

Federico Porcù, Dip. di Fisica ed Astronomia,
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
federico.porcu@unibo.it



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

25.05 Energia I

problema energetico, struttura atomica,
fissione nucleare

29.05 Energia II

fusione nucleare, centrali nucleari, energie
rinnovabili

03.06 Clima

sistema climatico, osservazione, modellazione
e tendenze



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

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)

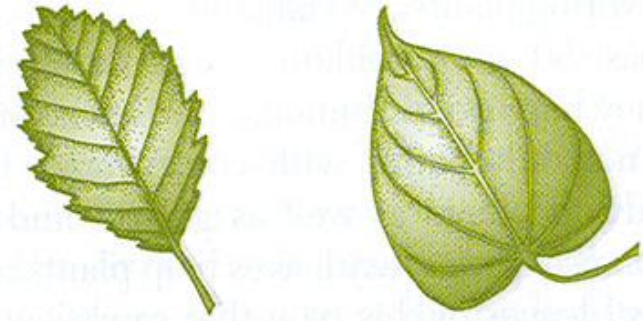
proxy data (paleoclima):

- anelli di accrescimento degli alberi

- forma delle foglie

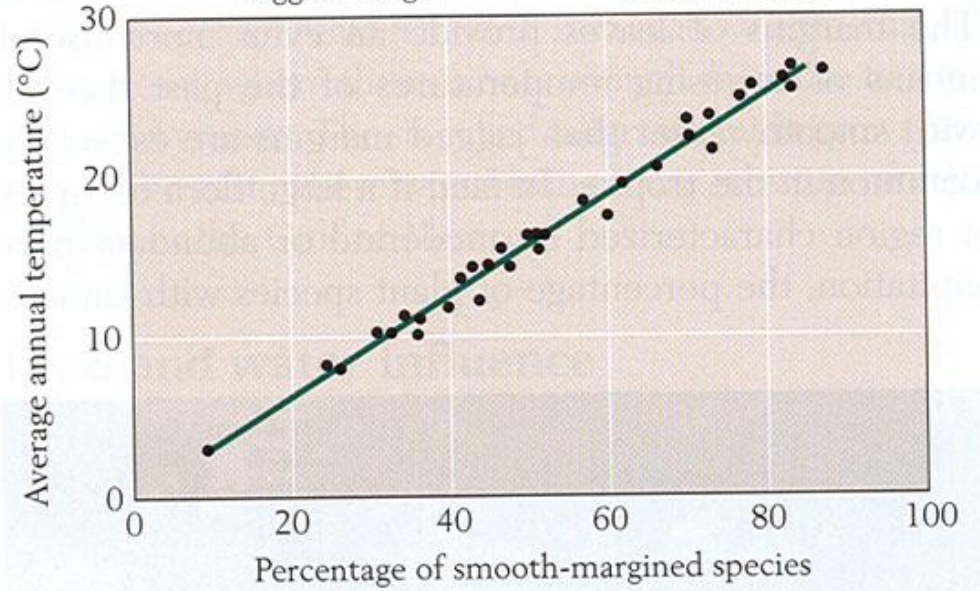
- O^{16}/O^{18}

- cronache storiche

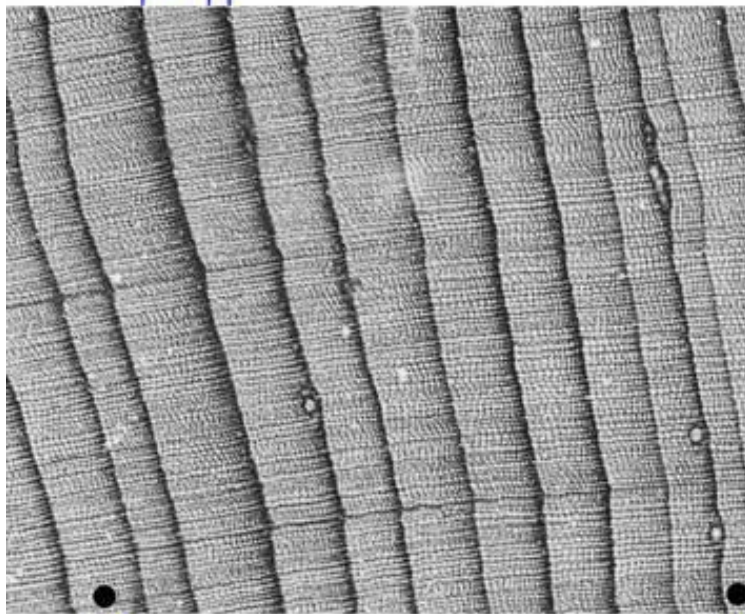


Jagged margin

Smooth margin



earlywood + latewood = annual ring



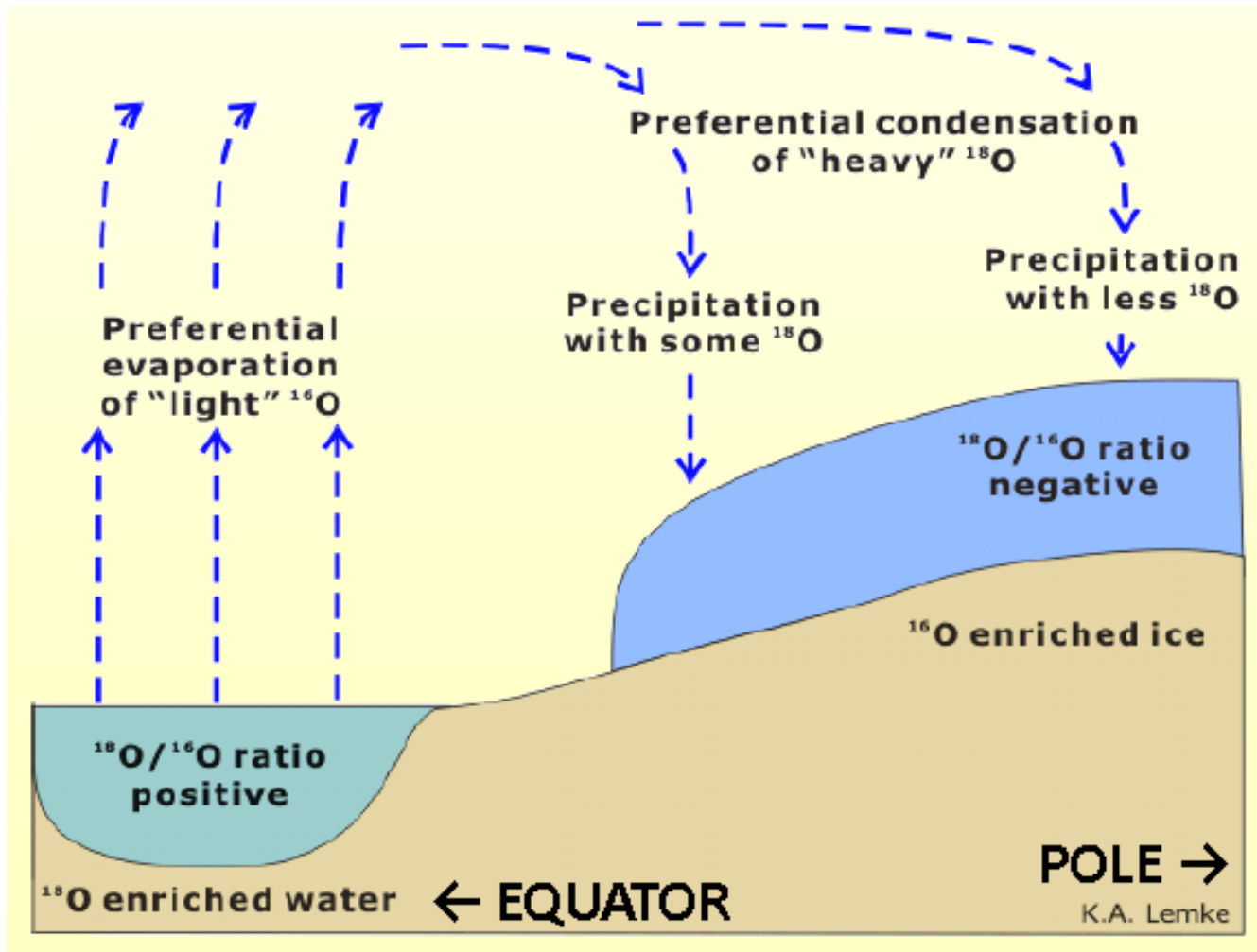
1770

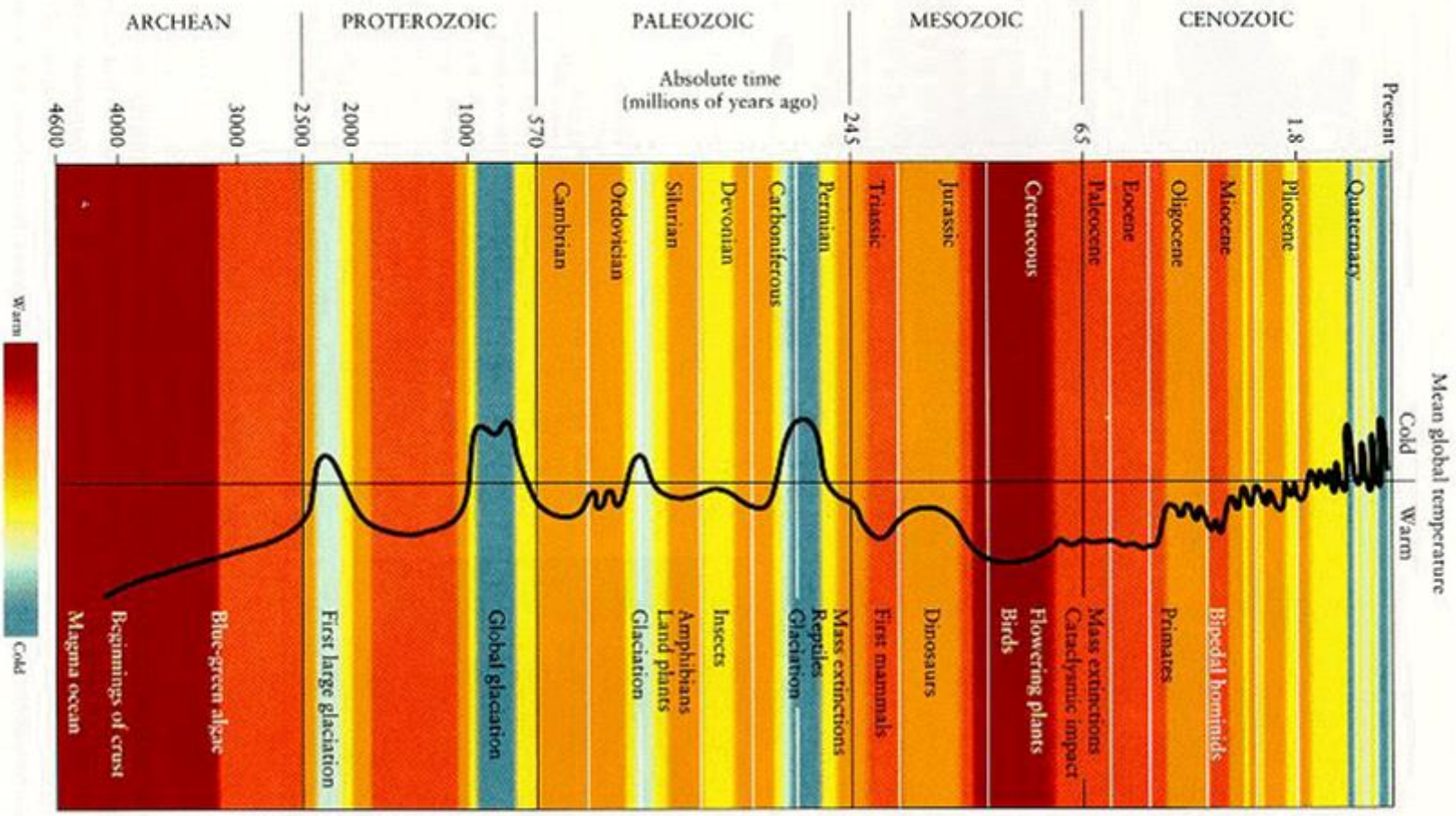
1780

1783

1790

1800

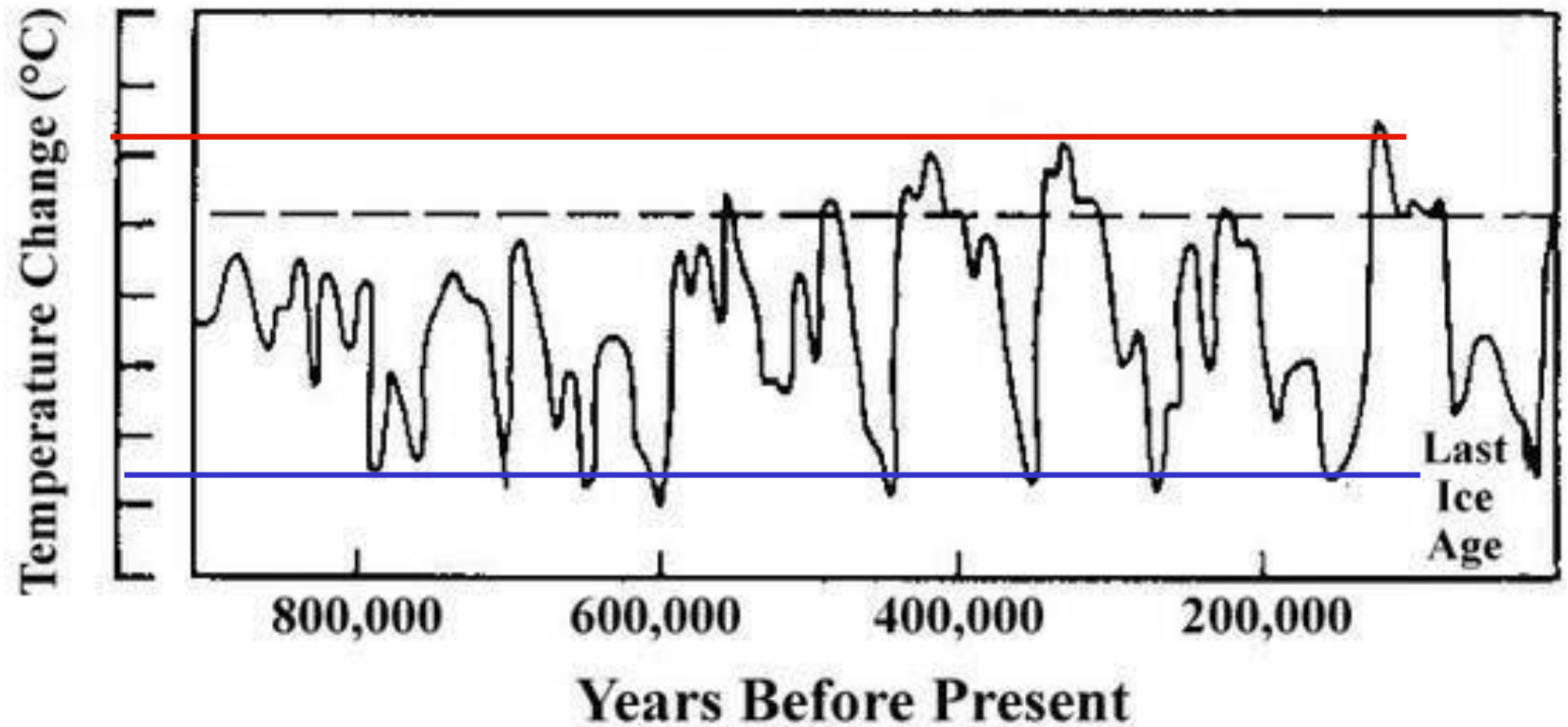




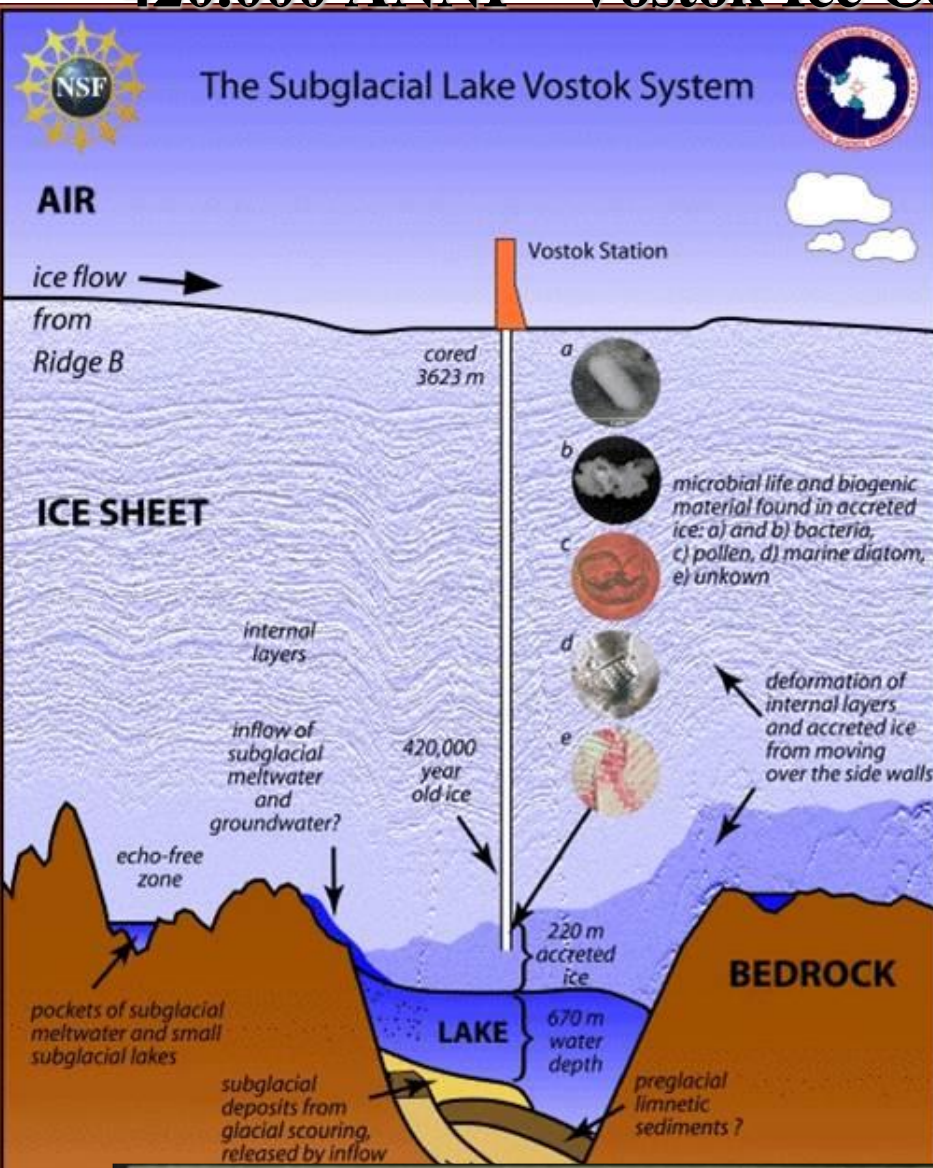
4.5 MILIARDI



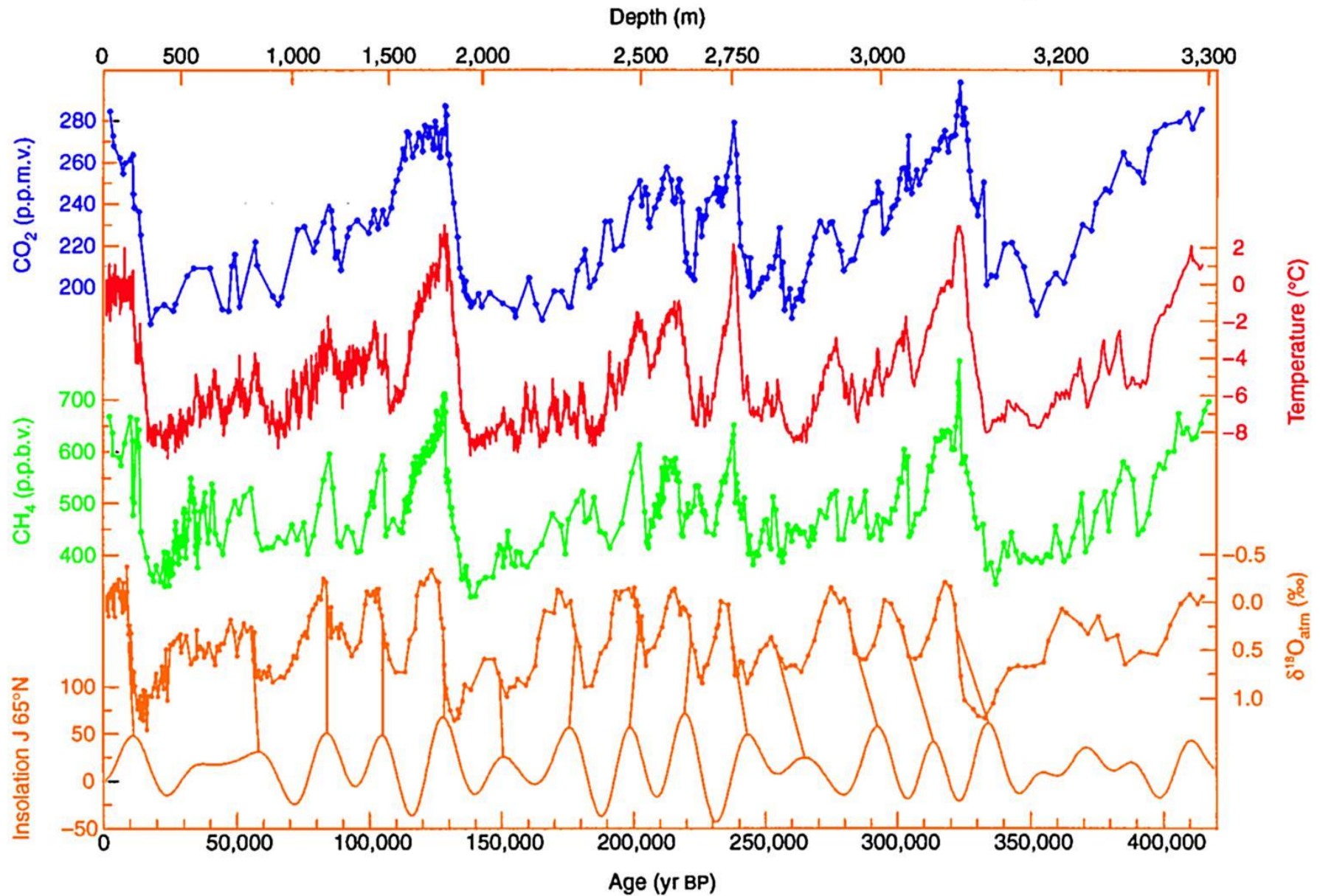
1 MILIONE DI ANNI



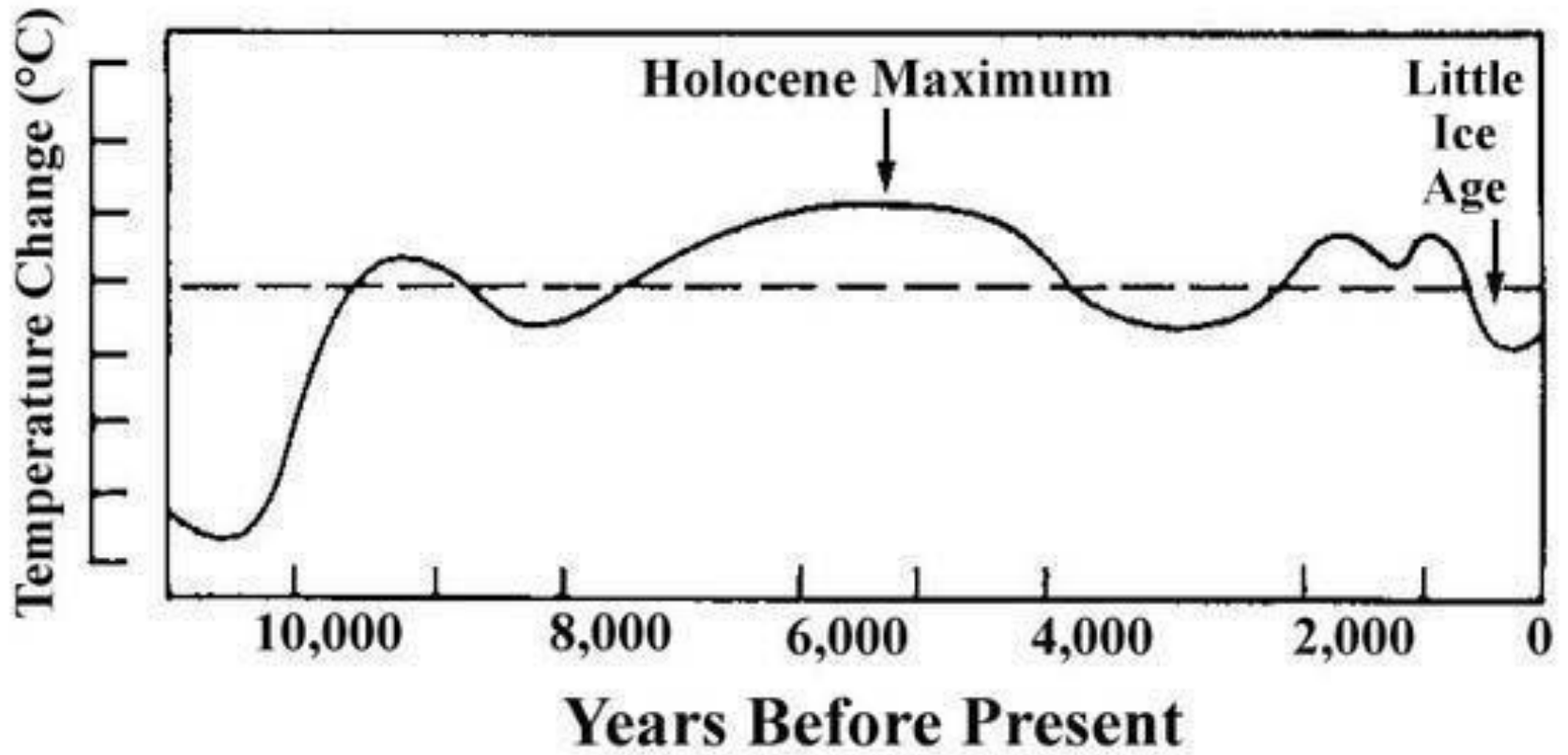
420,000 ANNI – Vostok Ice Core



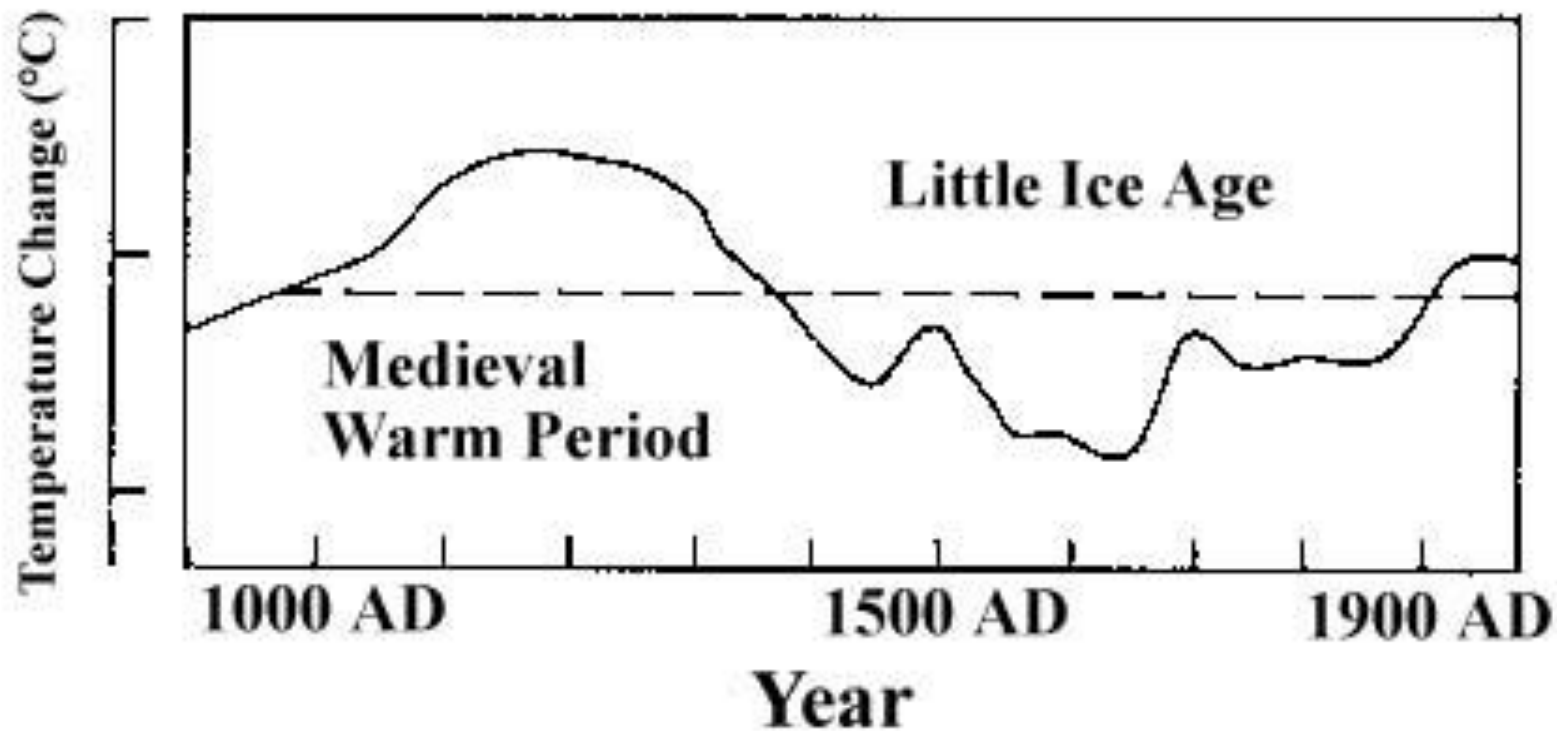
420.000 ANNI – Vostok Ice Core



10.000 ANNI

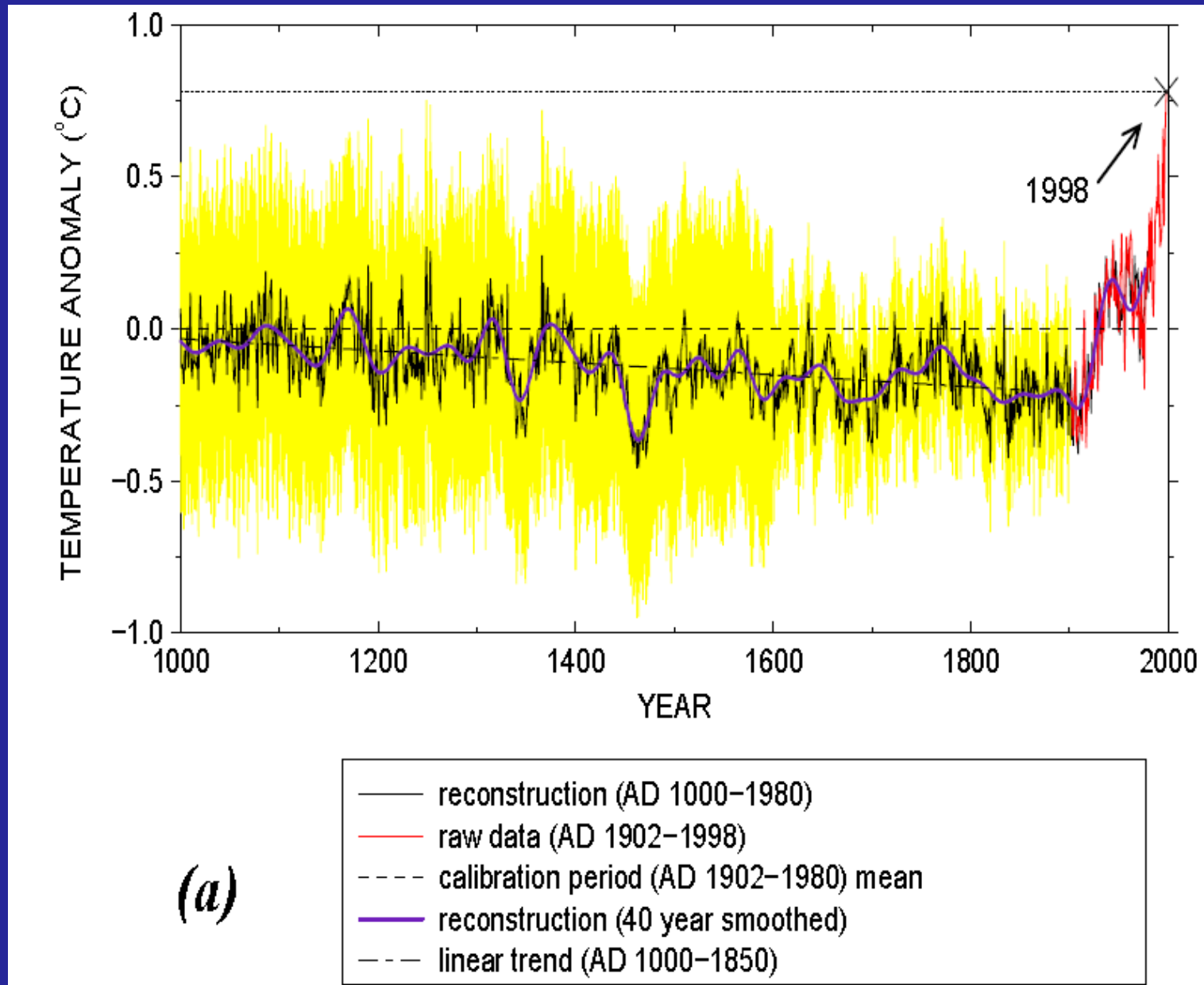


1.000 ANNI



osservazione delle tendenze I

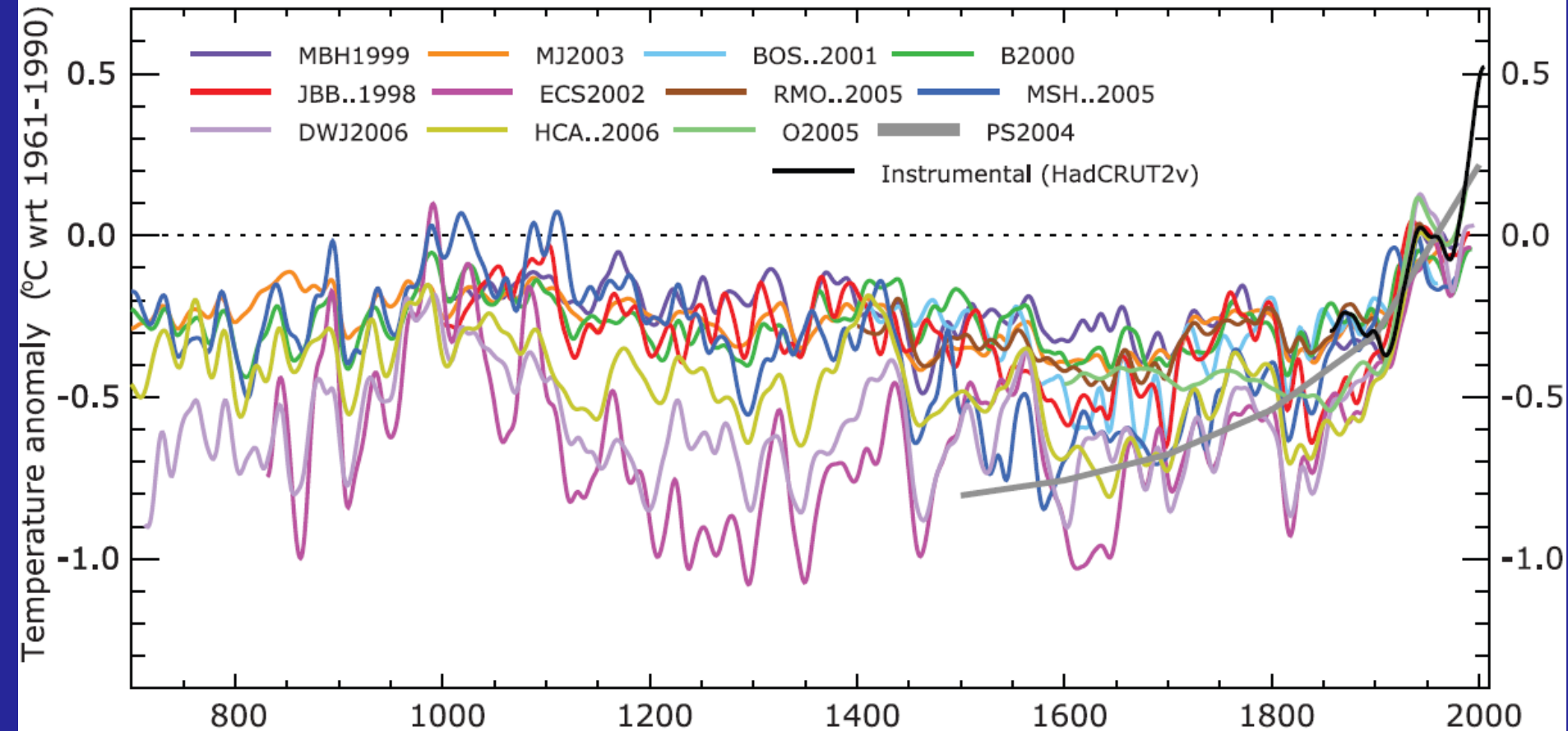
hockey stick (Mann, Bradley, Hughes, JGR, 1999)



osservazione delle tendenze II

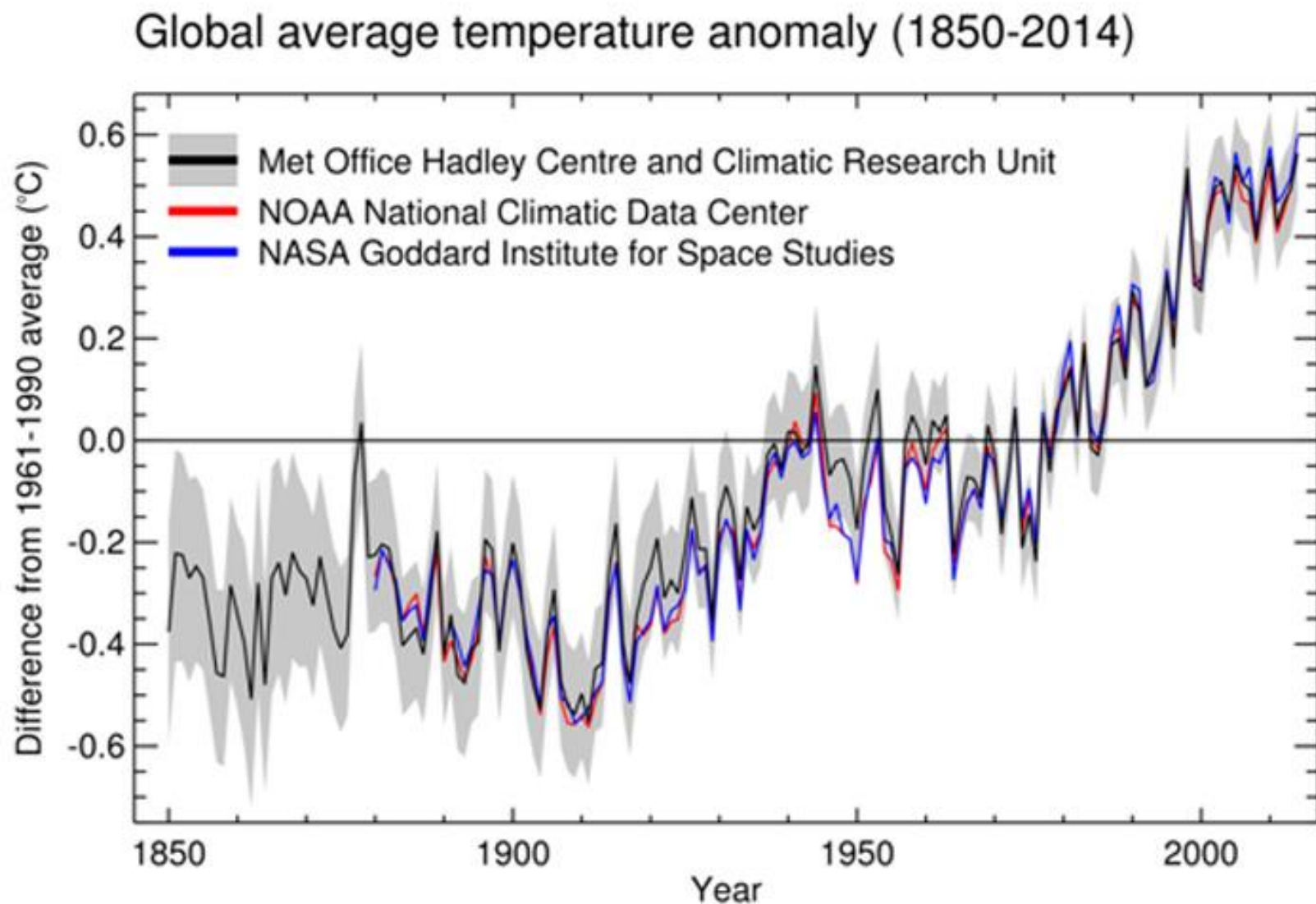
stime della temperatura media dell'emisfero nord

NORTHERN HEMISPHERE TEMPERATURE RECONSTRUCTIONS



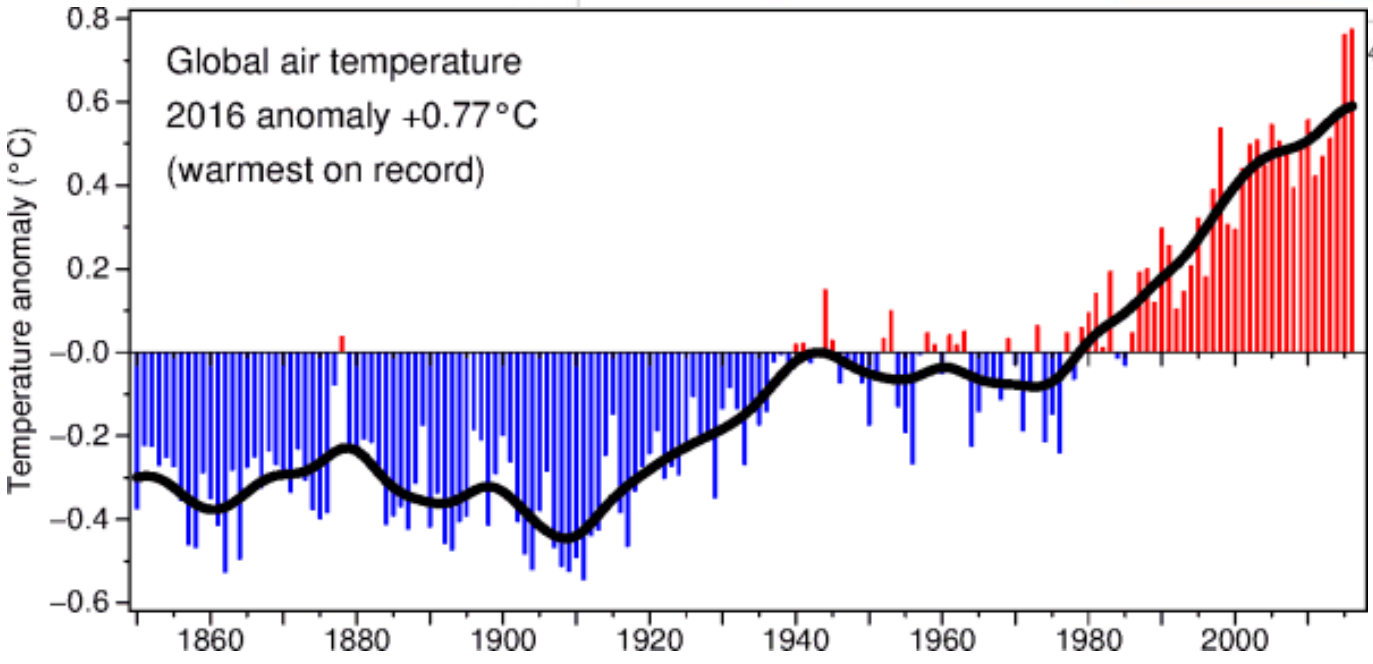
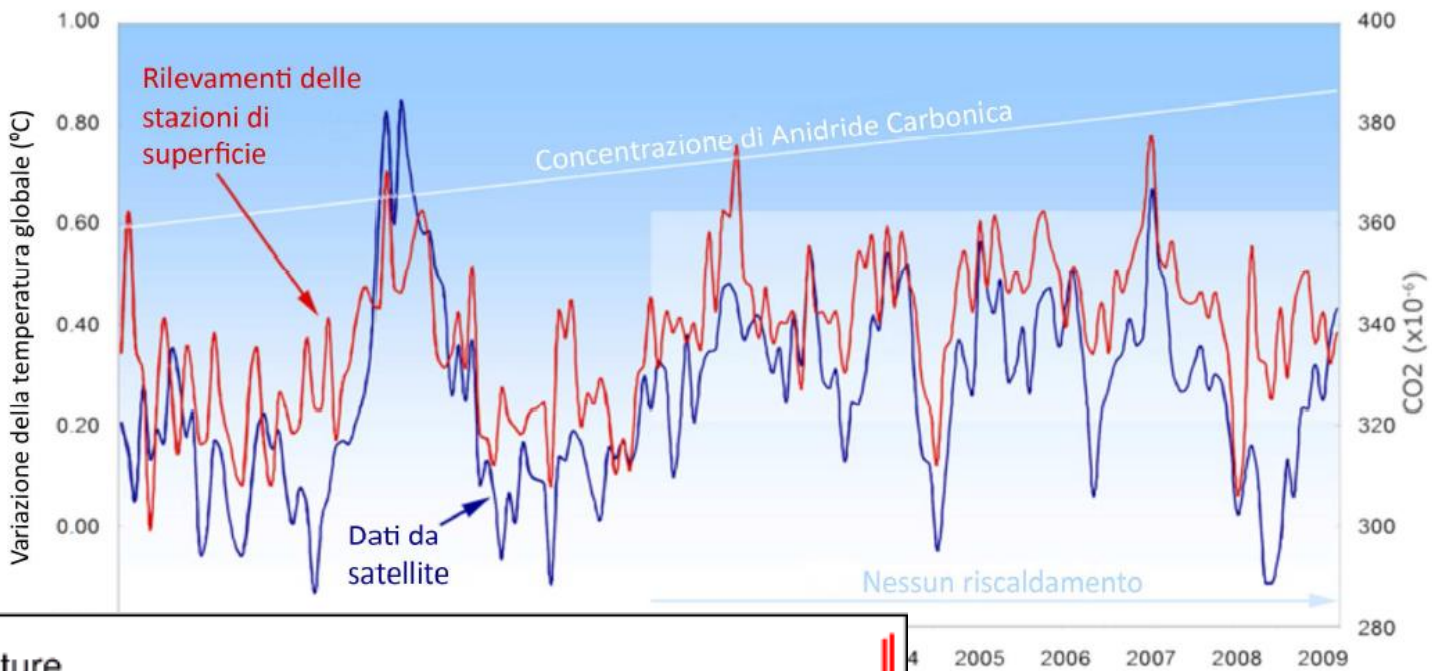
osservazione delle tendenze III

ultimi anni



osservazione delle tendenze III

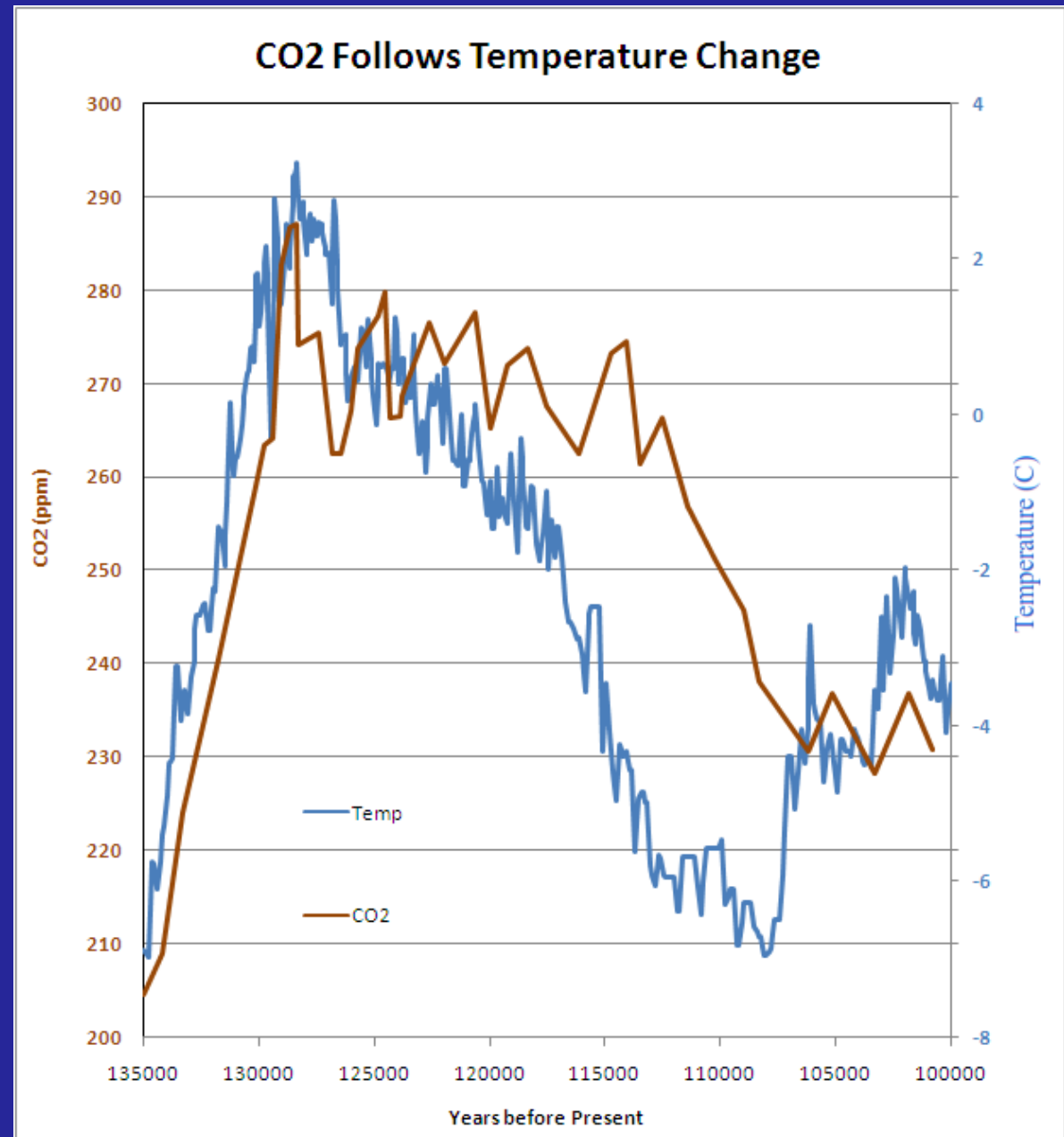
GW hiatus



osservazione delle tendenze IV

relazione GHG/ ΔT

le variazioni di contenuto di CO₂ seguono di circa 800 anni le variazioni della temperatura

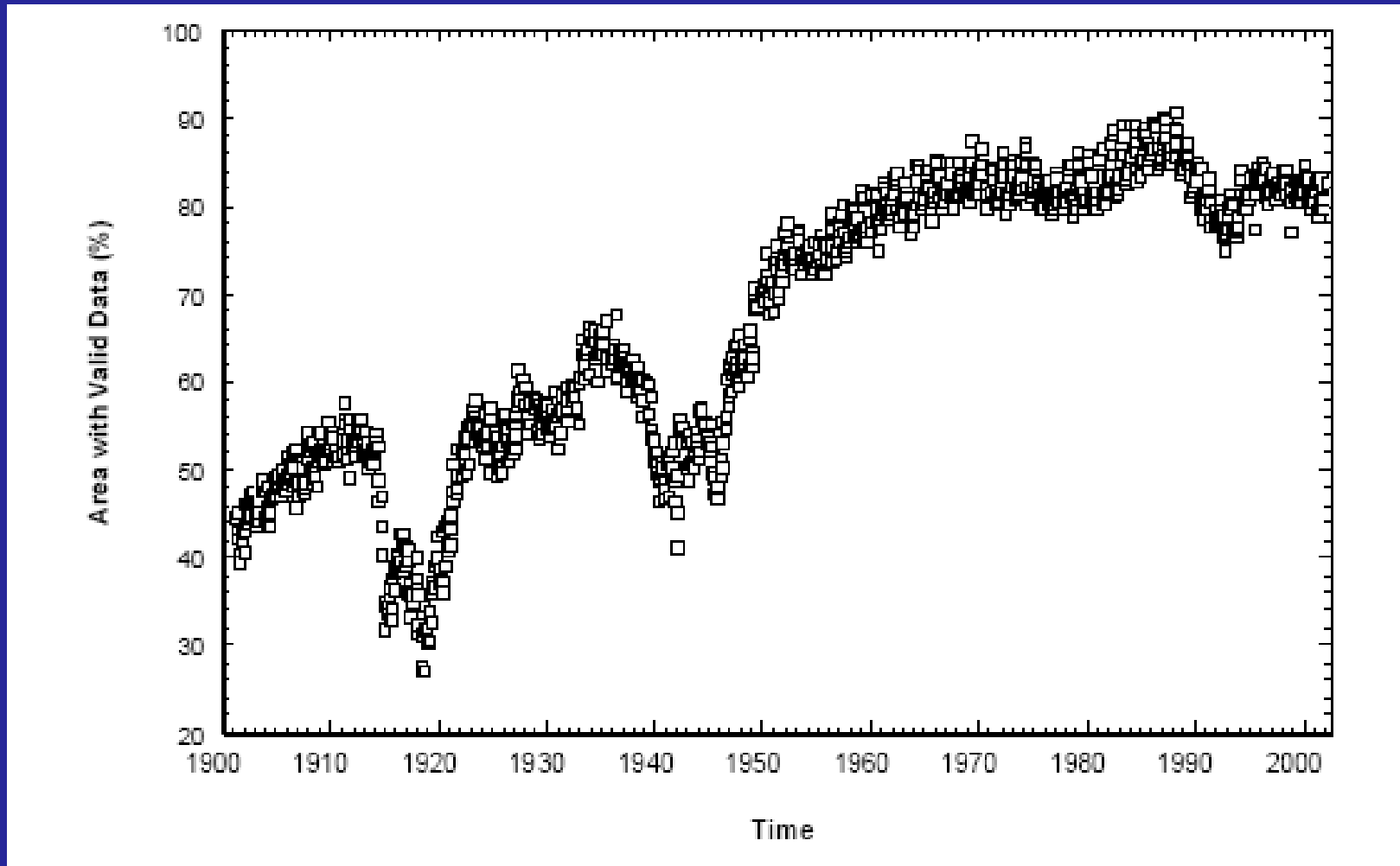


Mudelsee, 2001

osservazione delle tendenze V

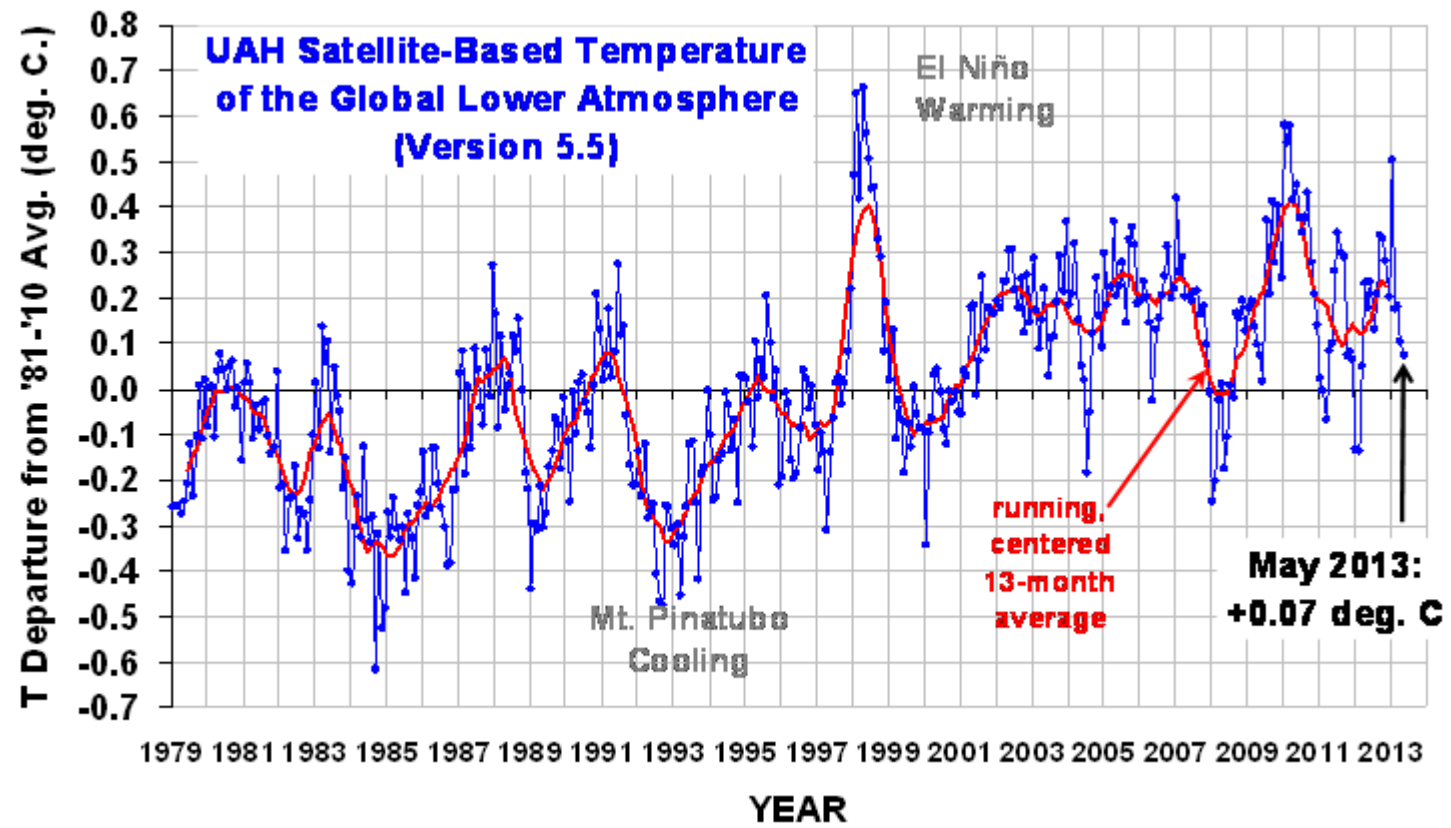
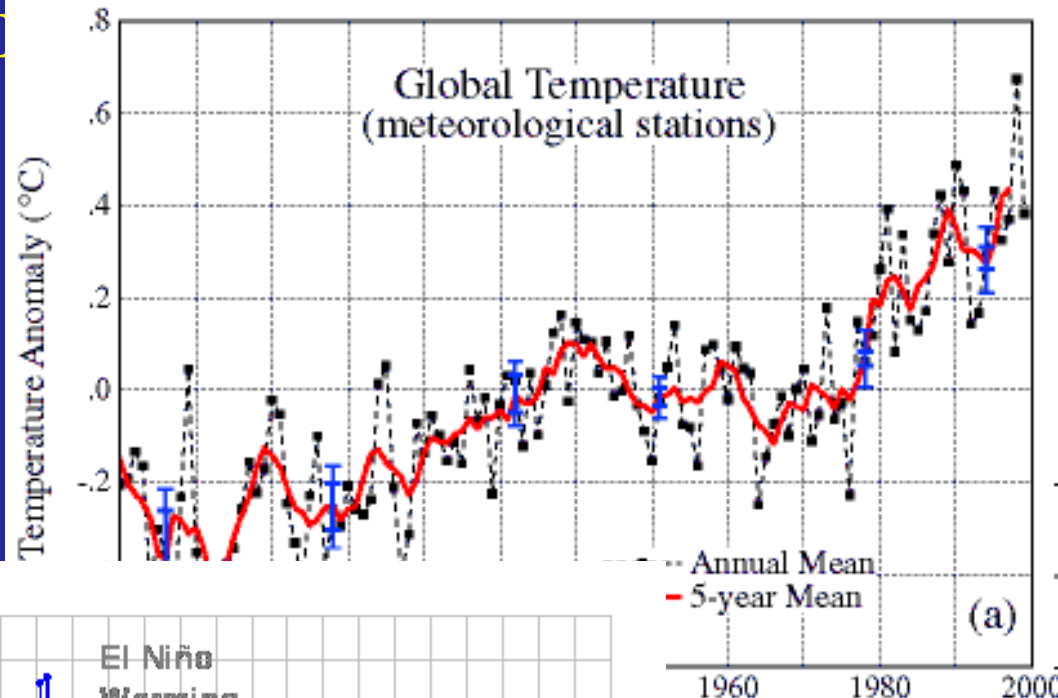
copertura globale dei sensori

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

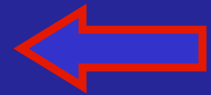


osservazione delle tendenze VI osservazioni dallo spazio

0,2 K/decade

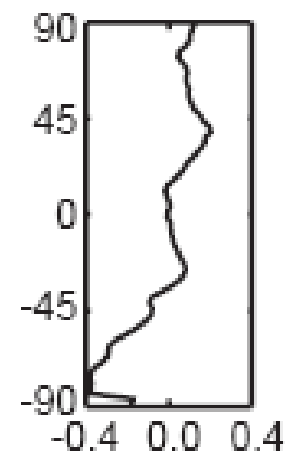
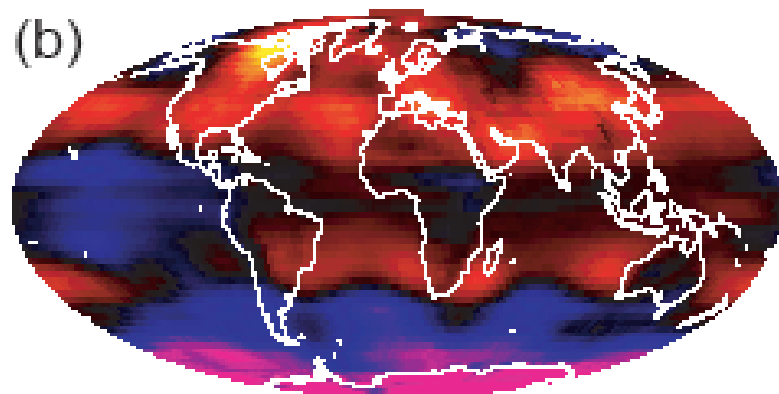
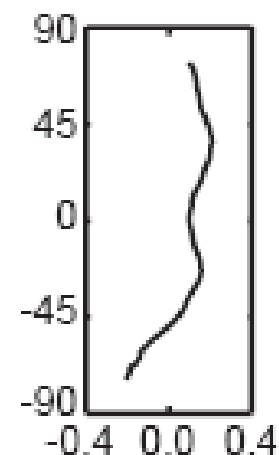
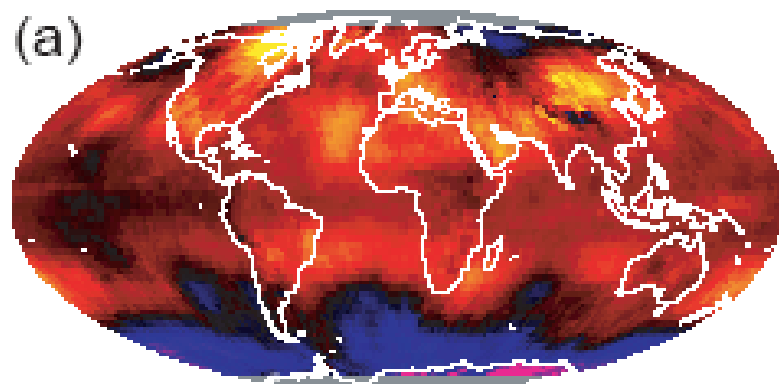


0,09 K/decade



osservazione delle tendenze VIII

Microwave Sounding Unit (MSU)

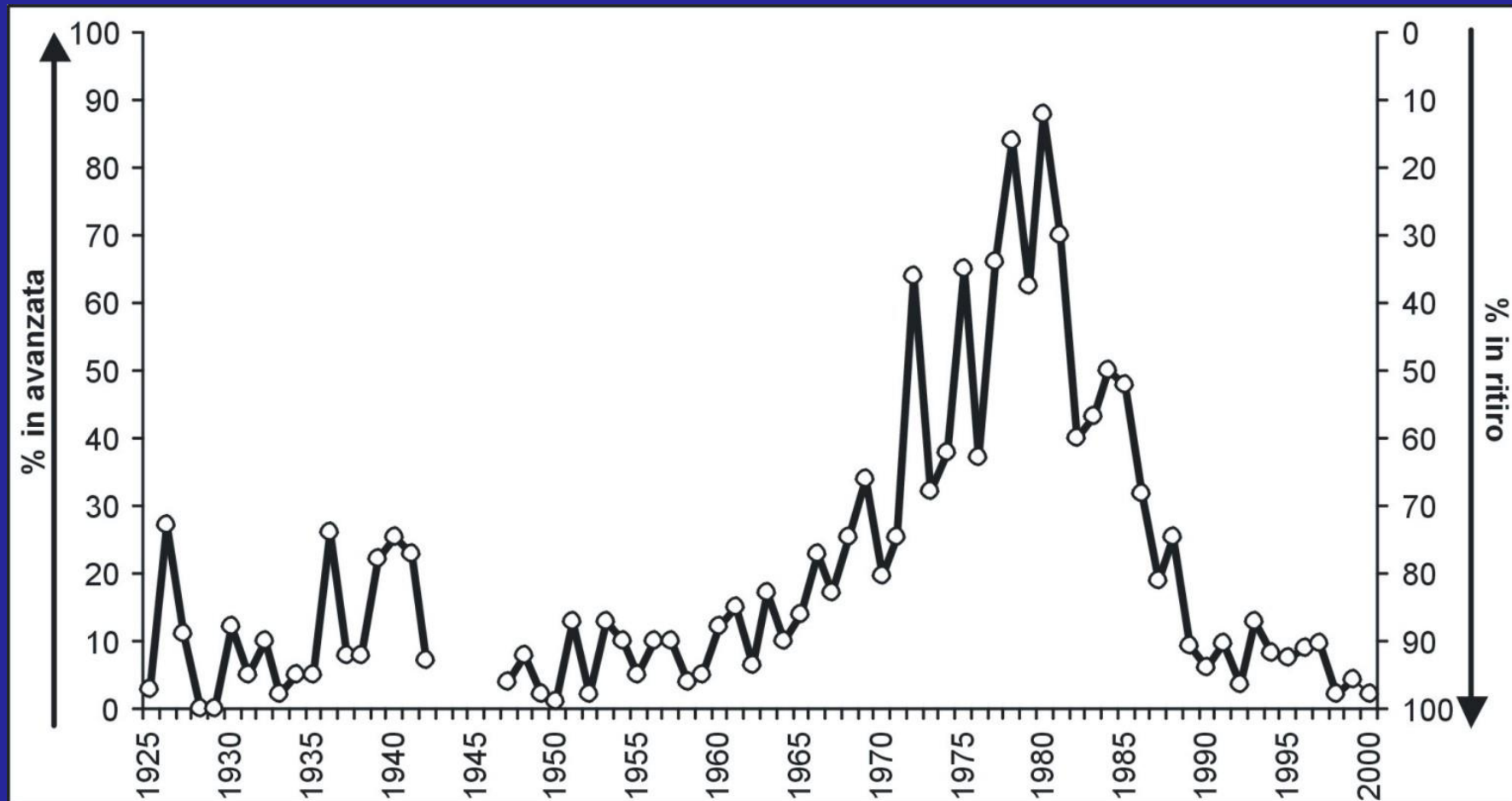


Trend (K/decade)



osservazione delle tendenze IX

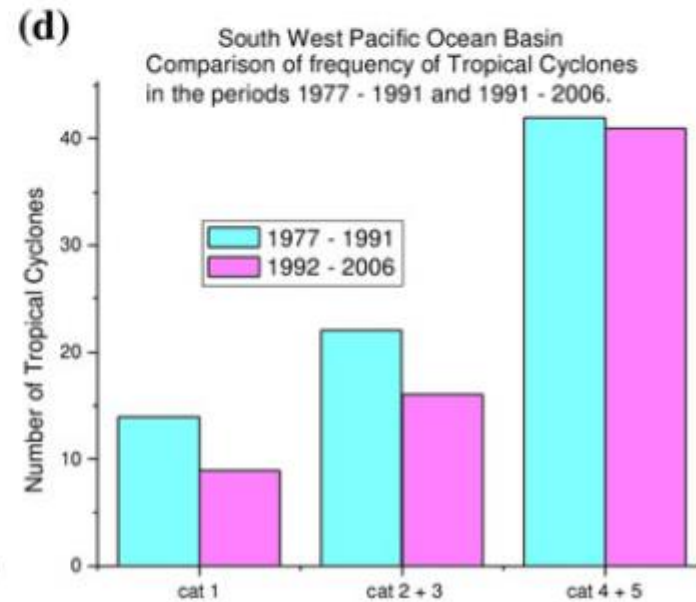
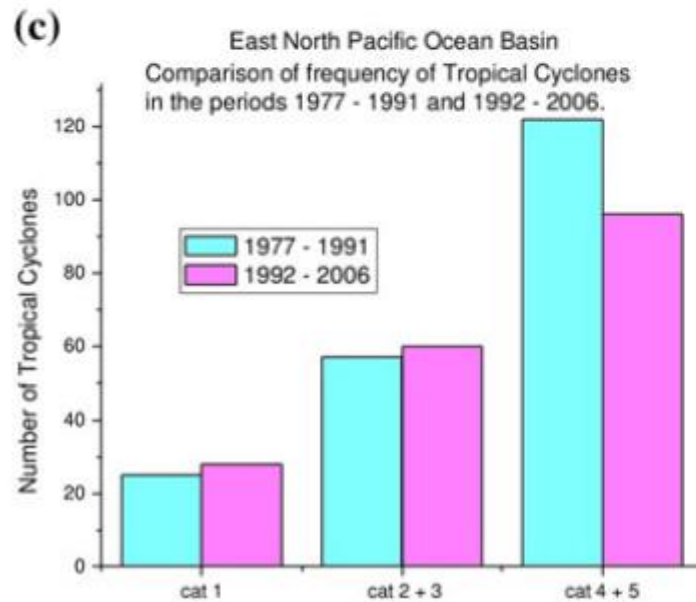
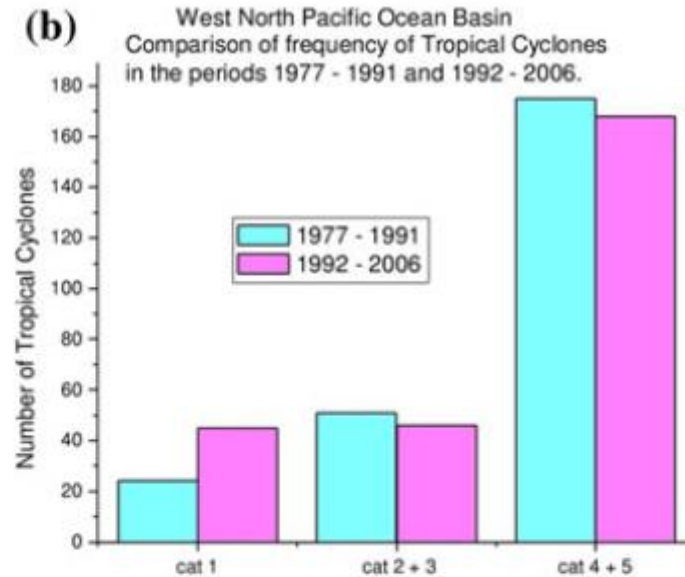
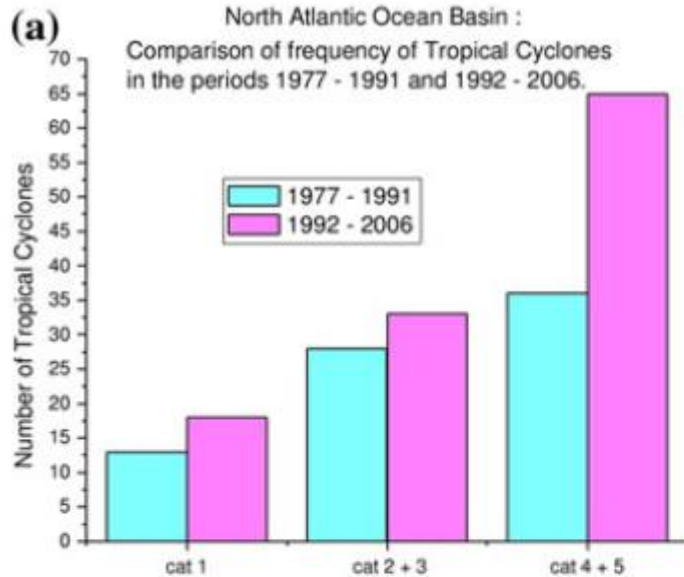
ritiro dei ghiacciai



osservazione delle tendenze X

eventi estremi: cicloni tropicali

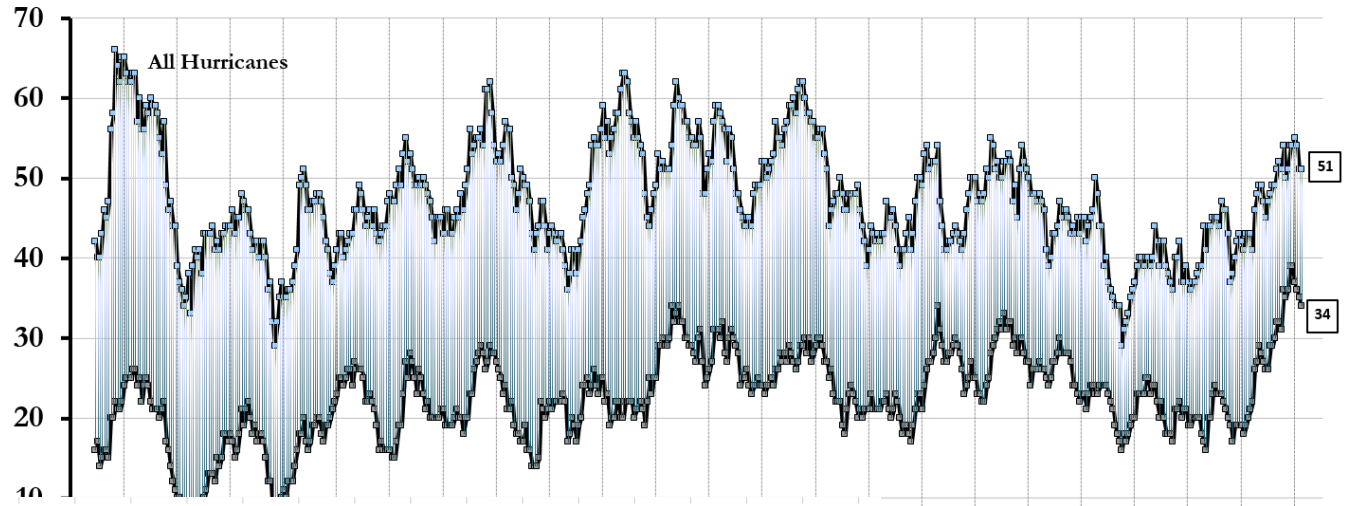
Deo et al., 2011



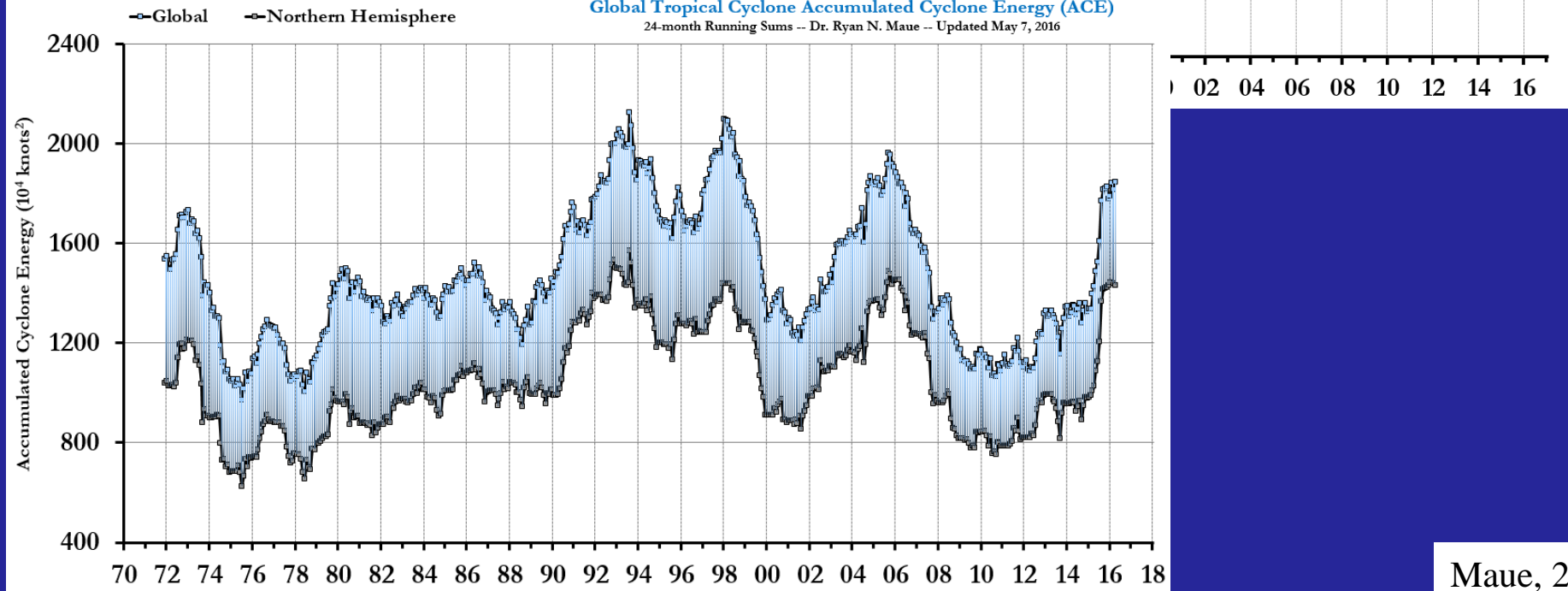
osservazione delle tendenze X

eventi estremi: cicloni tropicali

Global Hurricane Frequency -- Dr. Ryan N. Maue -- Updated May 7, 2016 -- 12 month running sums

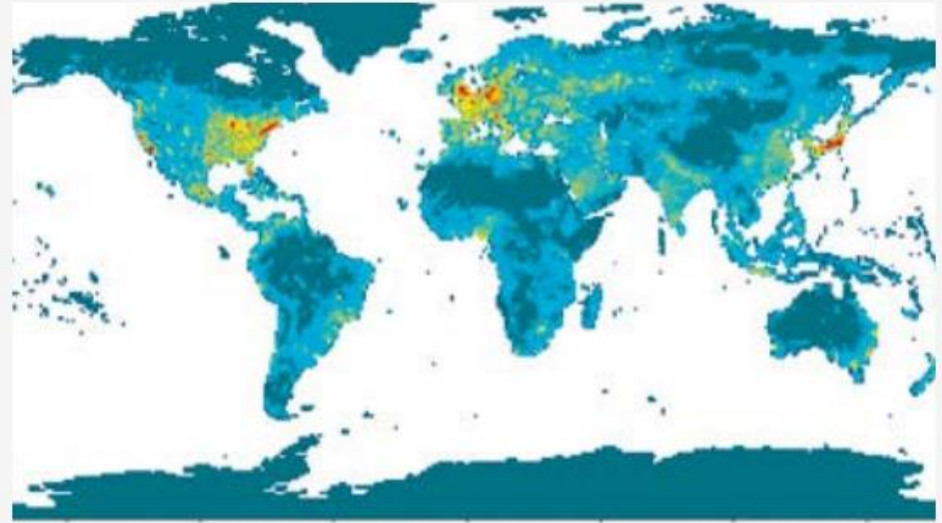


Global Tropical Cyclone Accumulated Cyclone Energy (ACE)
24-month Running Sums -- Dr. Ryan N. Maue -- Updated May 7, 2016

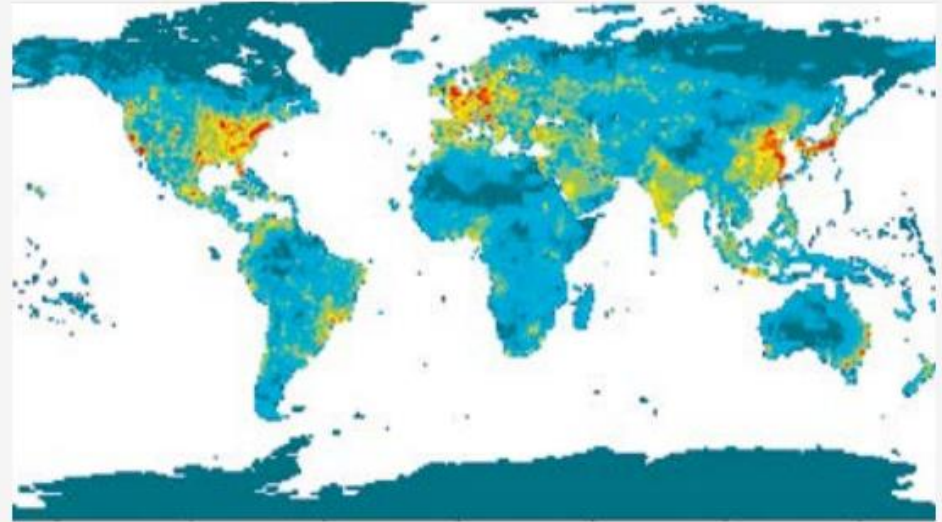


osservazione delle tendenze eventi estremi: PIL

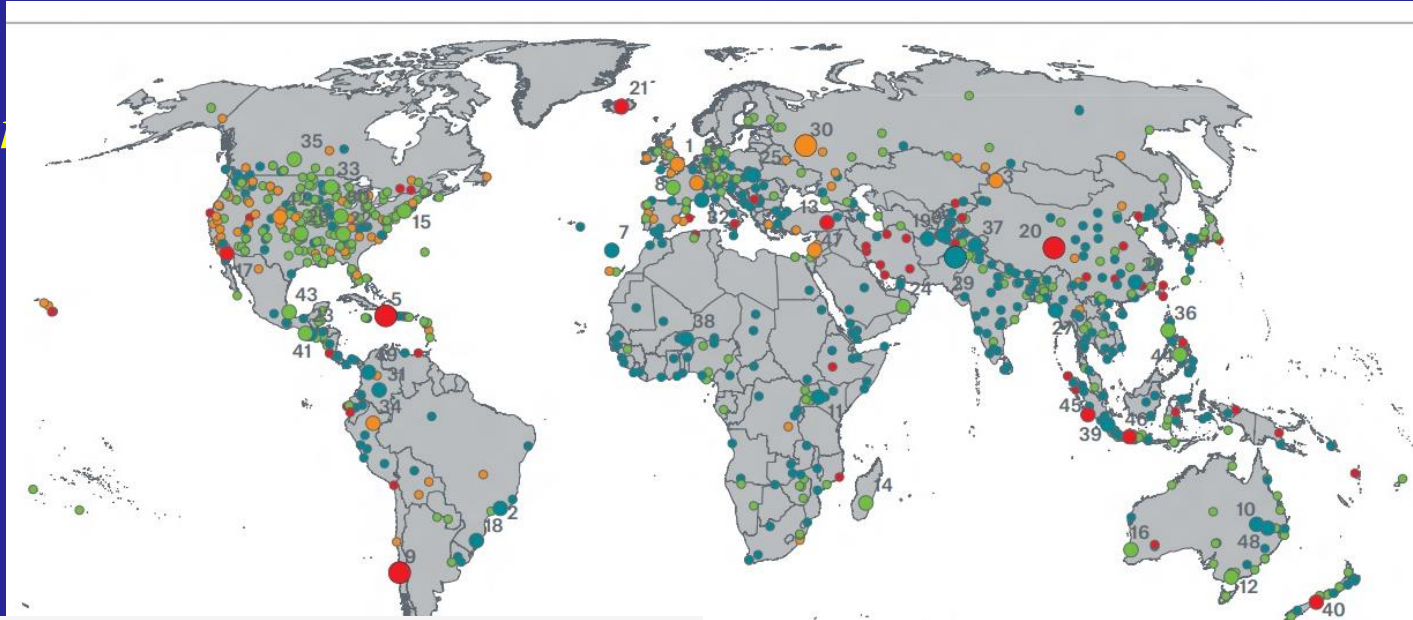
1980



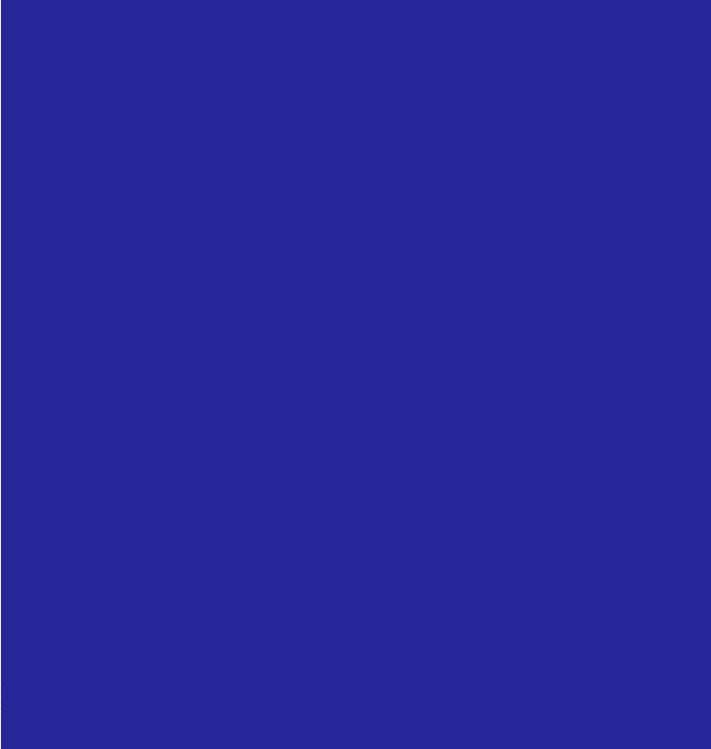
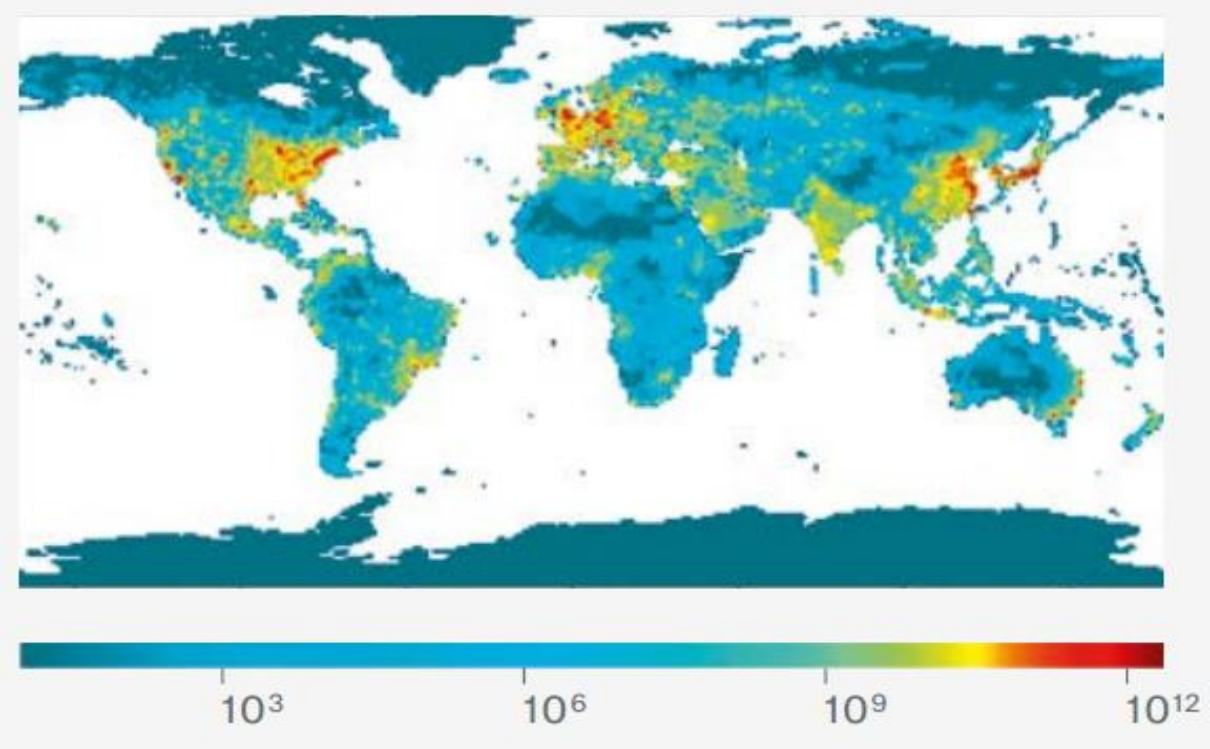
2015



osservazione delle eventi estremi: dan



2015



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:

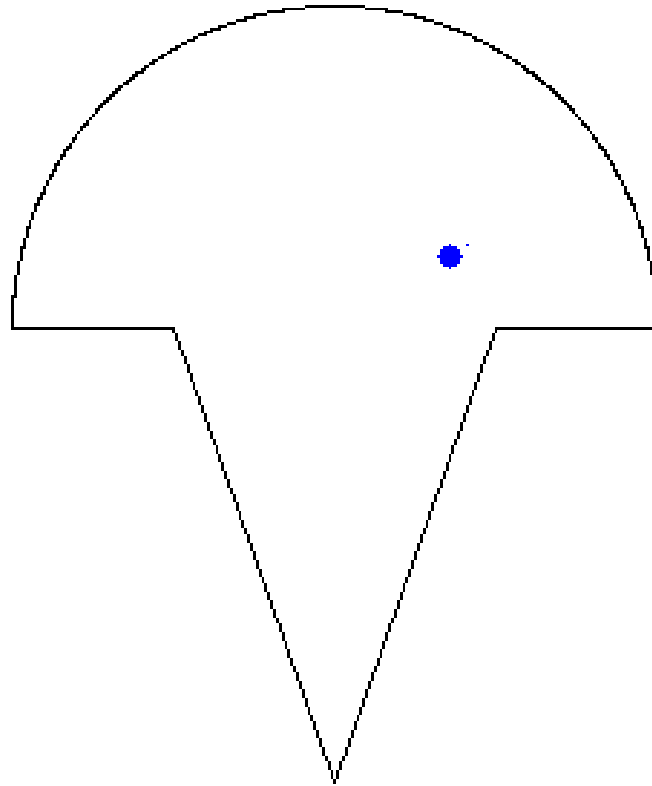
- i componenti interagiscono tra loro in modo lineare;
- è riducibile;
- è predicibile;
- è descritto da un numero finito di parametri.

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

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

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

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

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

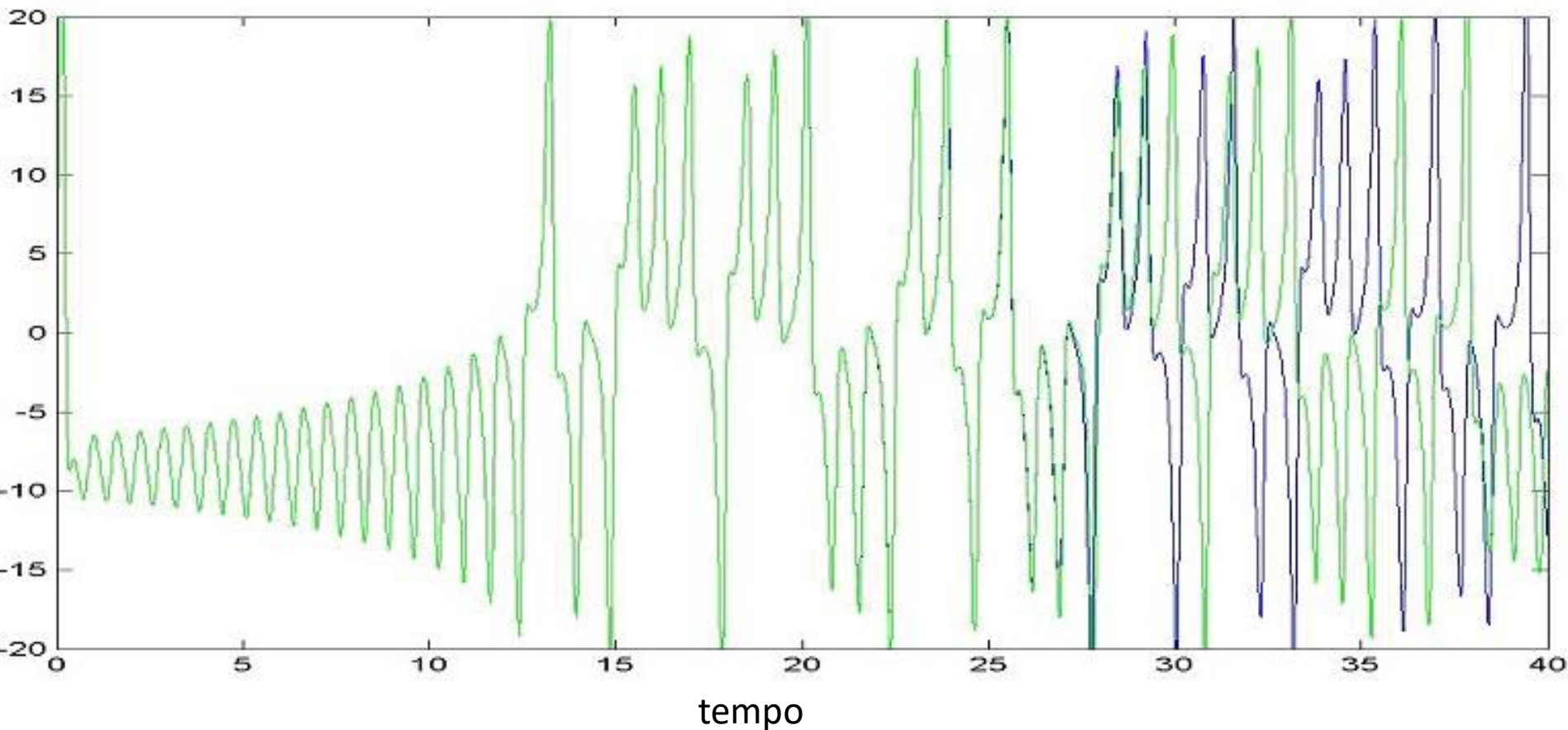
$$y_{(t=0)} = 1$$

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

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

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

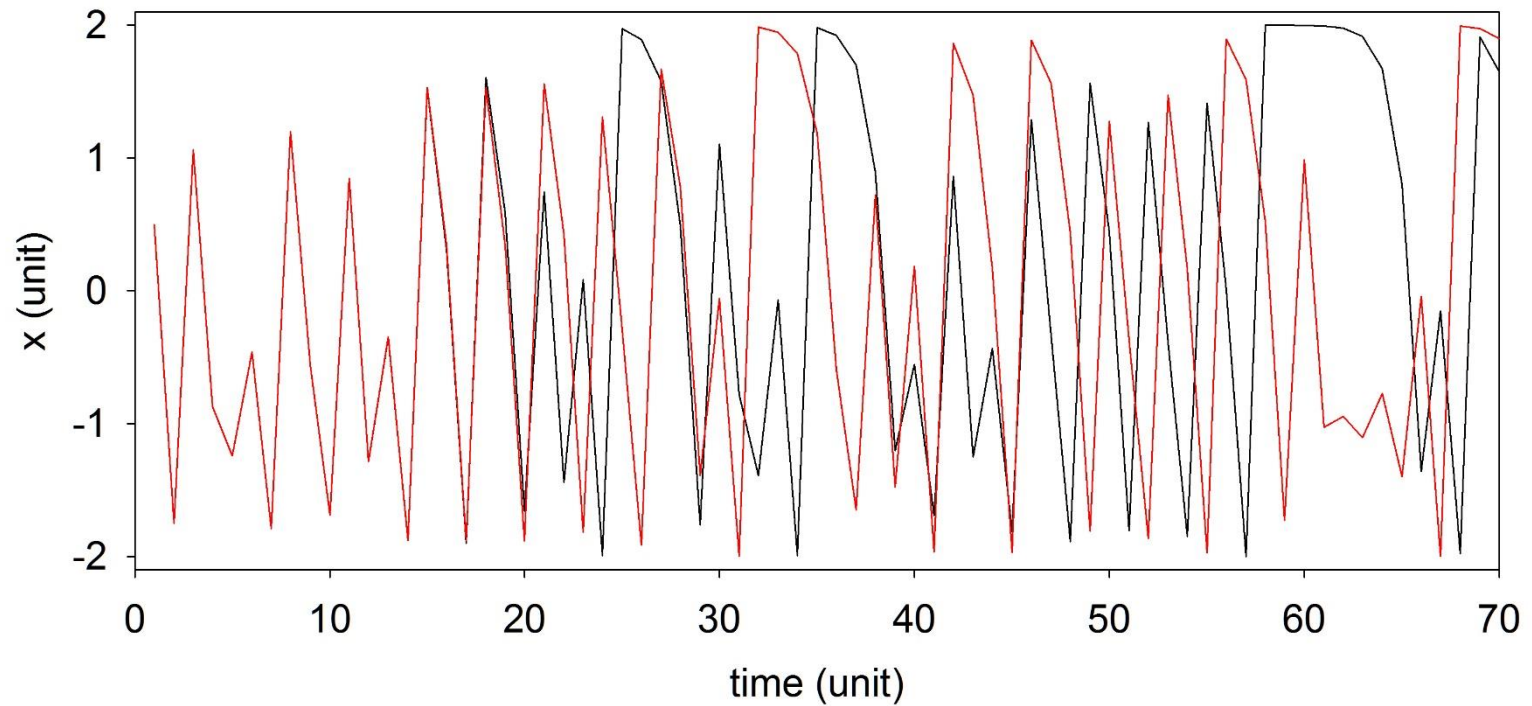
$$z_{(t=0)} = 1$$



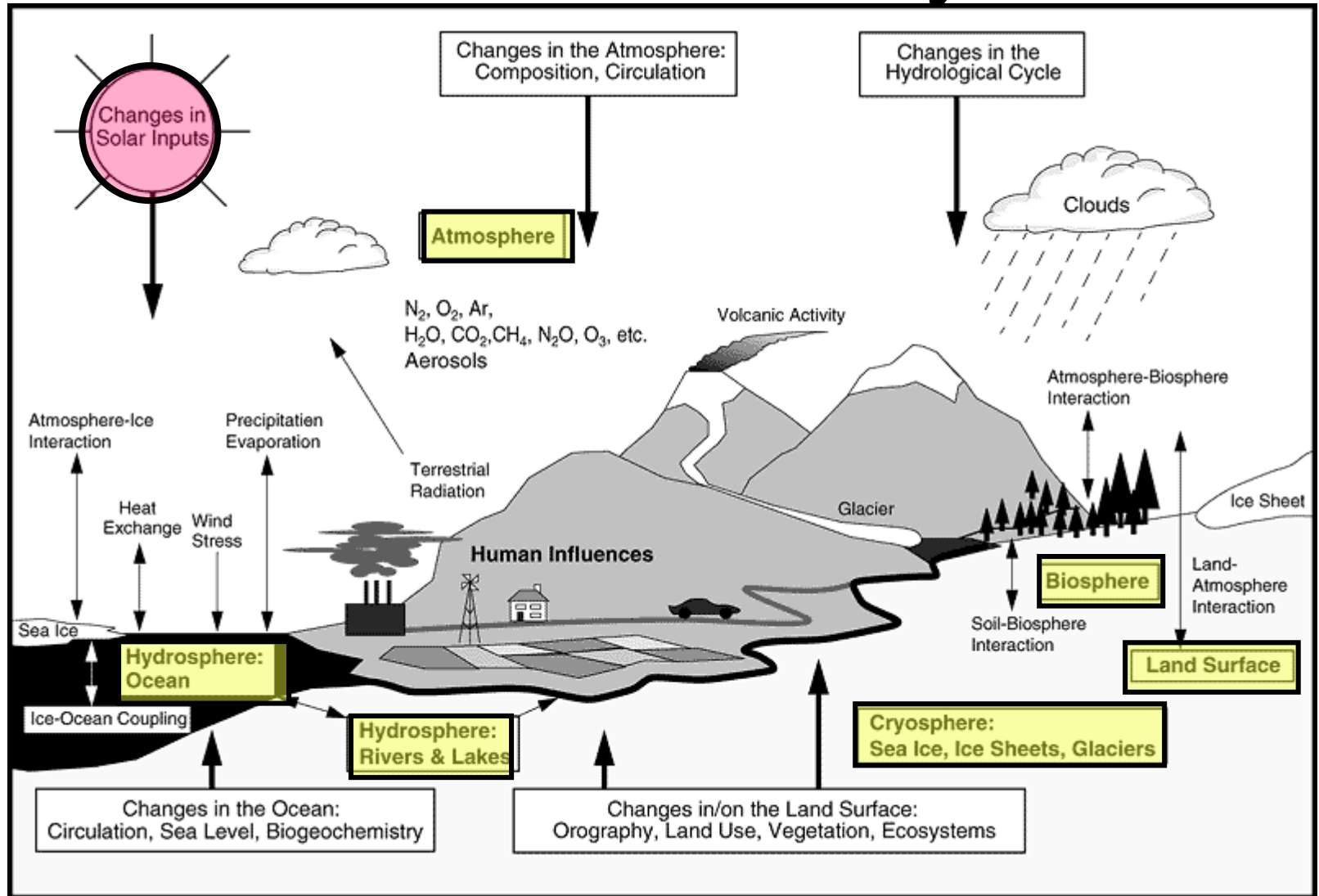
$$\mathbf{x}_t = \mathbf{x}_{t-1}^2 - 2$$

$$\mathbf{x}_o = 0.500000$$

$$\mathbf{x}'_o = 0.500001$$



The Global Climate System



Publicità



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

LAUREA MAGISTRALE IN FISICA DEL SISTEMA TERRA



PHD PROGRAMME

FUTURE EARTH, CLIMATE CHANGE AND SOCIETAL CHALLENGES

IT

EN

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

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*

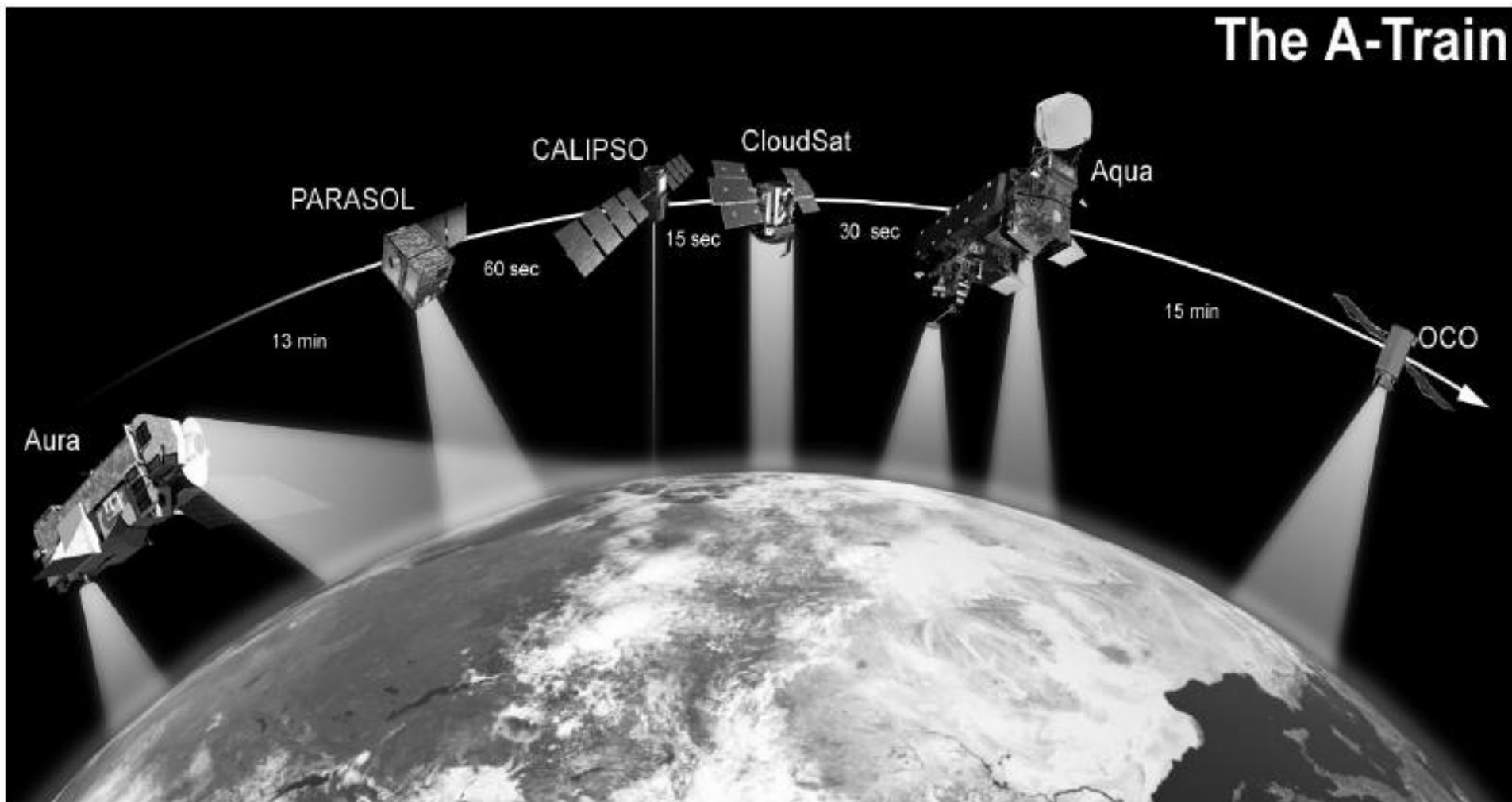
1991: Earth Science Enterprise

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 <i>(amount, optical properties, height)</i>	MODIS, GLAS, AMSR-E, MISR, AIRS, ASTER, SAGE III
	Radiative Energy Fluxes <i>(top of atmosphere, surface)</i>	CERES, ACRIM III, MODIS, AMSR-E, GLAS, MISR, AIRS, ASTER, SAGE III
	Precipitation	AMSR-E
	Tropospheric Chemistry <i>(ozone, precursor gases)</i>	TES, MOPITT, SAGE III, MLS, HIRDLS, LIS
	Stratospheric Chemistry <i>(ozone, ClO, BrO, OH, trace gases)</i>	MLS, HIRDLS, SAGE III, OMI, TES
	Aerosol Properties <i>(stratospheric, tropospheric)</i>	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 <i>(events, area, flash structure)</i>	LIS
	SOLAR RADIATION	Total Solar Irradiance
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+

Europe's eyes on Earth

Looking at our planet and its environment
For the ultimate benefit of all European
citizens

Copernicus Services



Atmosphere



Marine



Land



Climate Change



Security



Emergency

