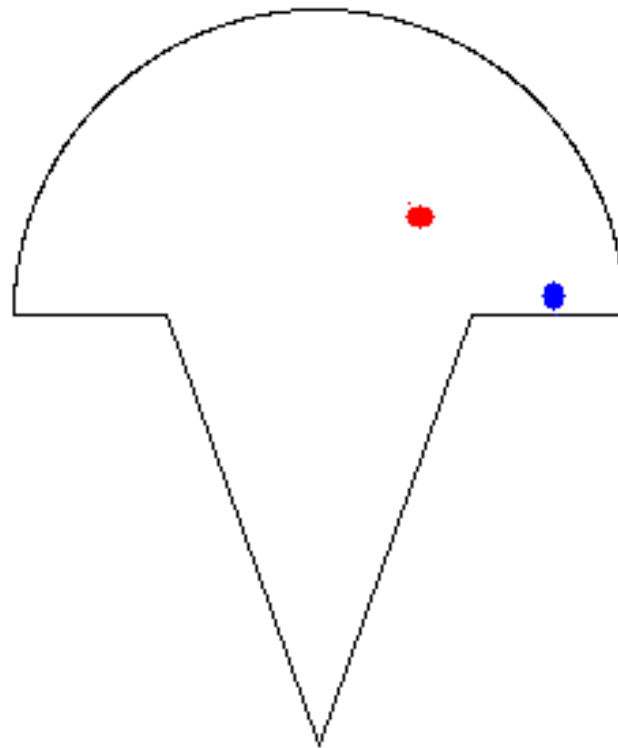
$$\mathbf{x}_t = \mathbf{x}_{t-1}^2 - 2$$

$$\mathbf{x}_0 = 0.5000000$$

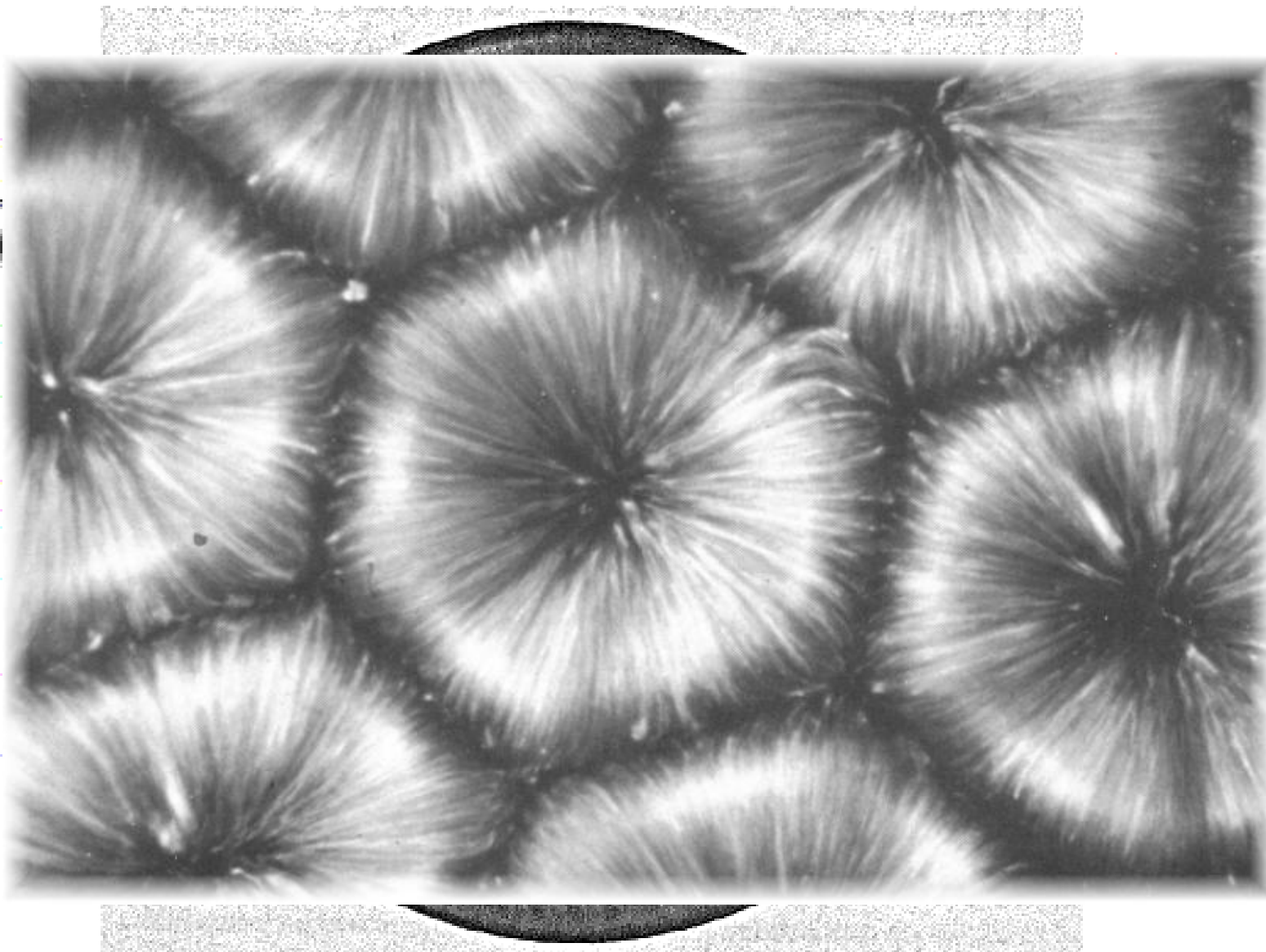
$$\mathbf{x}'_0 = 0.5000001$$



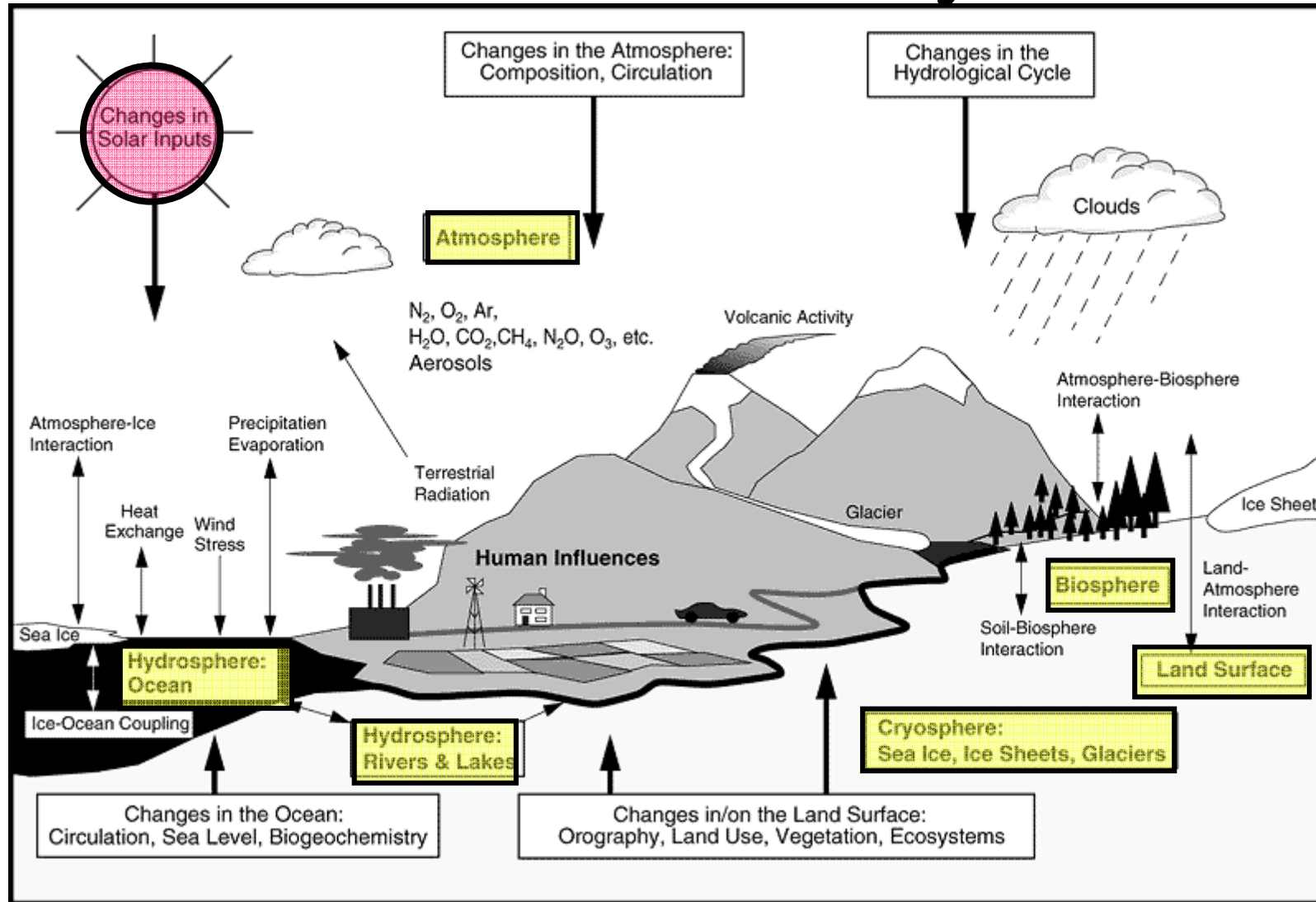
Biliardo ordine



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*

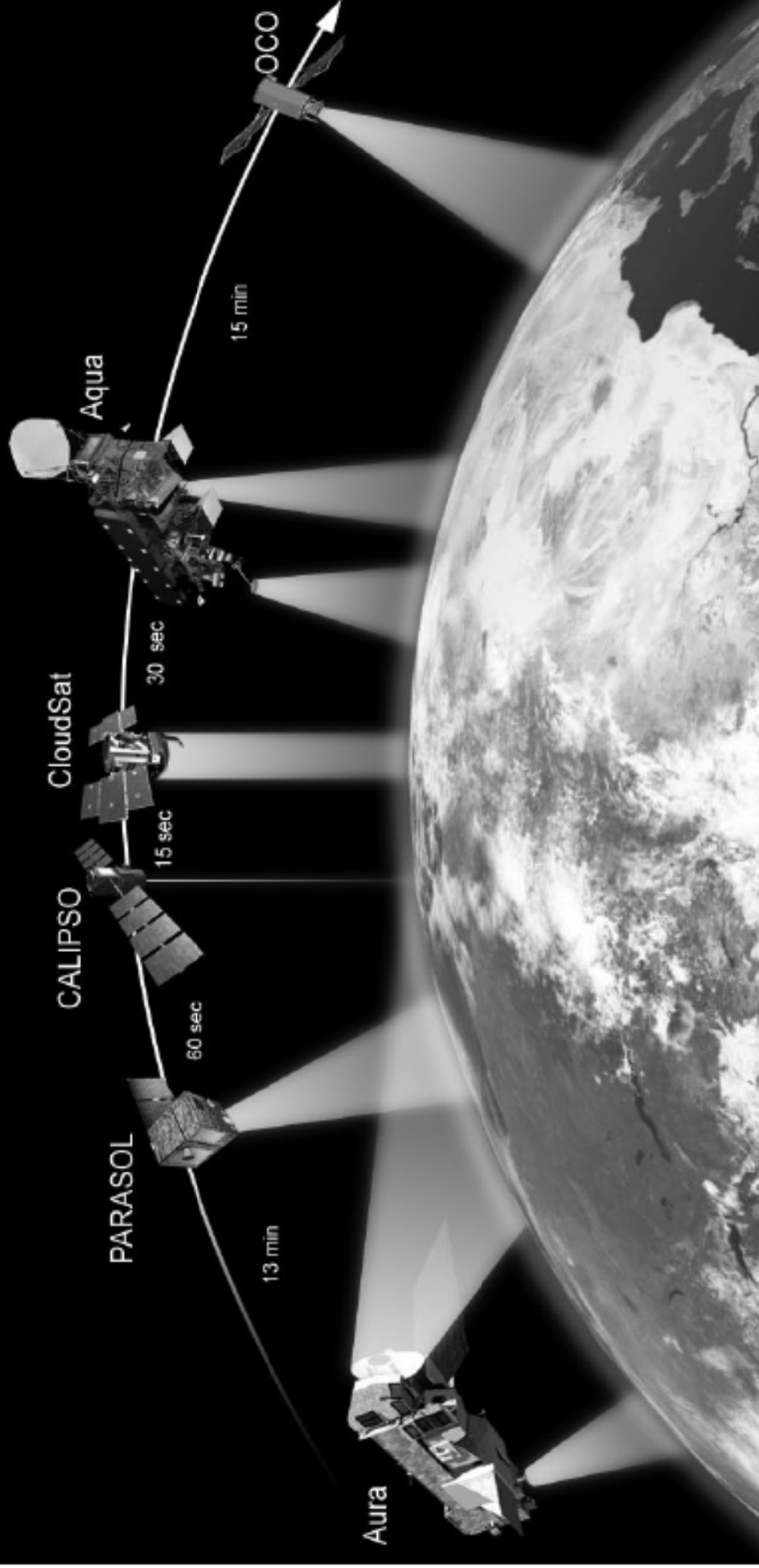
1991: Earth Science Enterprise

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 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
	Total Solar Irradiance	ACRIM III, TIM
SOLAR RADIATION	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+