

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



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

Energia I

problema energetico, struttura atomica,
fissione nucleare

Energia II

fusione nucleare, centrali nucleari, energie
rinnovabili

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

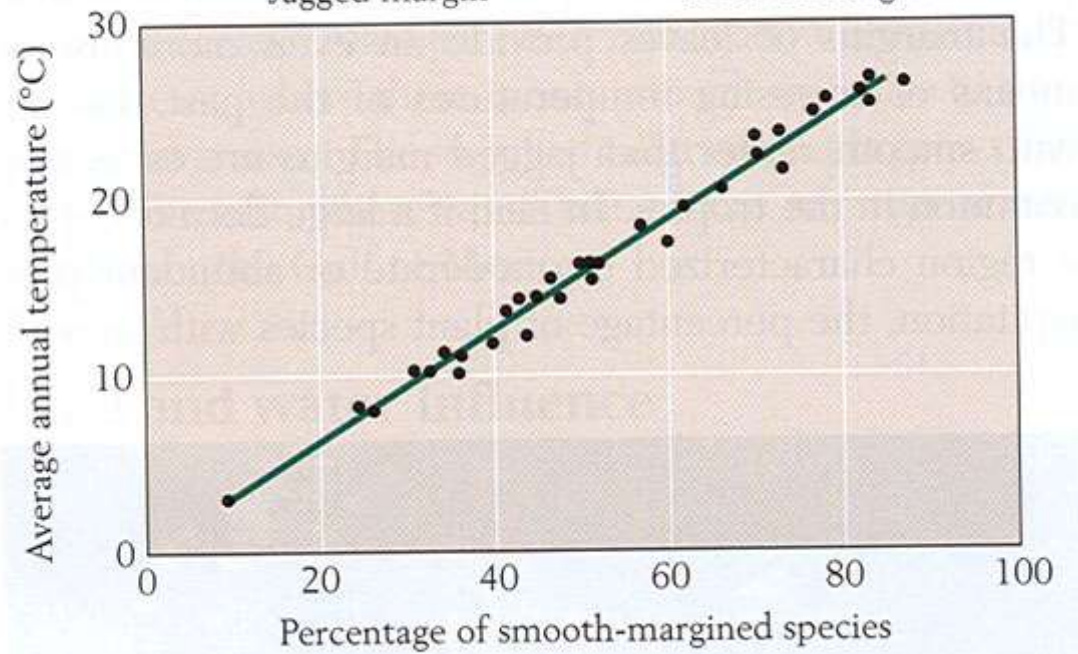
O^{16}/O^{18}

cronache storiche

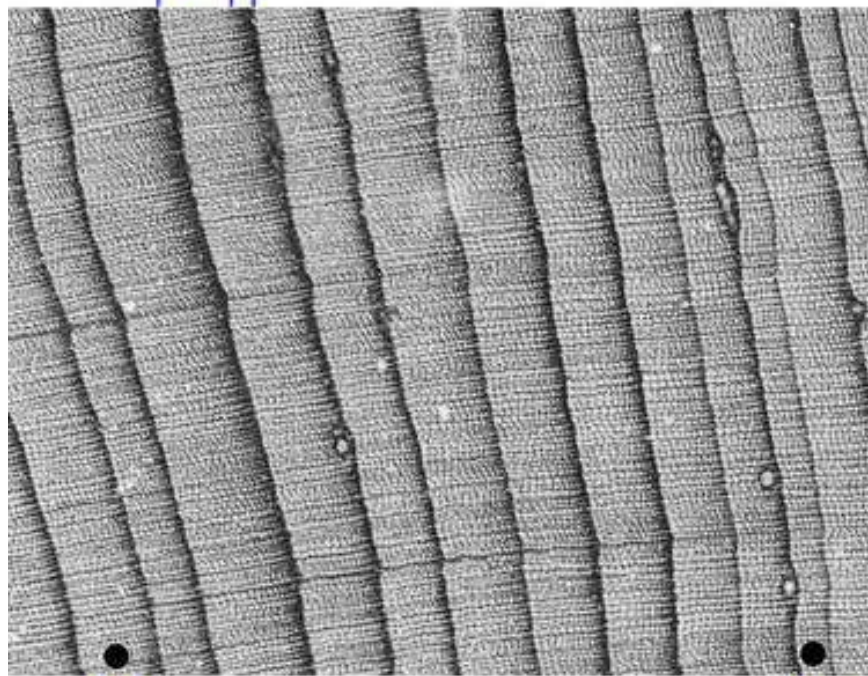


Jagged margin

Smooth margin



earlywood + latewood = annual ring



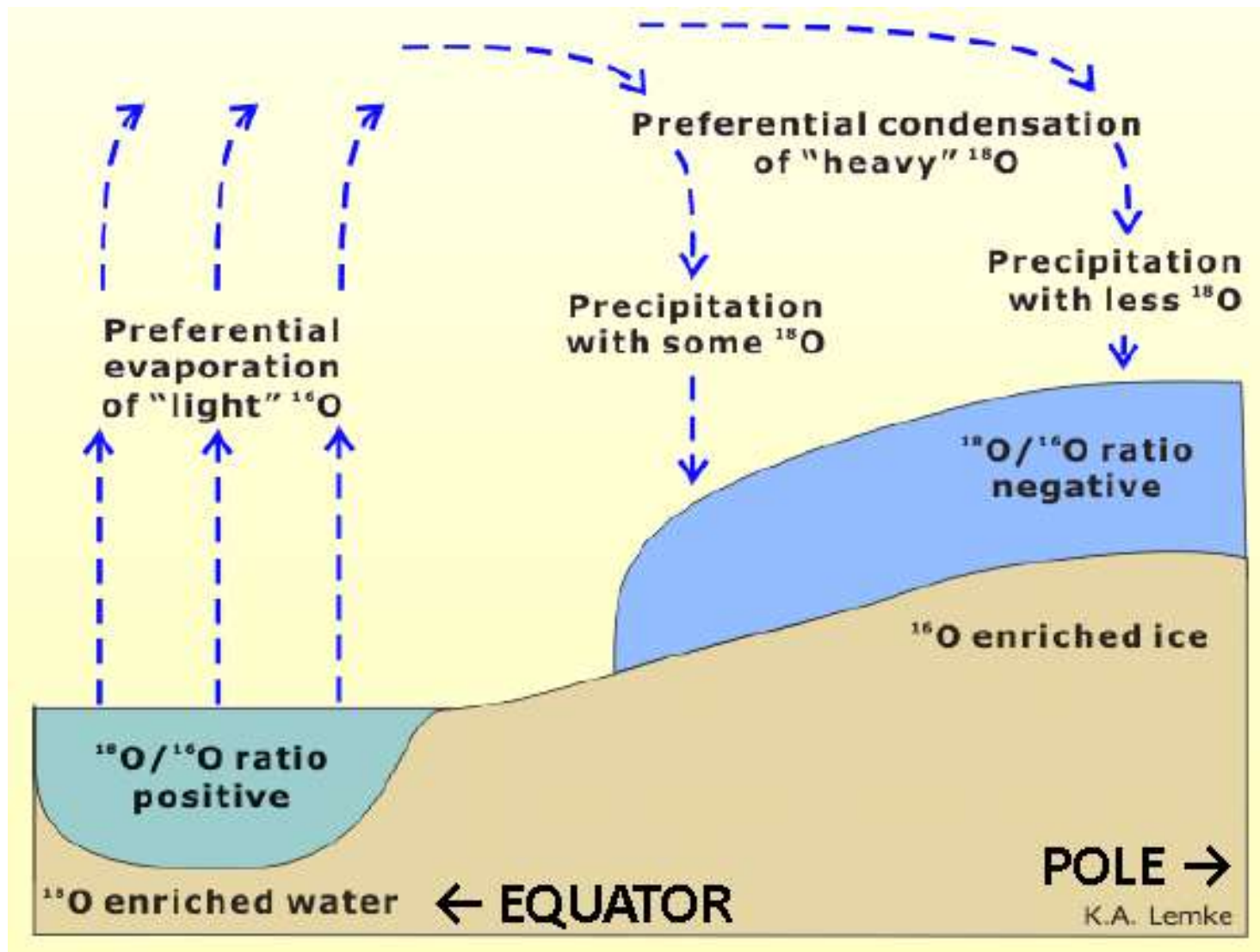
1770

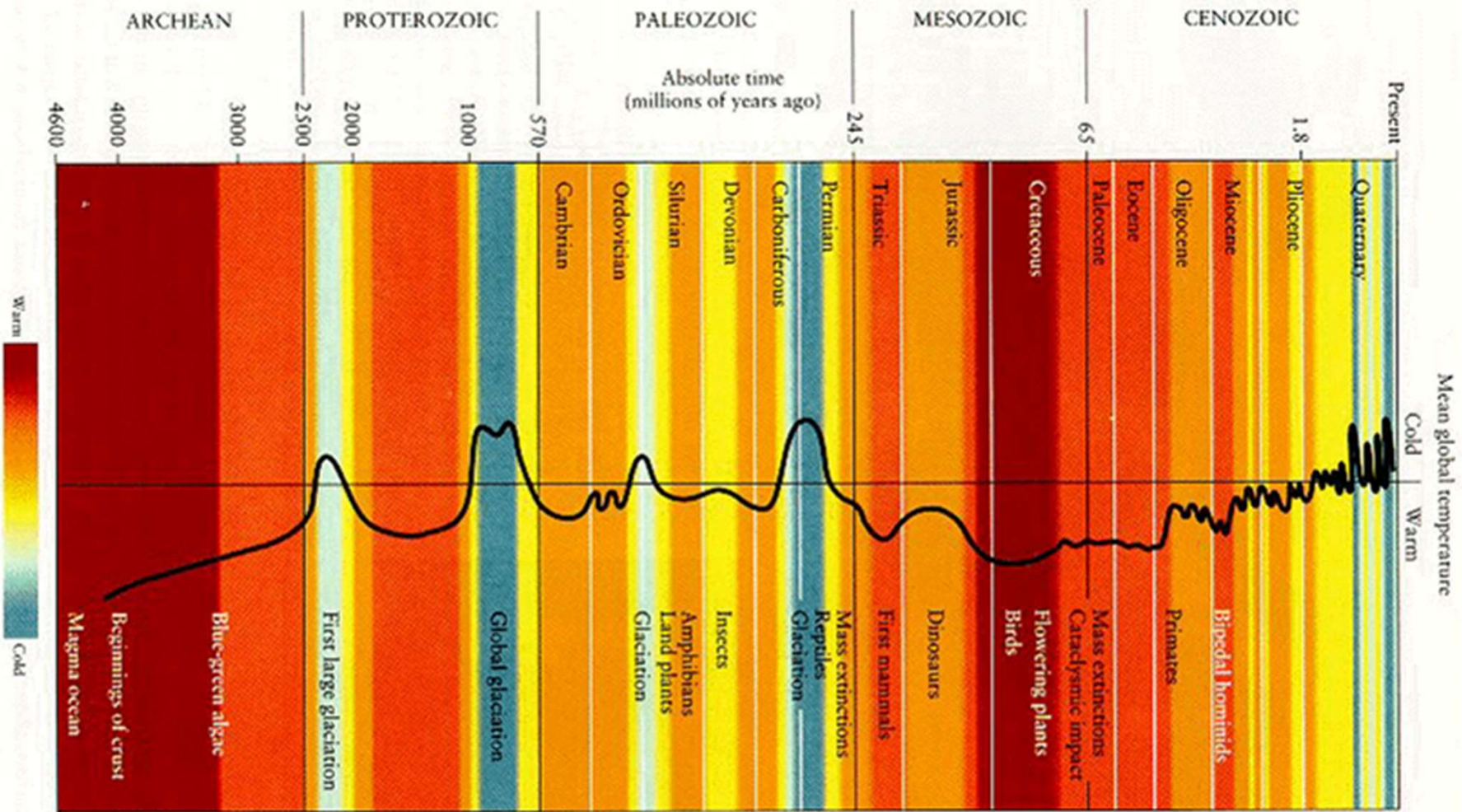
1780

1783

1790

1800

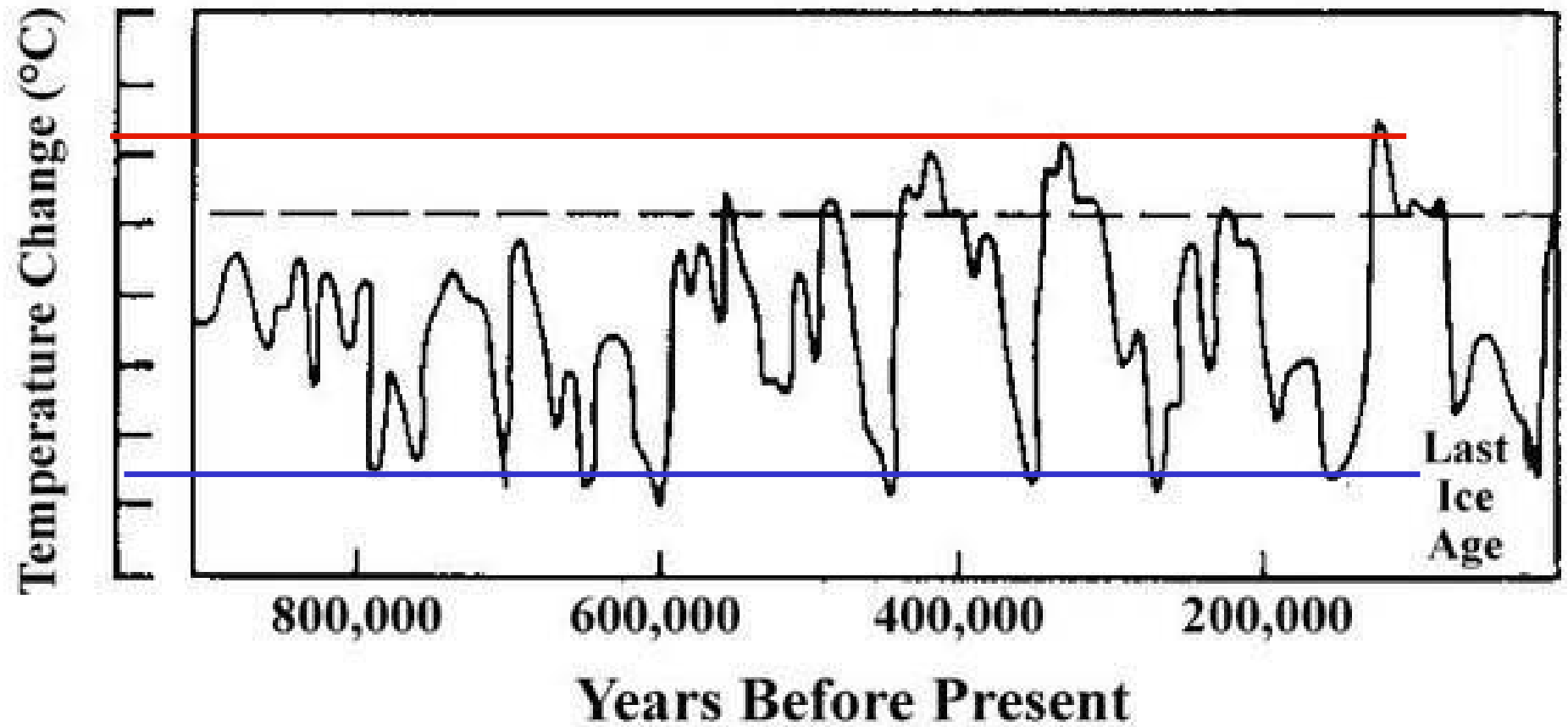




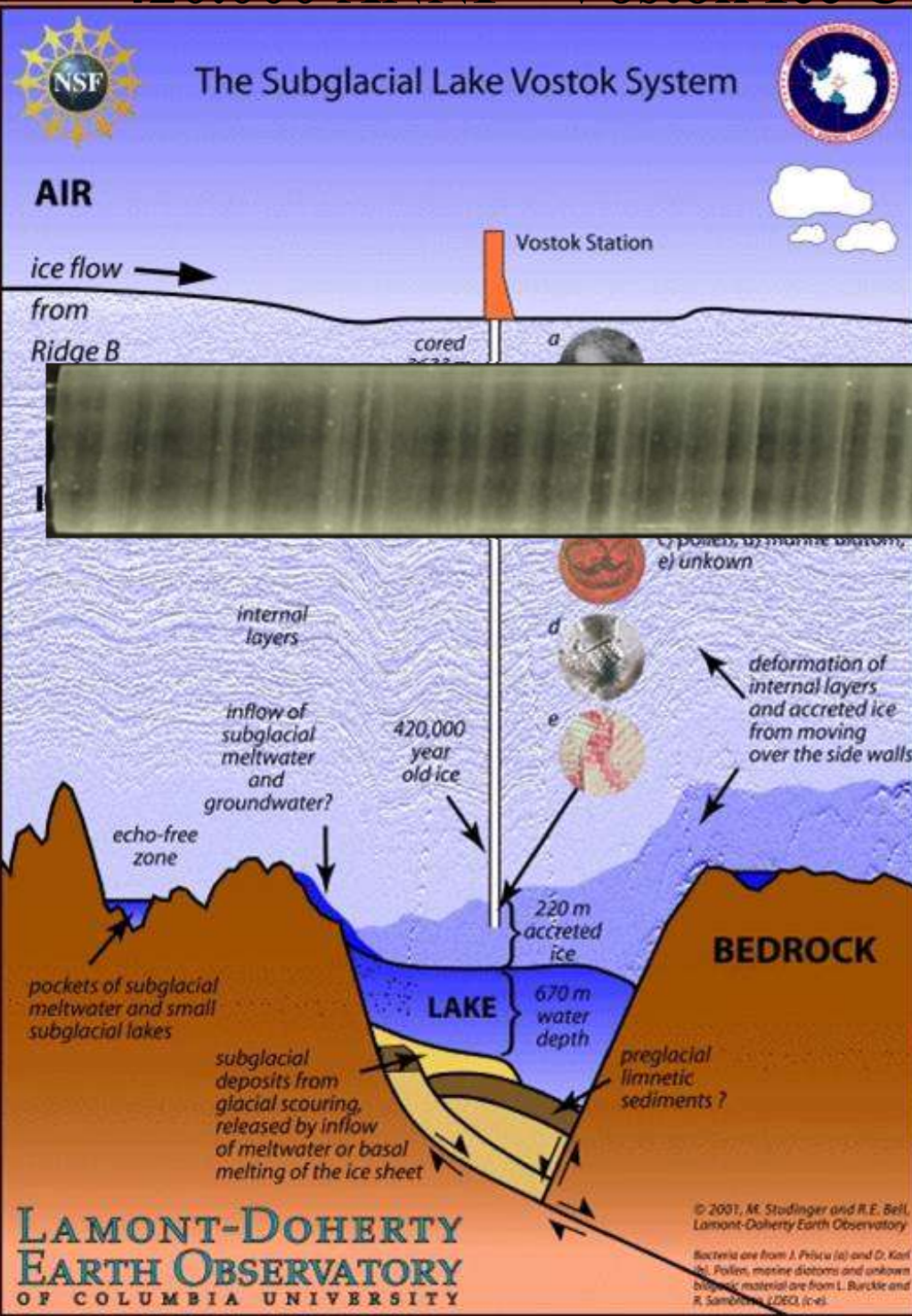
4.5 MILIARDI



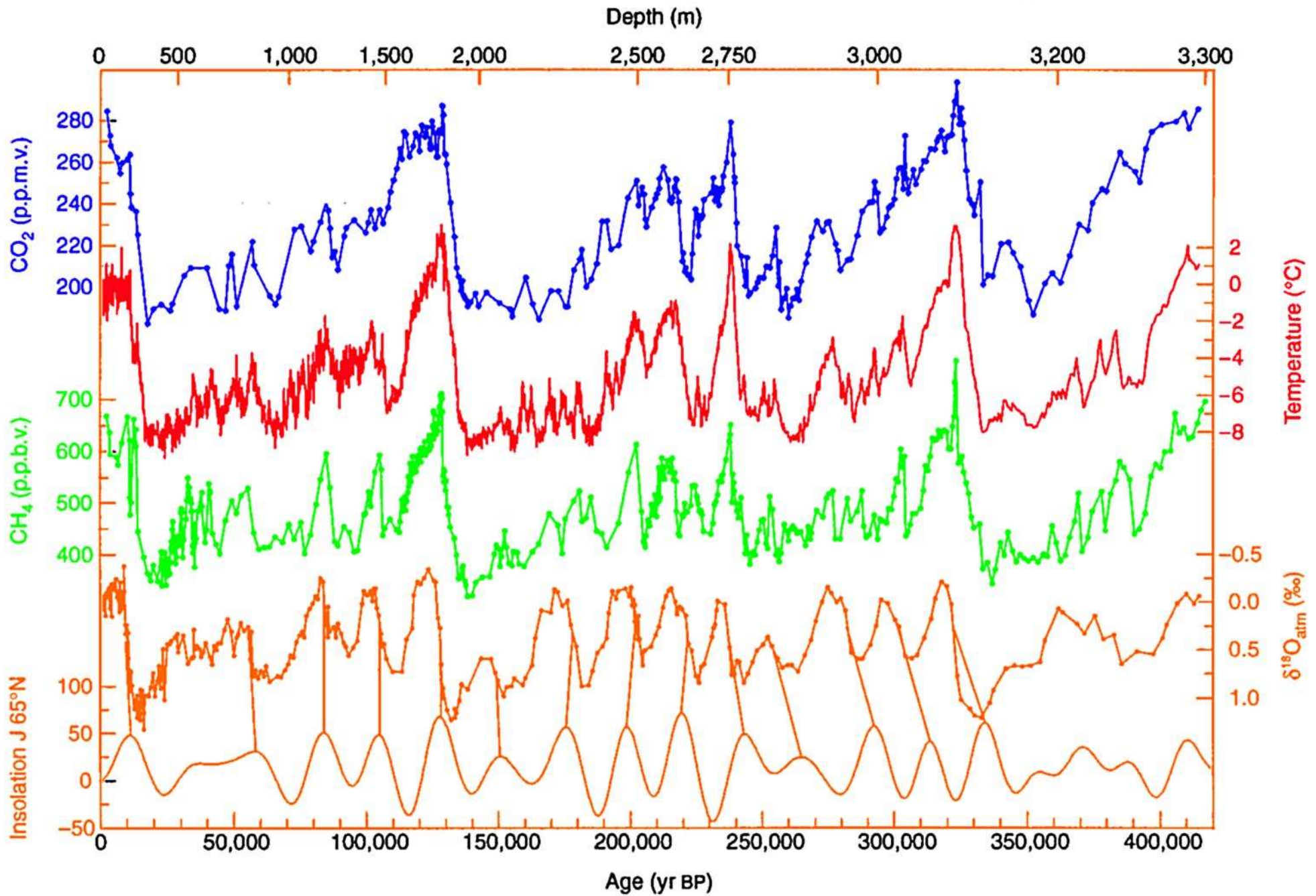
1 MILIONE DI ANNI



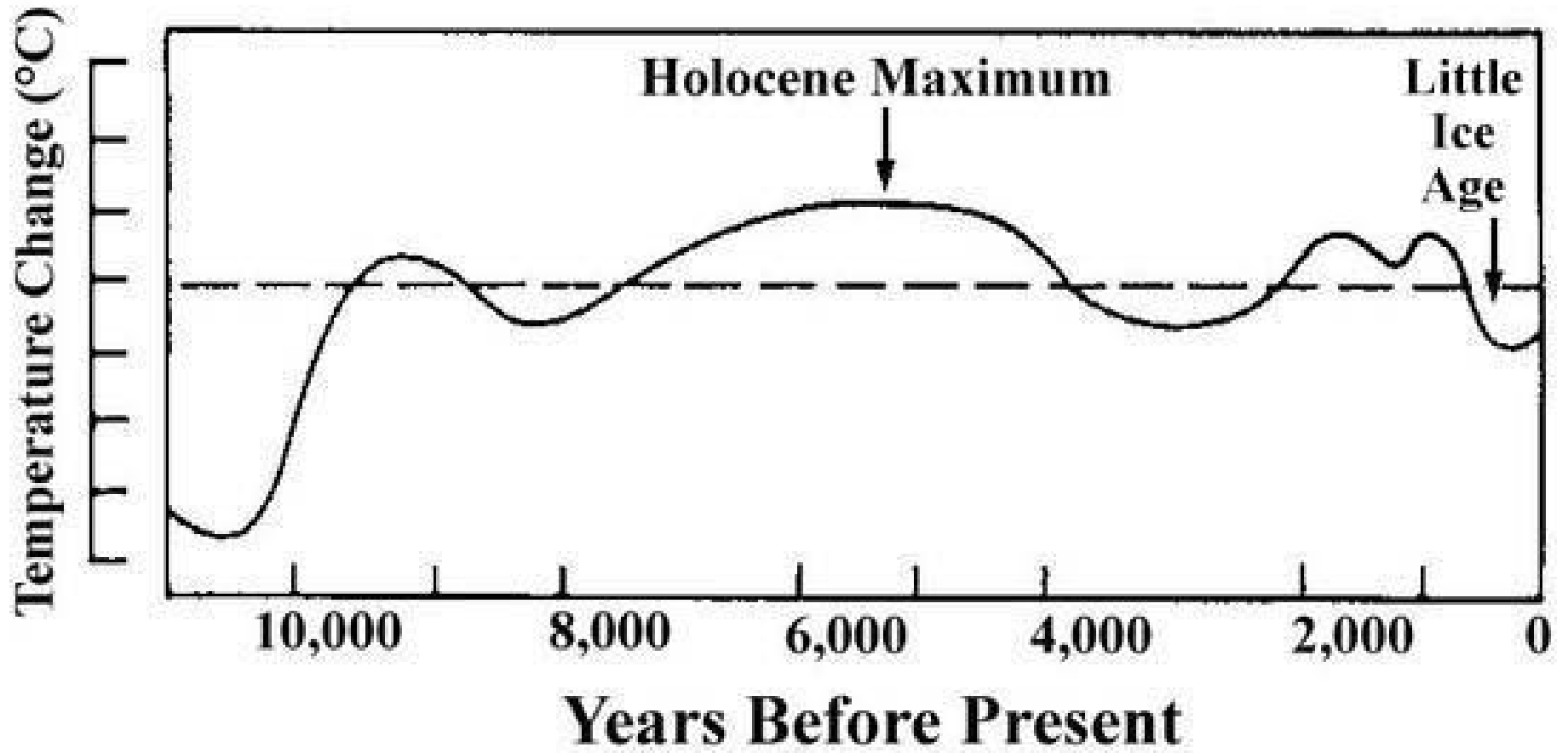
420,000 ANNI – Vostok Ice Core



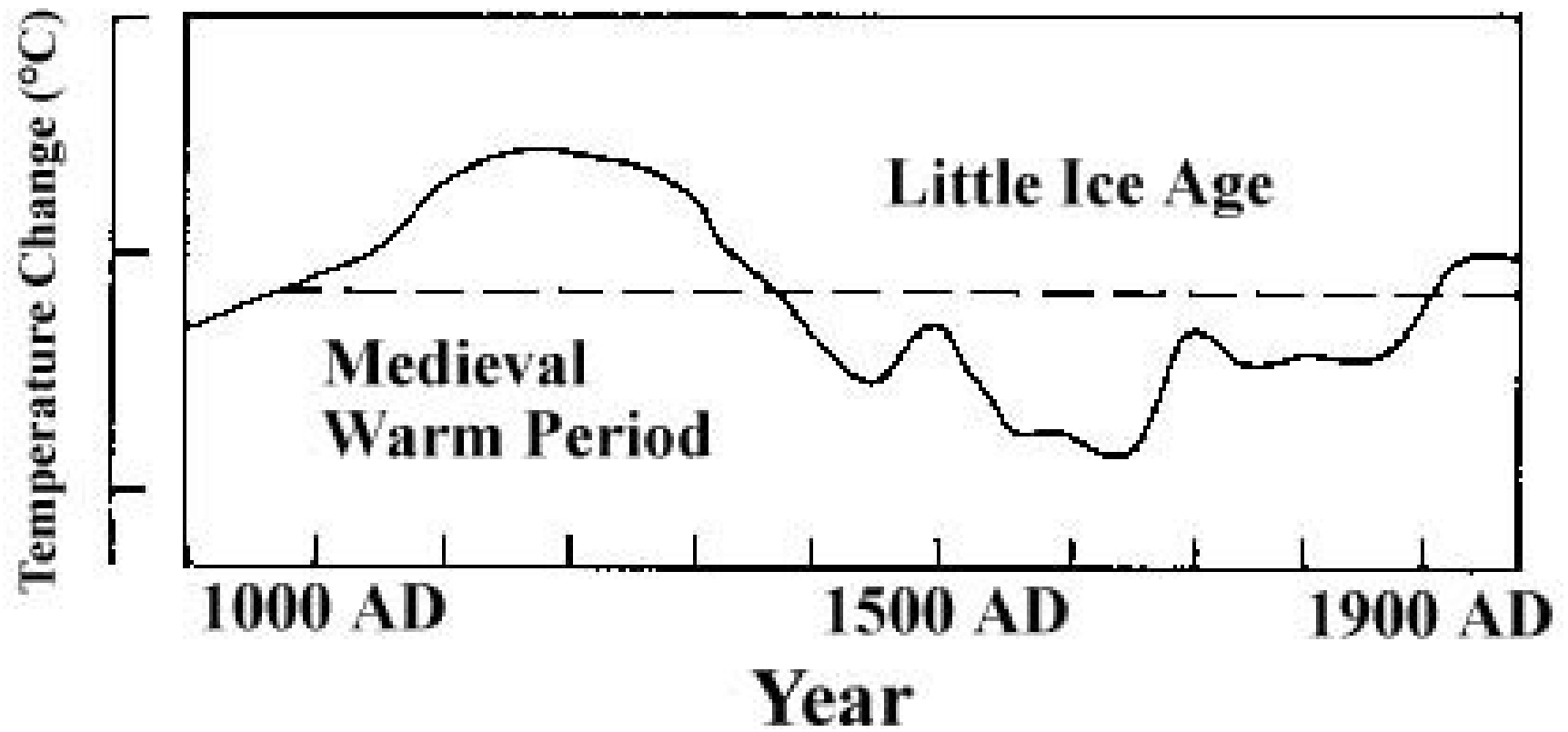
420,000 ANNI – Vostok Ice Core



10.000 ANNI

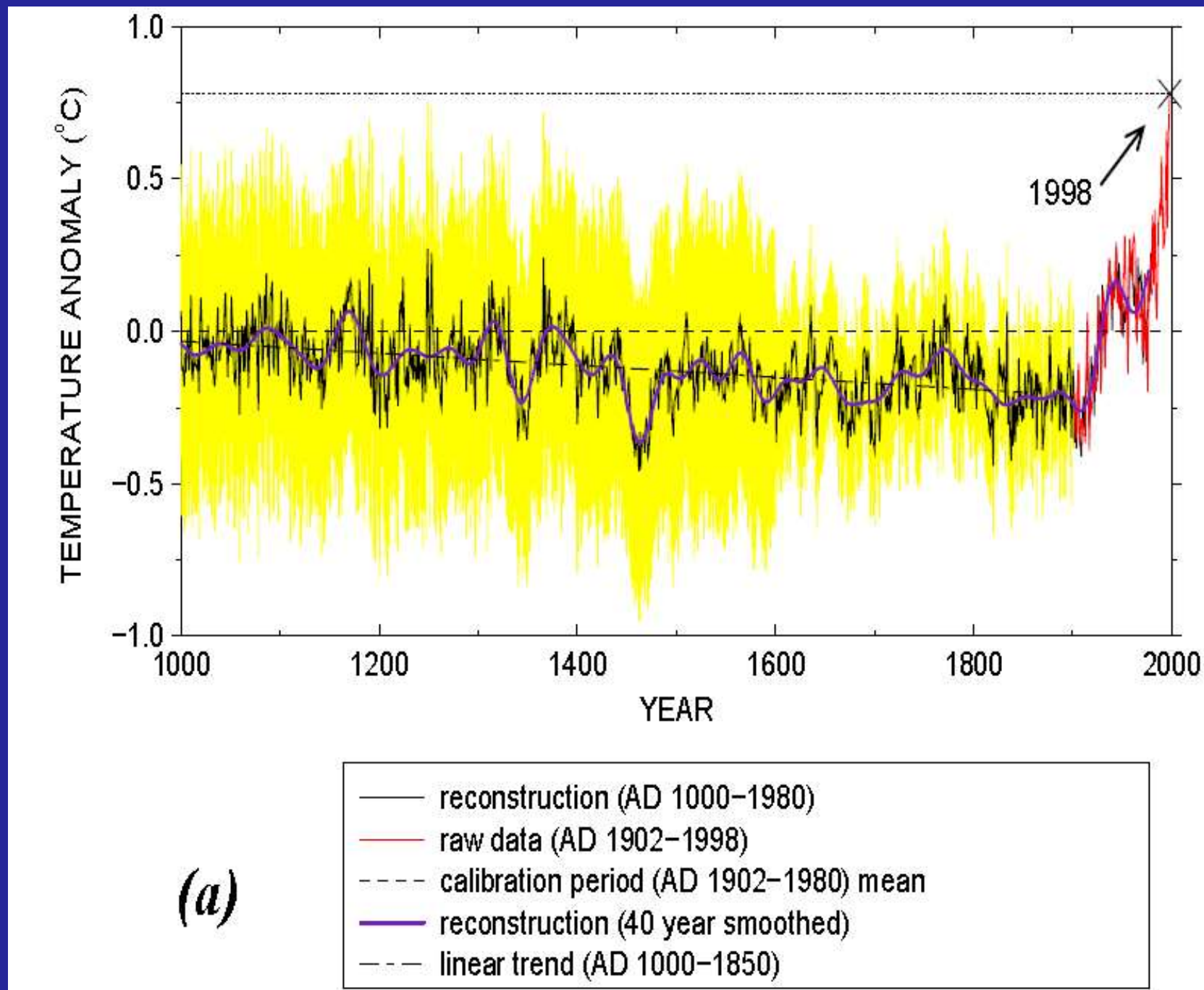


1.000 ANNI



osservazione delle tendenze I

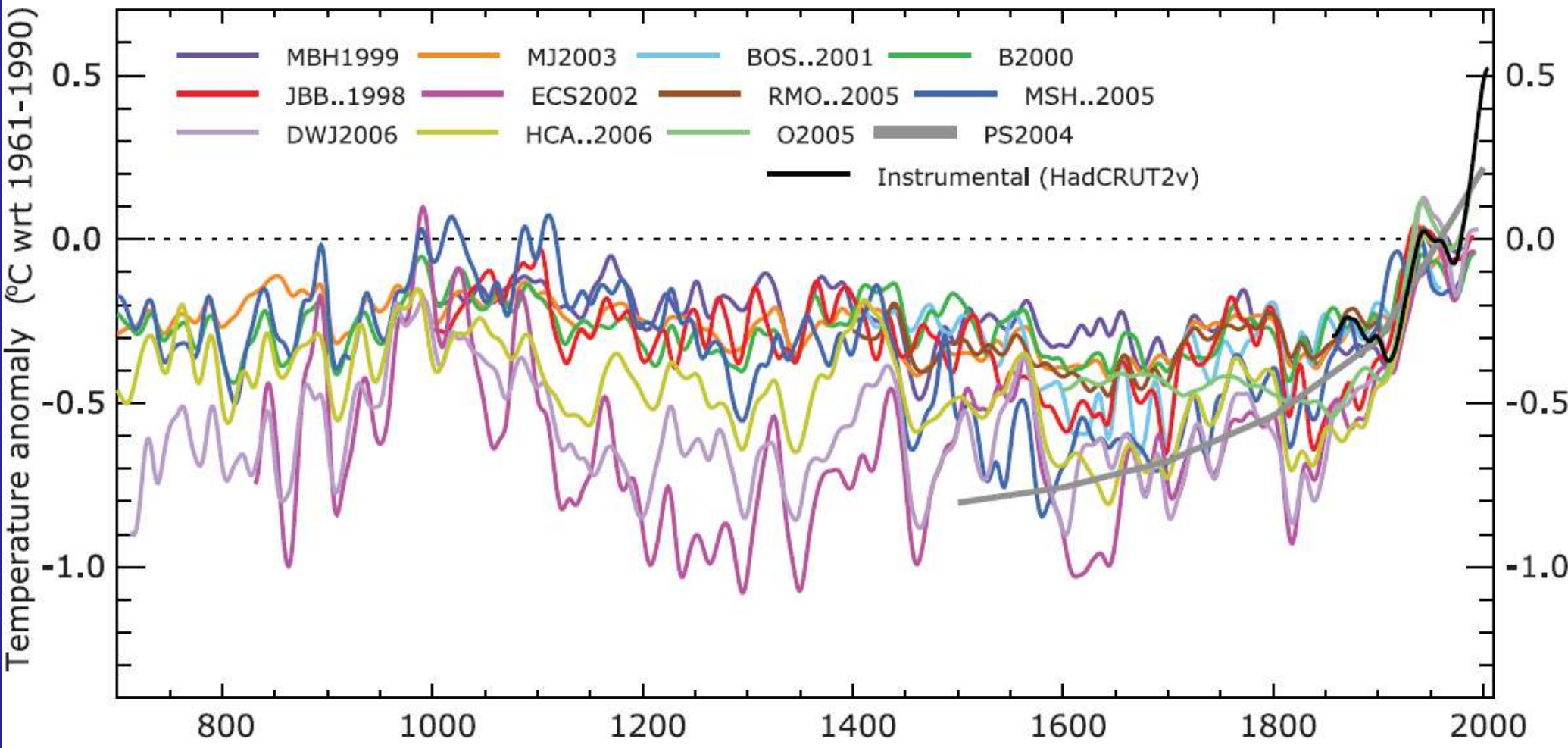
hockey stick (Mann, Bradley, Hughes, JGR, 1999)



osservazione delle tendenze II

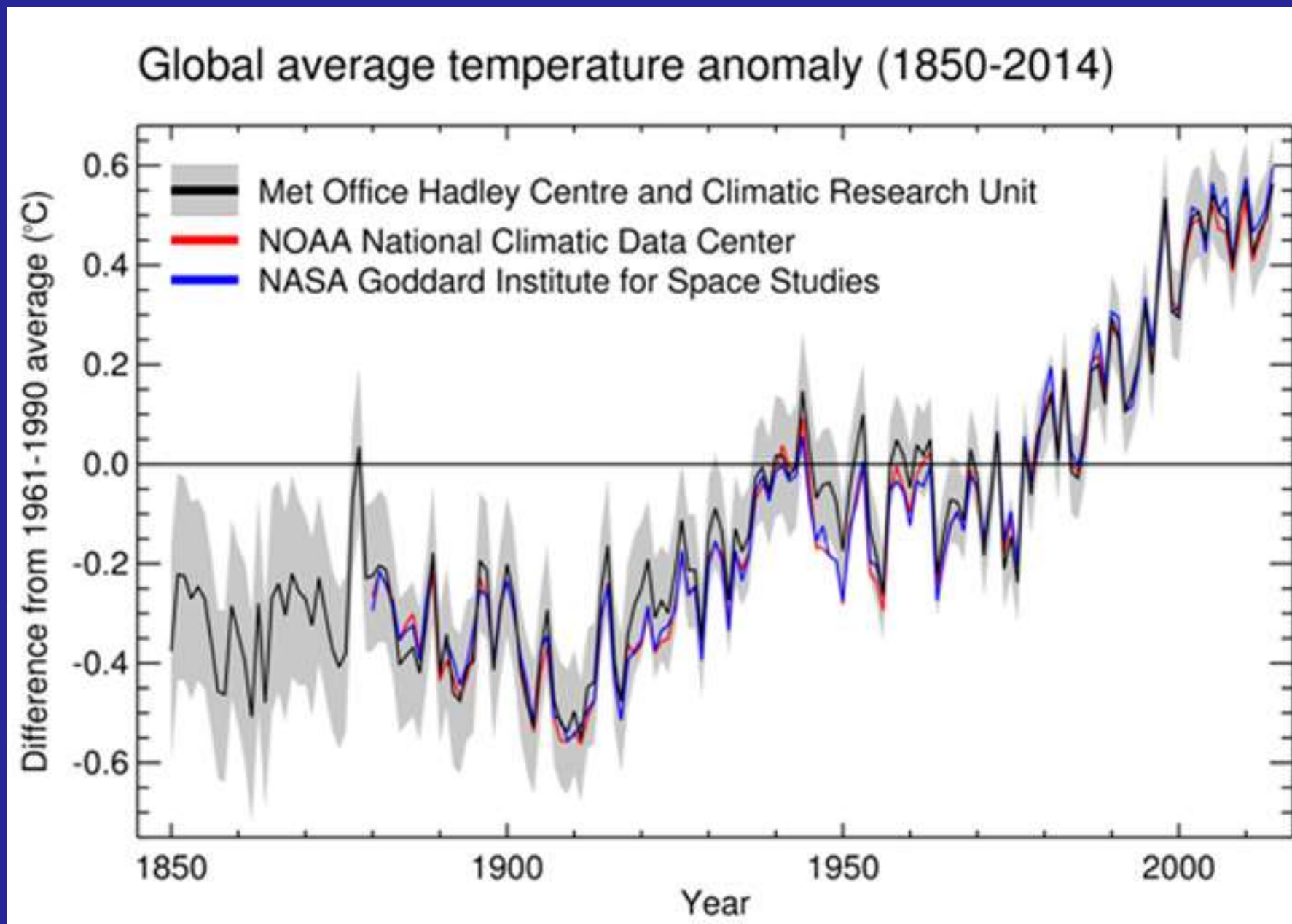
stime della temperatura media dell'emisfero nord

NORTHERN HEMISPHERE TEMPERATURE RECONSTRUCTIONS



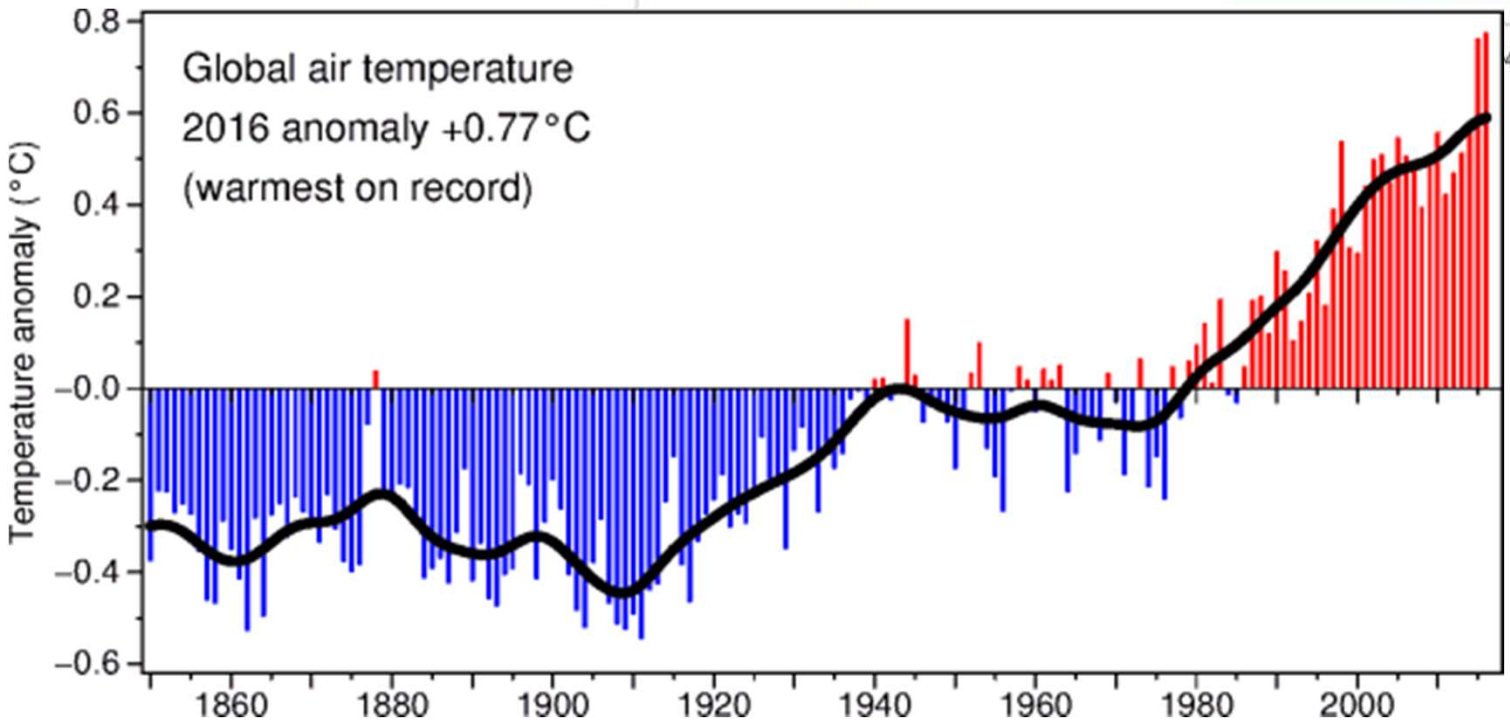
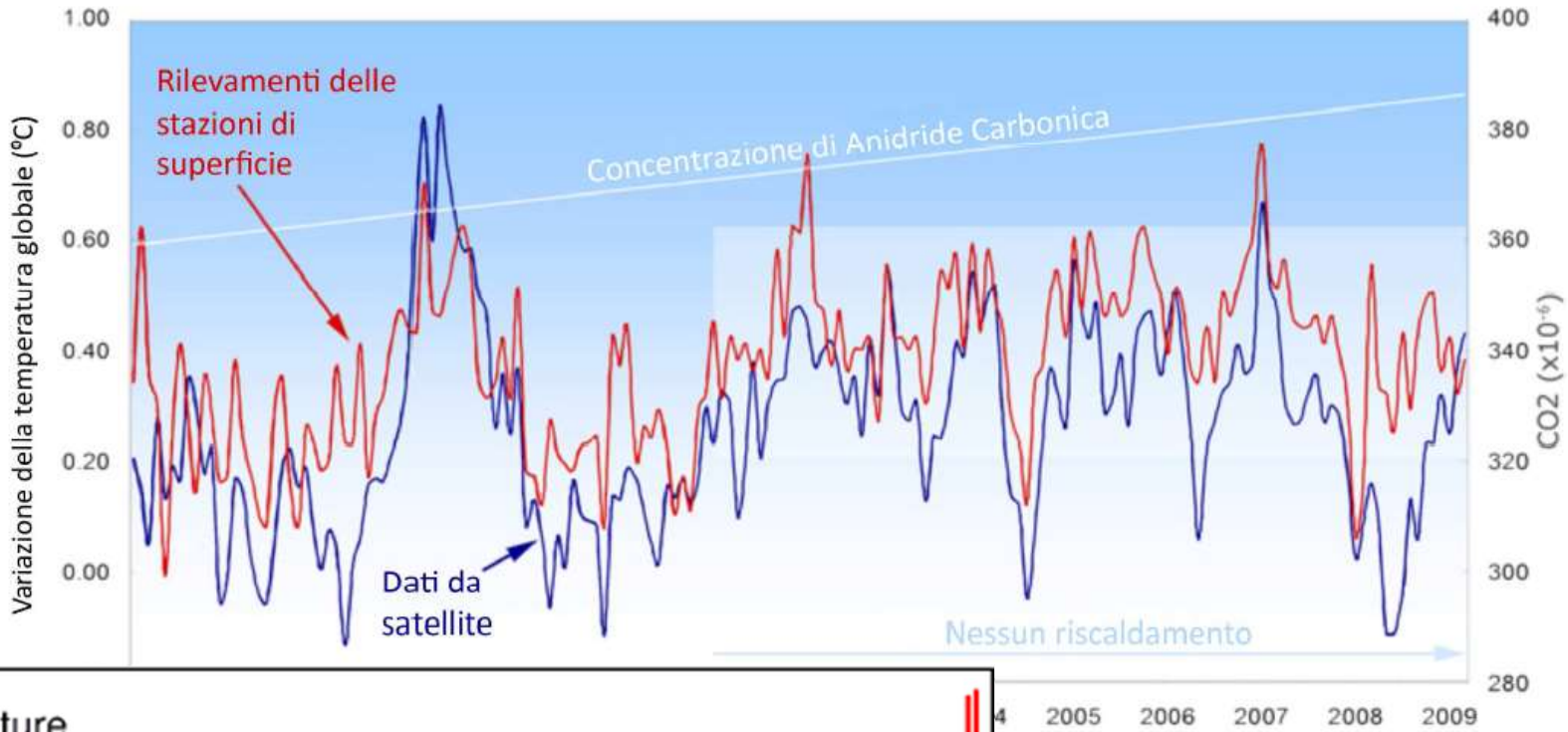
osservazione delle tendenze III

ultimi anni



osservazione delle tendenze III

GW hiatus

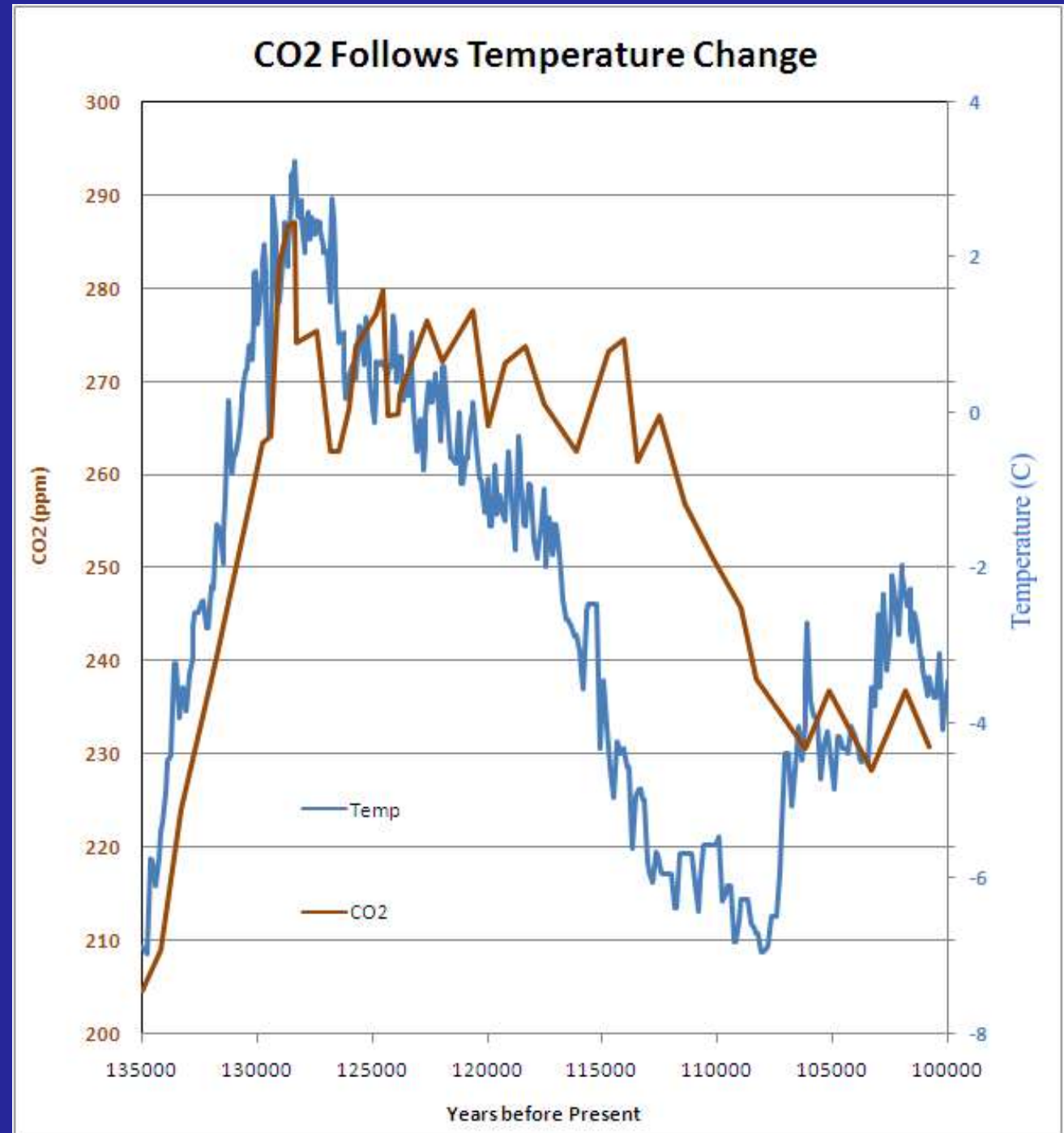


2005 2006 2007 2008 2009

osservazione delle tendenze IV

relazione GHG/ ΔT

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

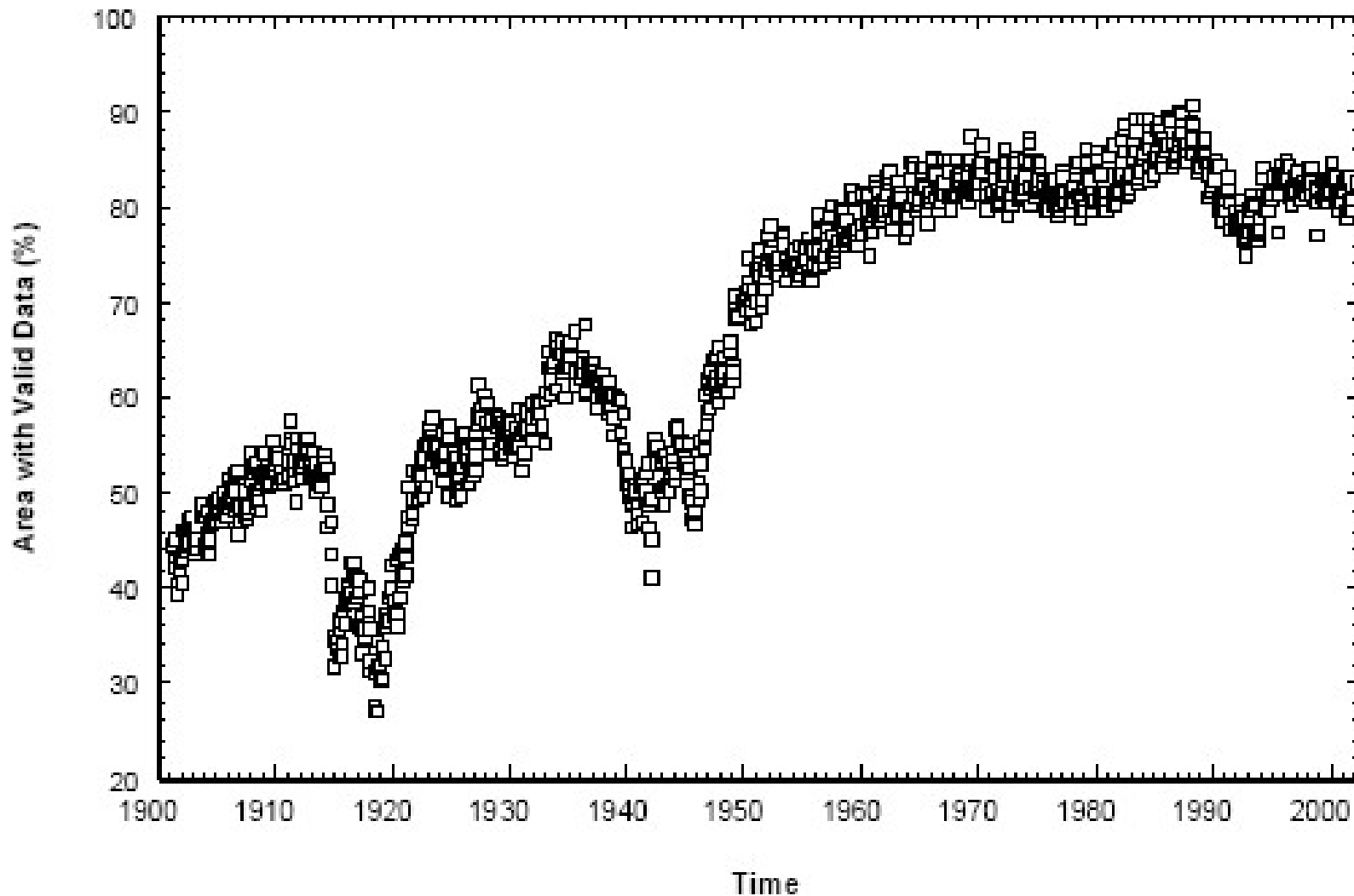


Mudelsee, 2001

osservazione delle tendenze V

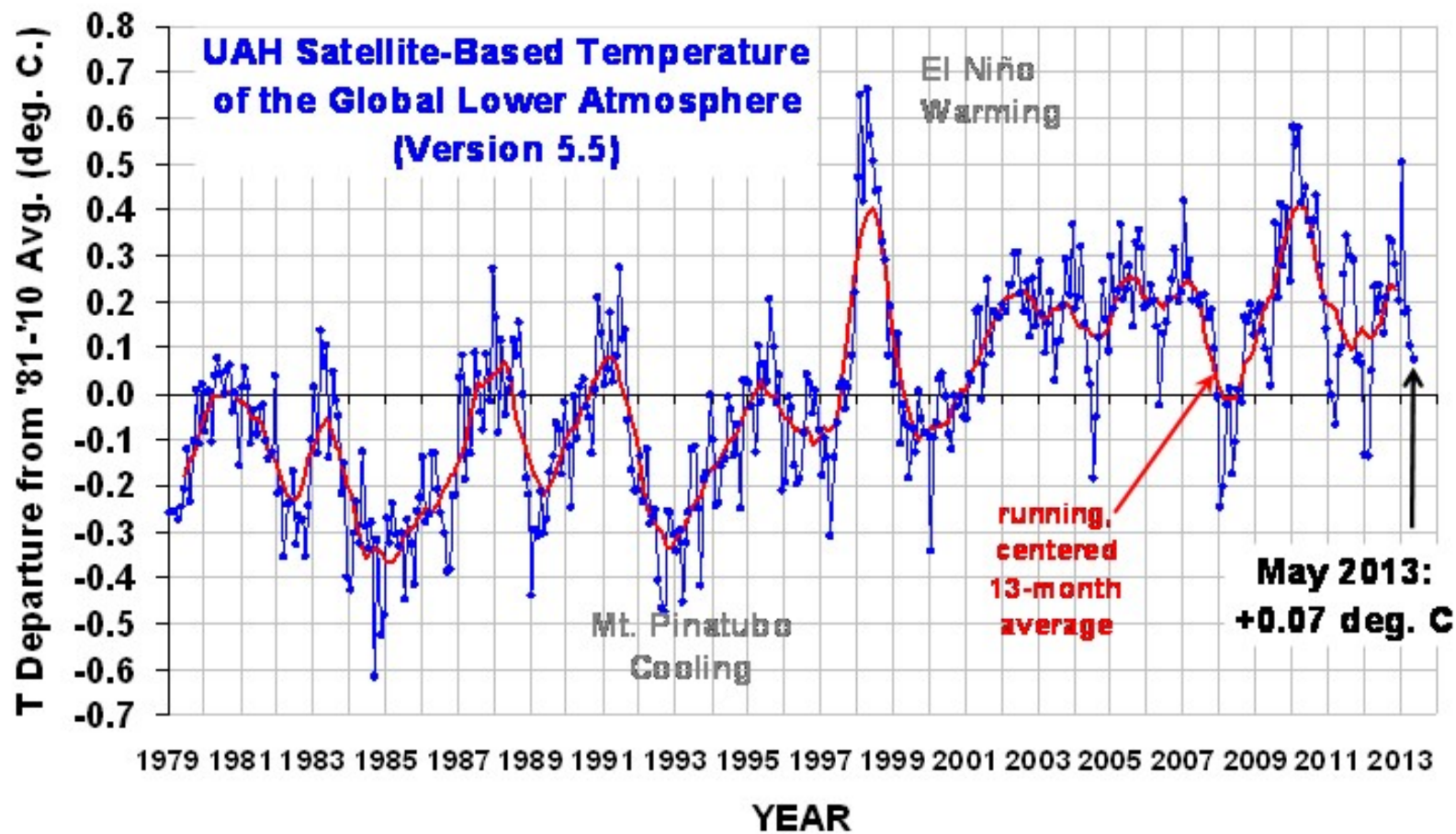
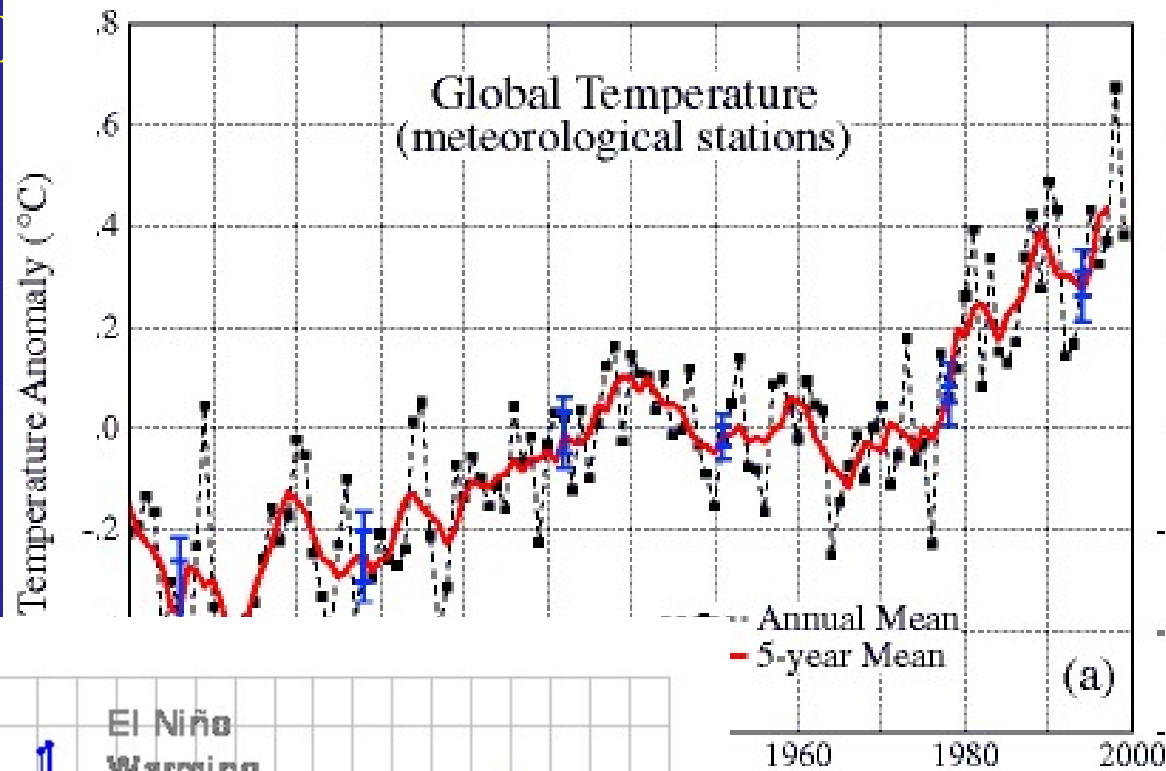
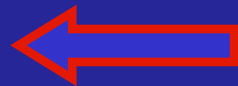
copertura globale dei sensori

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

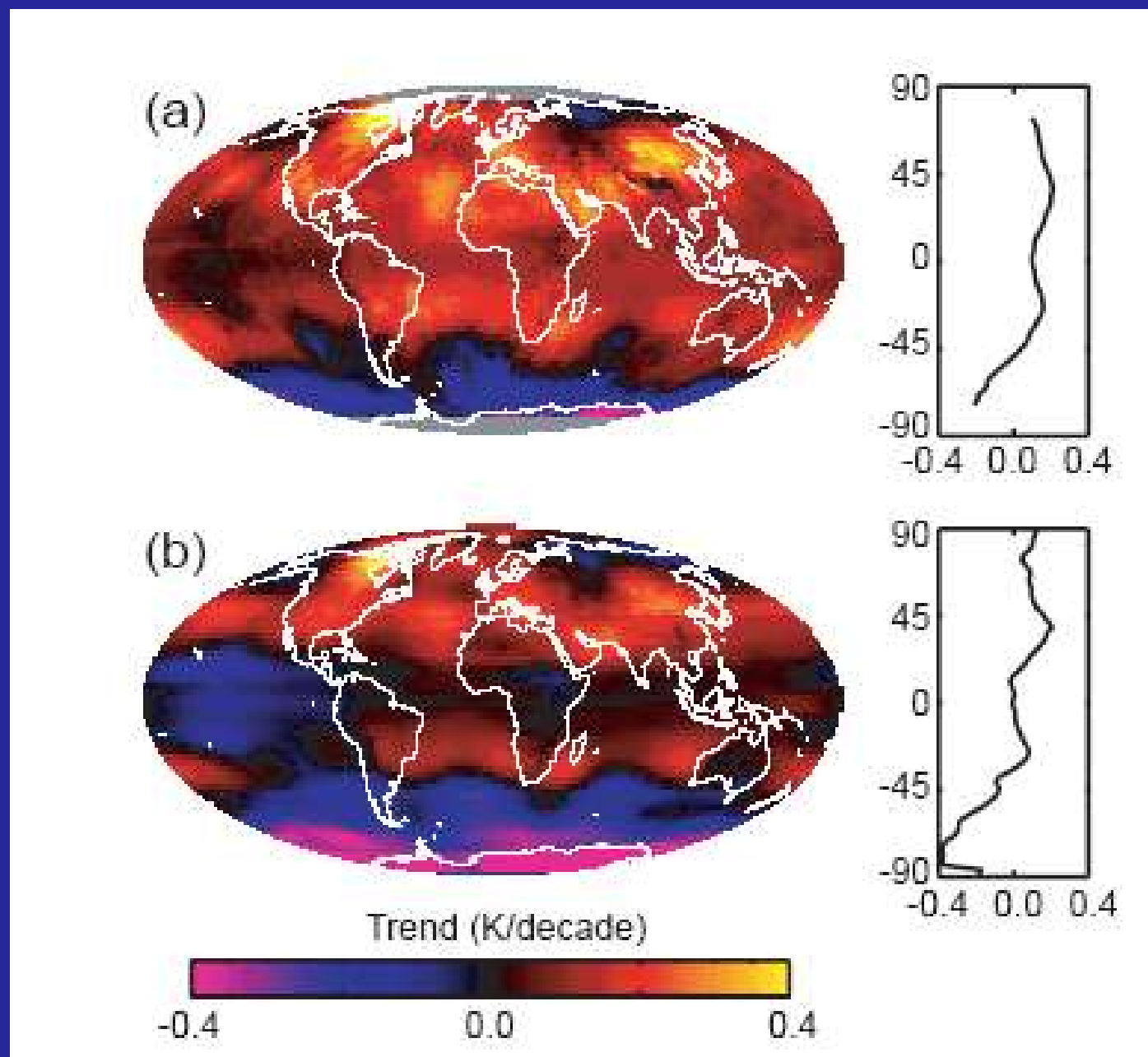


0,09 K/decade



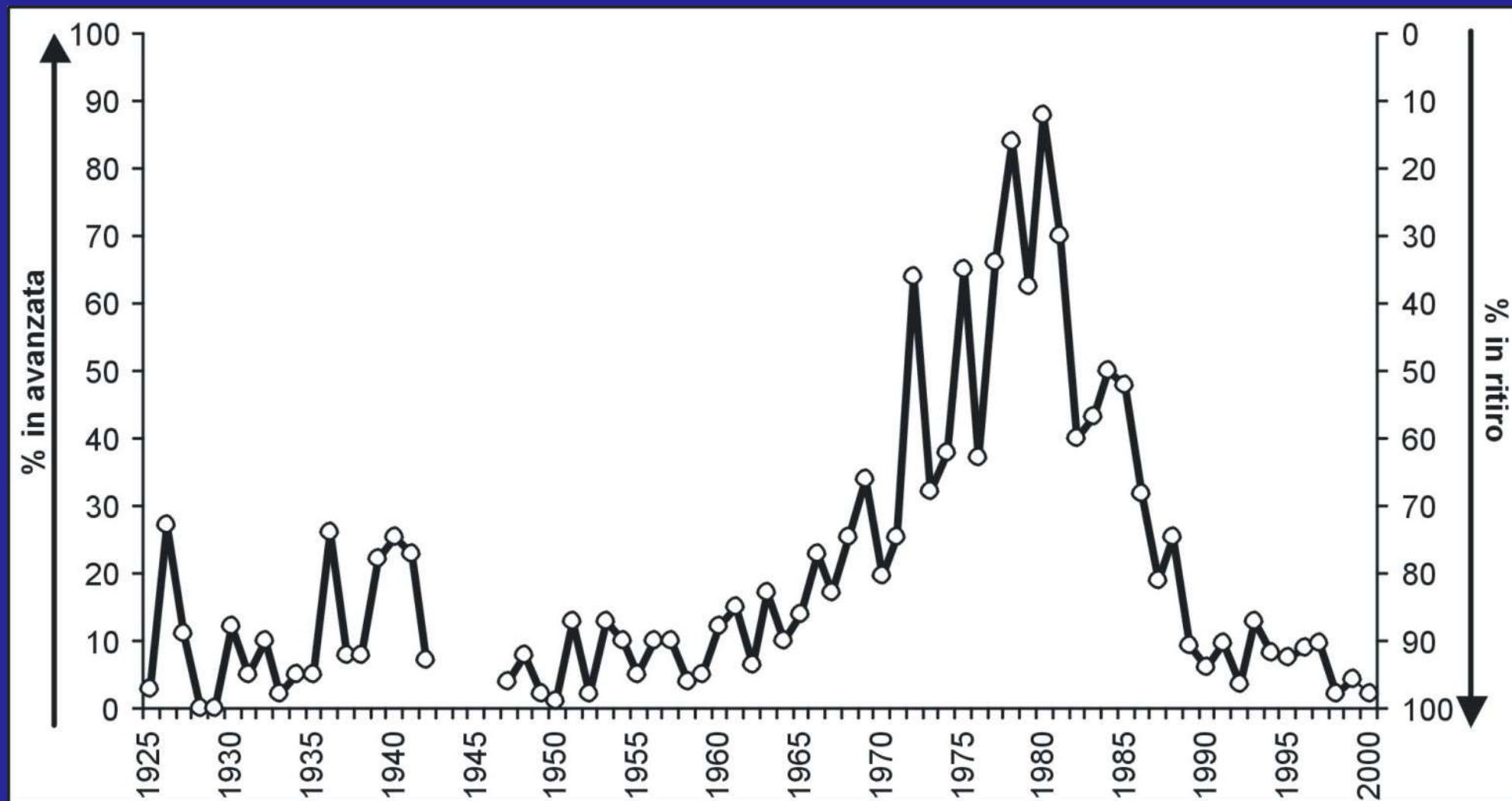
osservazione delle tendenze VIII

Microwave Sounding Unit (MSU)



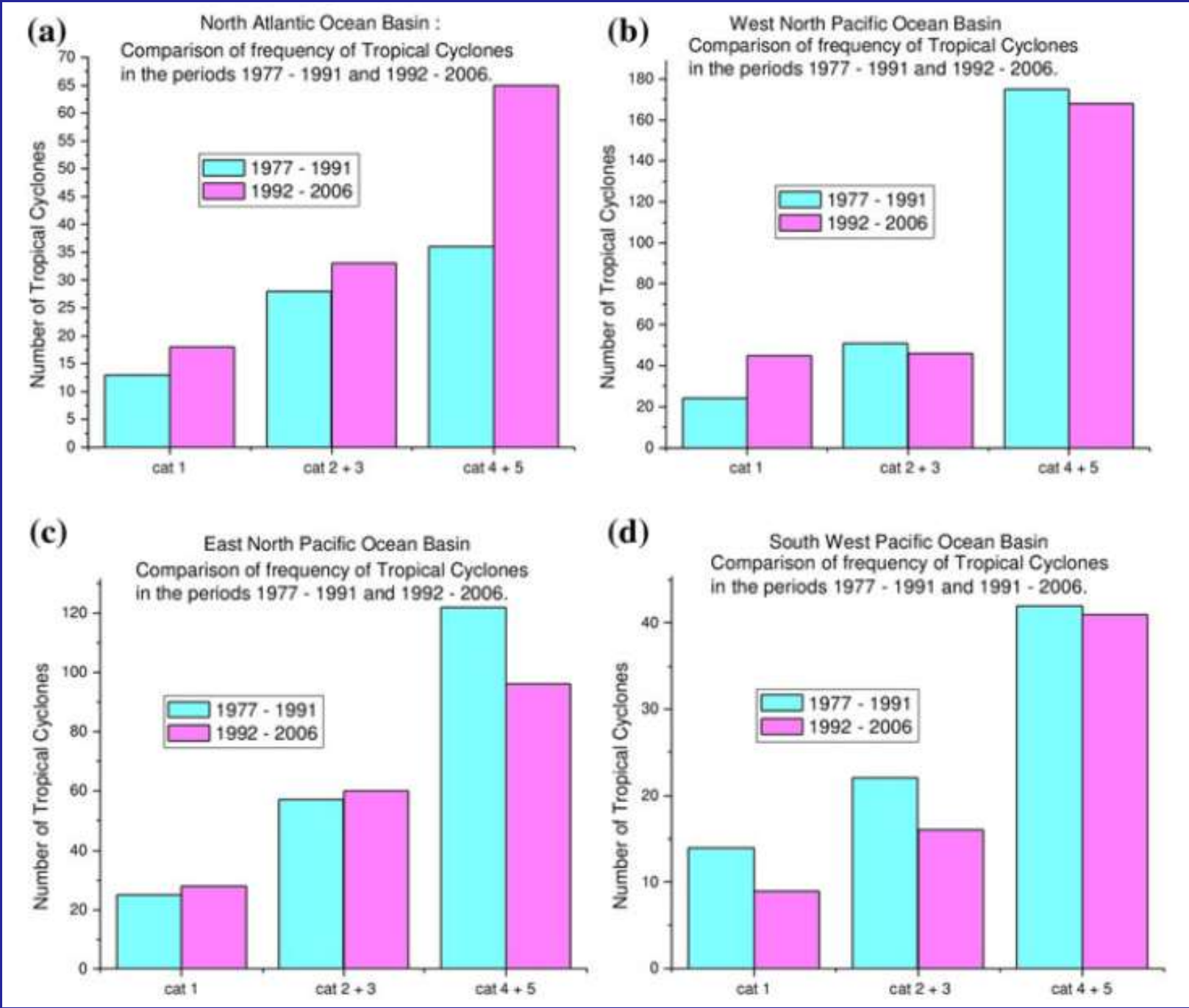
osservazione delle tendenze IX

ritiro dei ghiacciai



osservazione delle tendenze X eventi estremi: cicloni tropicali

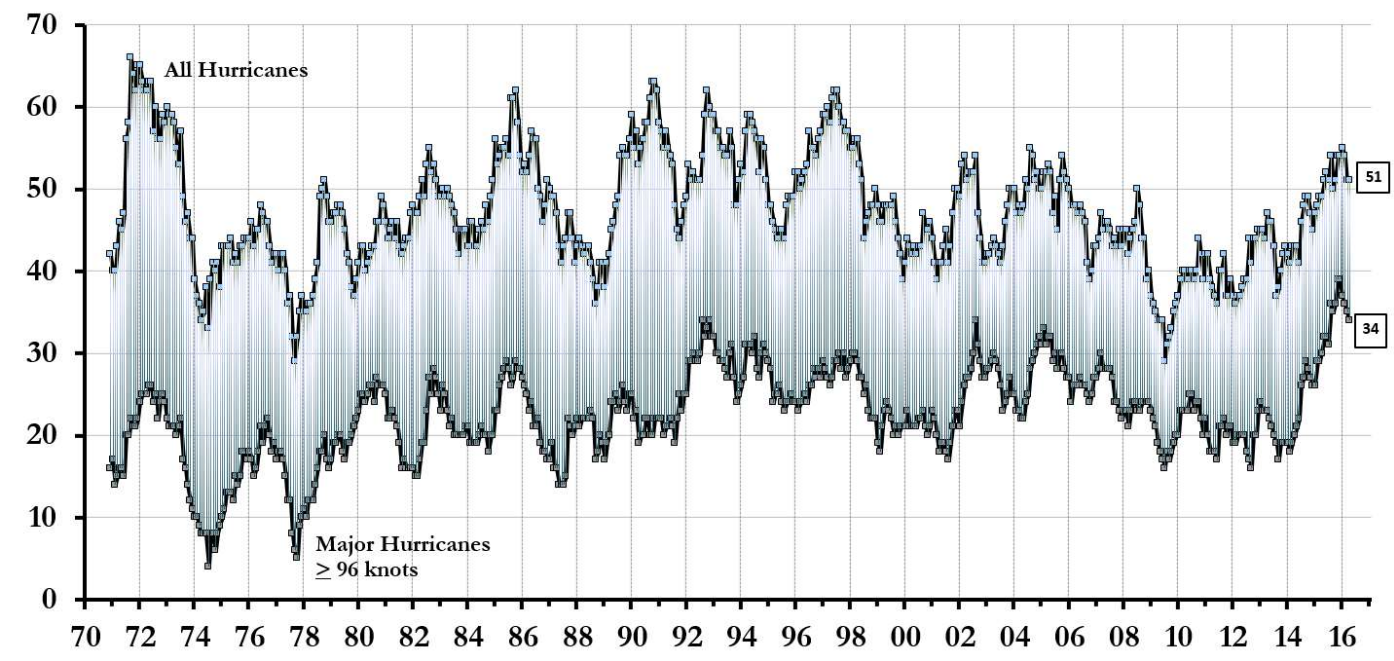
Deo et al., 2011



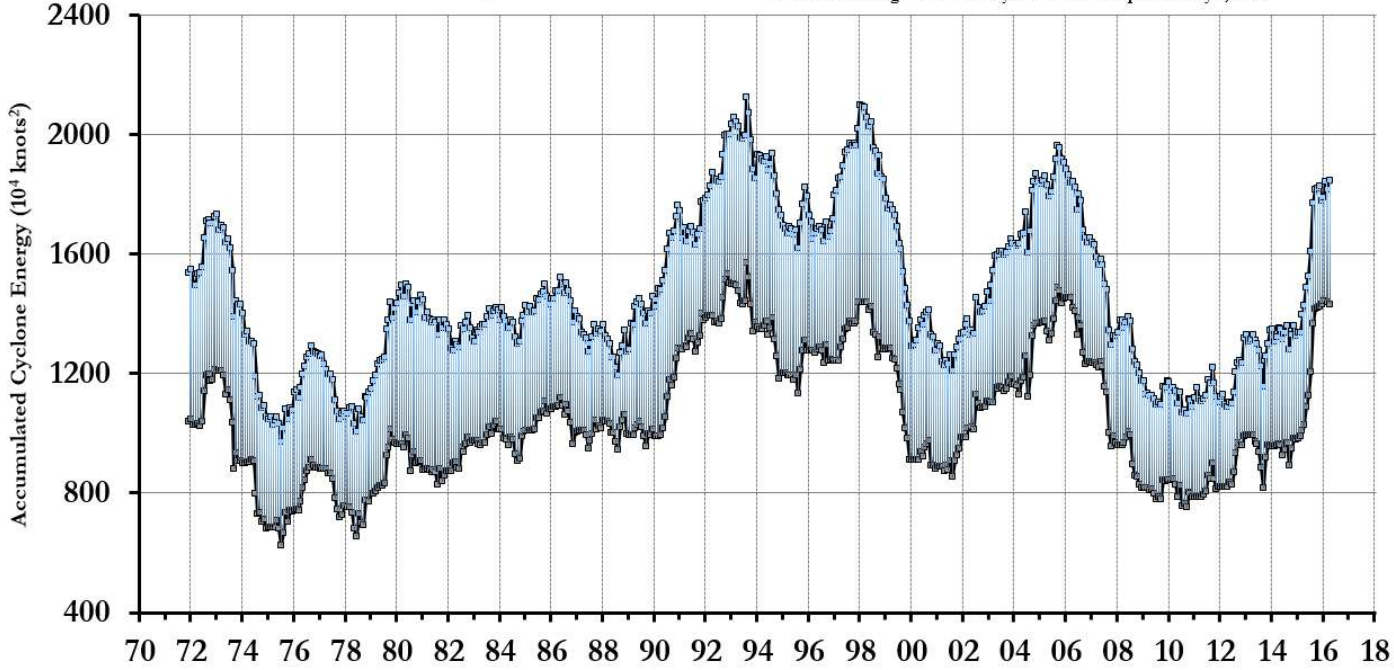
osservazione delle tendenze X

eventi estremi: cicloni tropicali

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

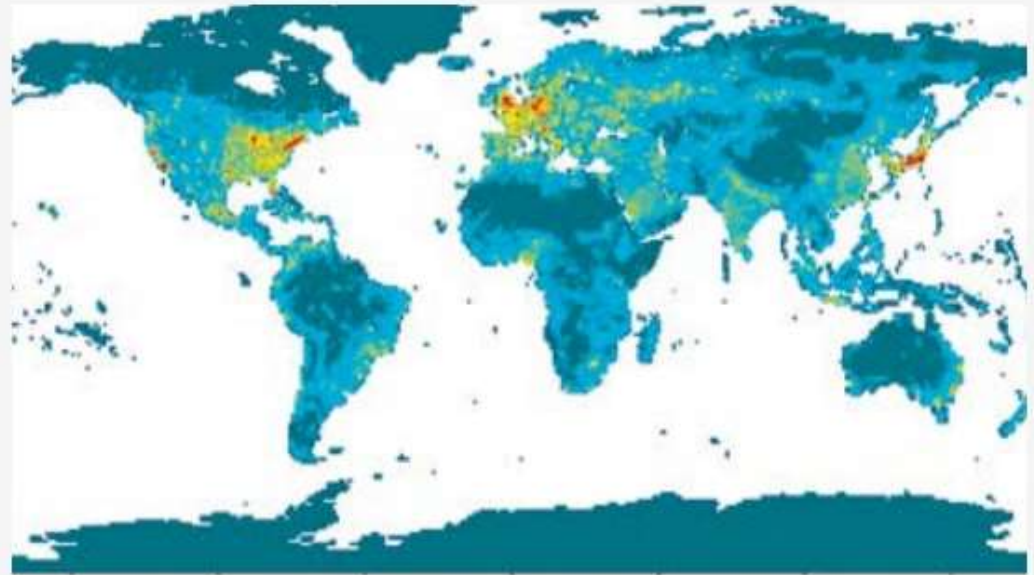


Global Tropical Cyclone Accumulated Cyclone Energy (ACE)
24-month Running Sums -- Dr. Ryan N. Maue -- Updated May 7, 2016

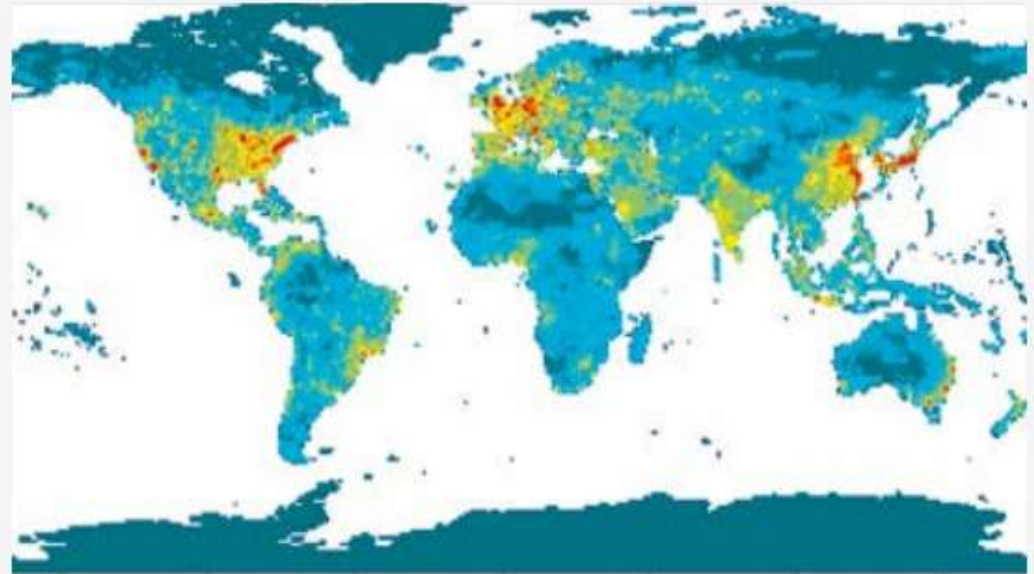


osservazione delle tendenze *eventi estremi: PIL*

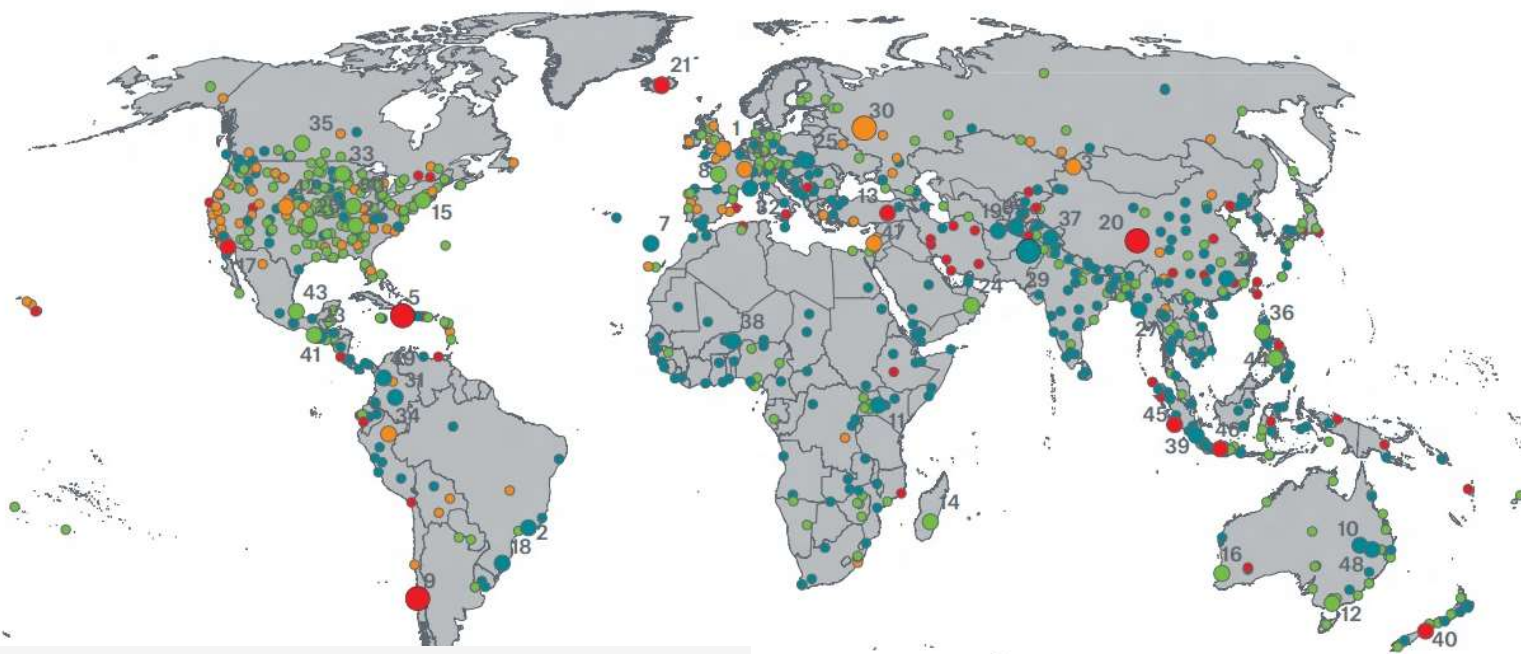
1980



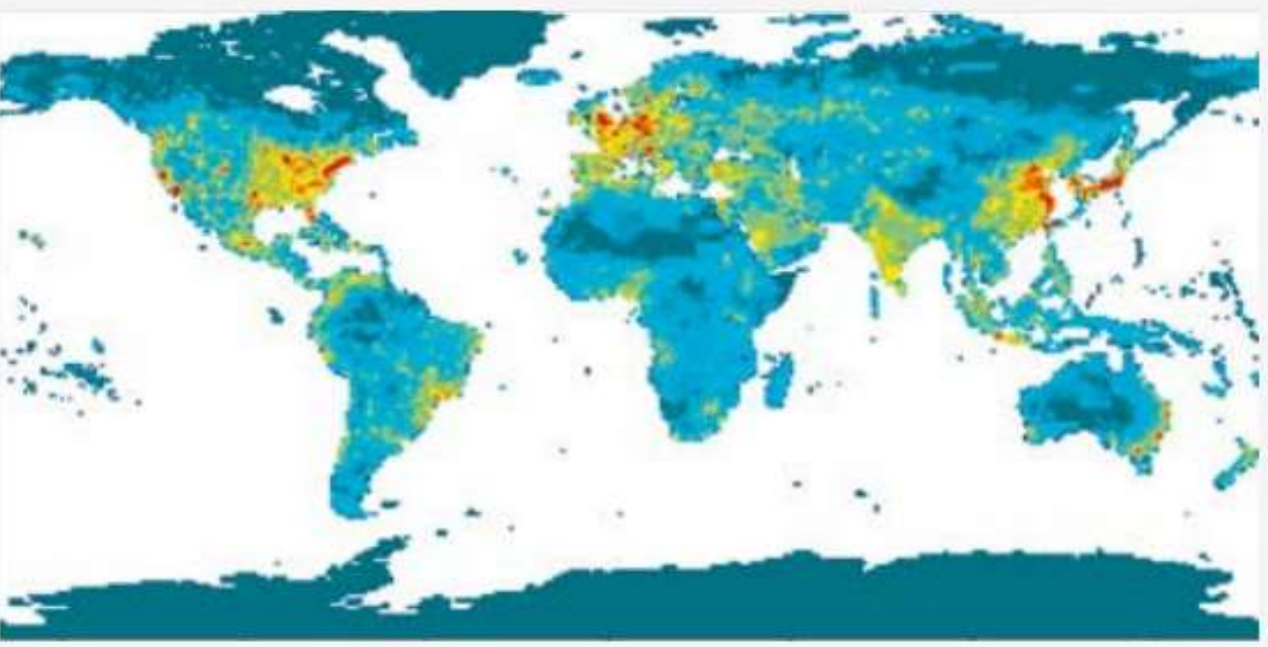
2015



osservazione delle
eventi estremi: danni

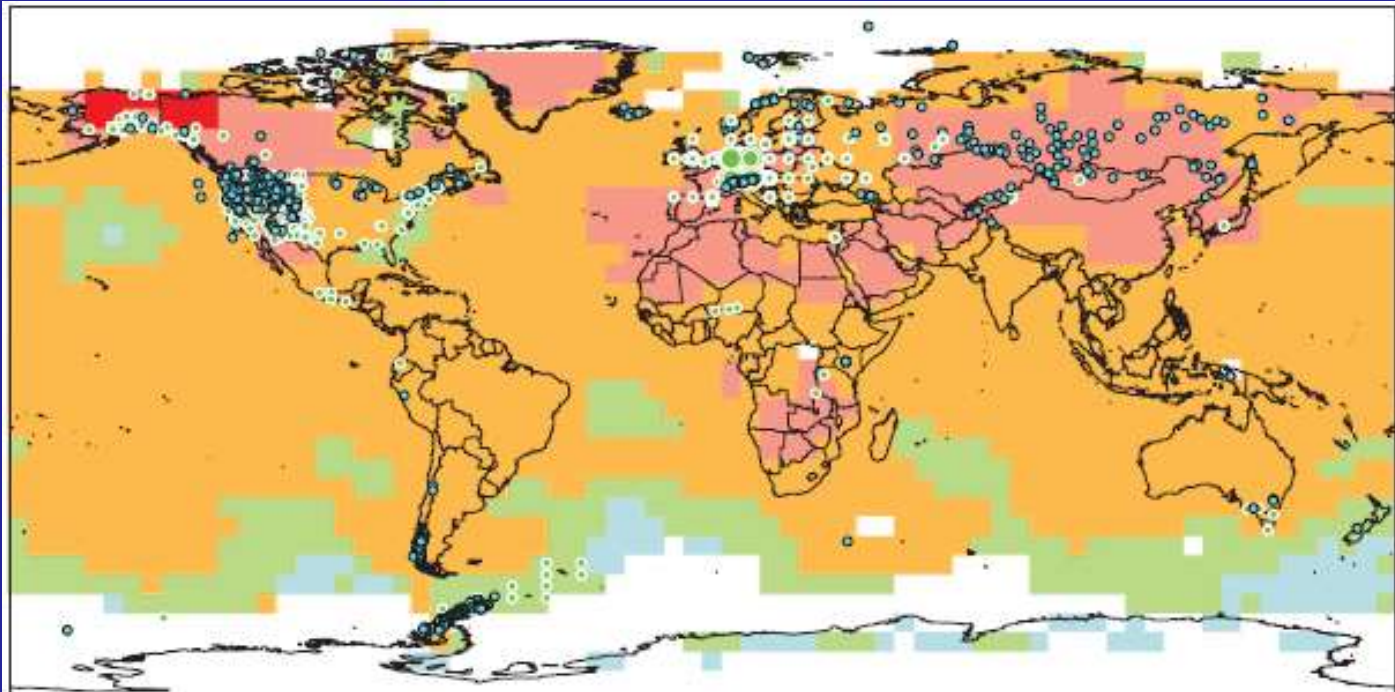


2015



osservazione delle tendenze XI

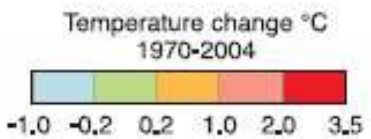
impatto sui sistemi fisici e biologici



NAM		LA		EUR		AFR		AS		ANZ		PR*		TER		MFW**		GLO	
355	455	53	5	119	28,115	5	2	106	8	6	0	120	24	764	28,586	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:

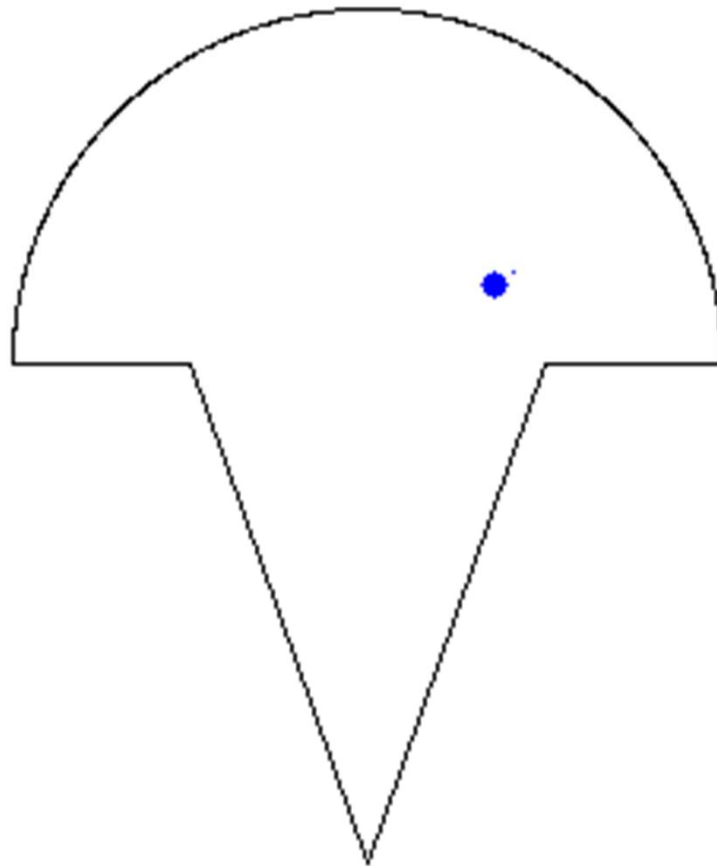
- i componenti interagiscono tra loro in modo lineare;
- è riducibile;
- è predicibile;
- è descritto da un numero finito di parametri.

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

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

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

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

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

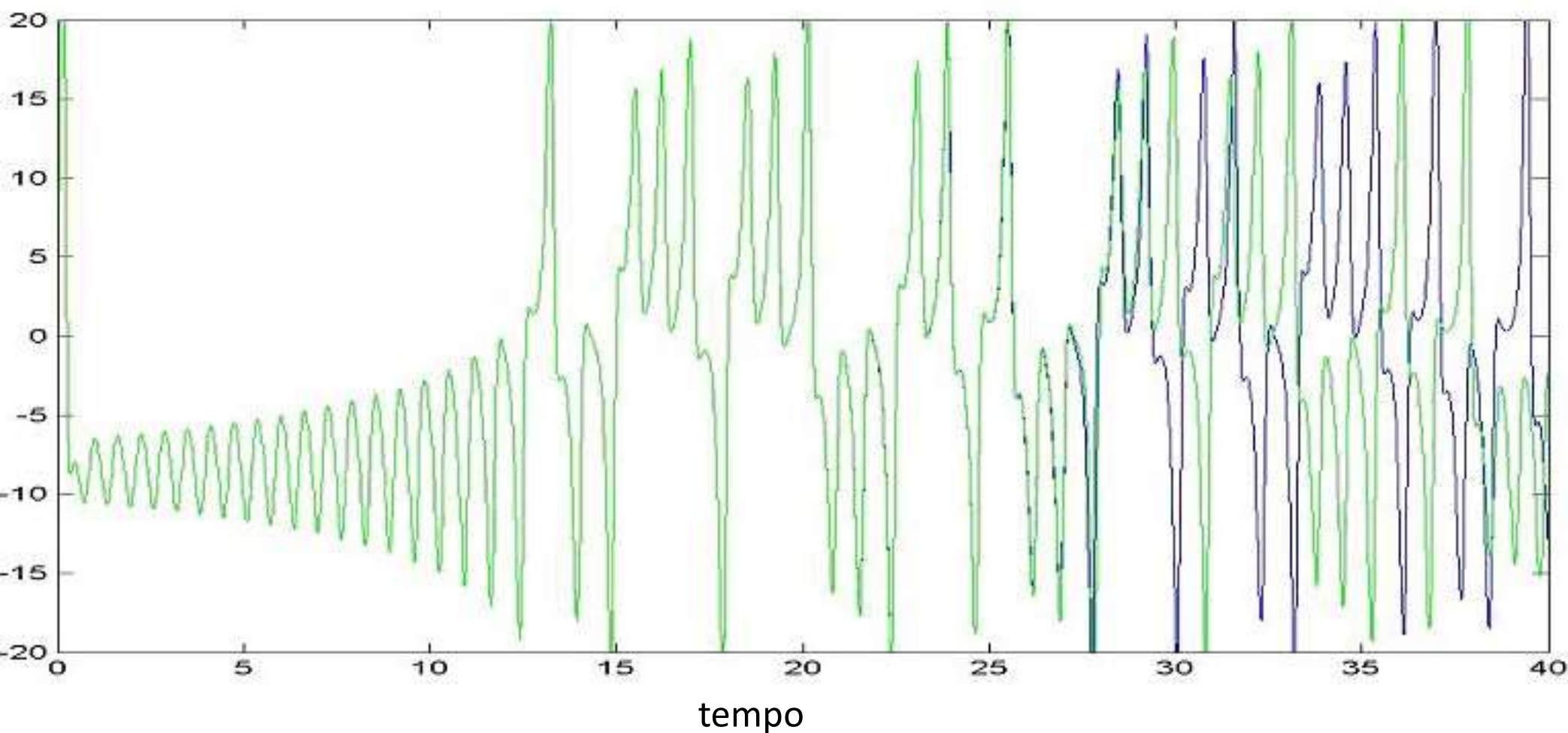
$$y_{(t=0)} = 1$$

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

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

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

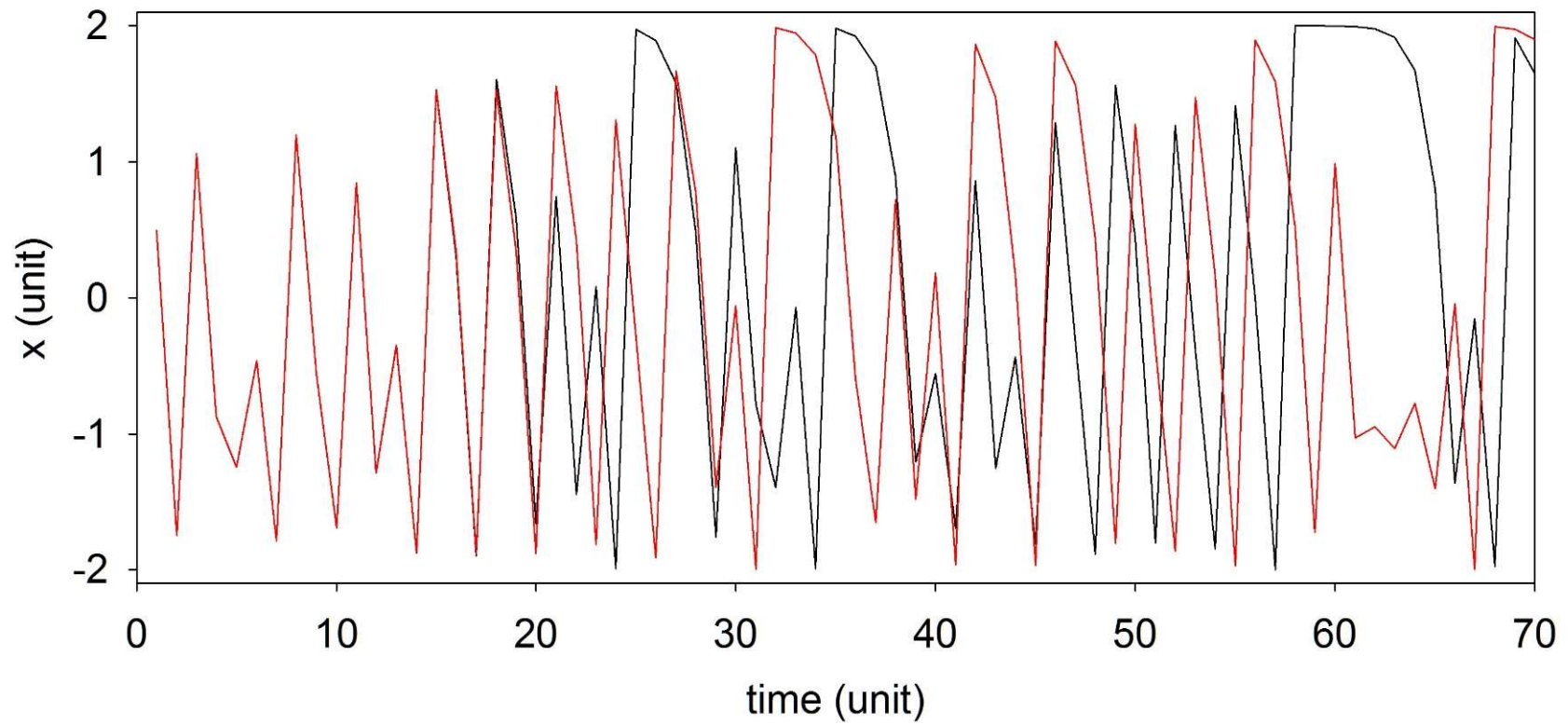
$$z_{(t=0)} = 1$$



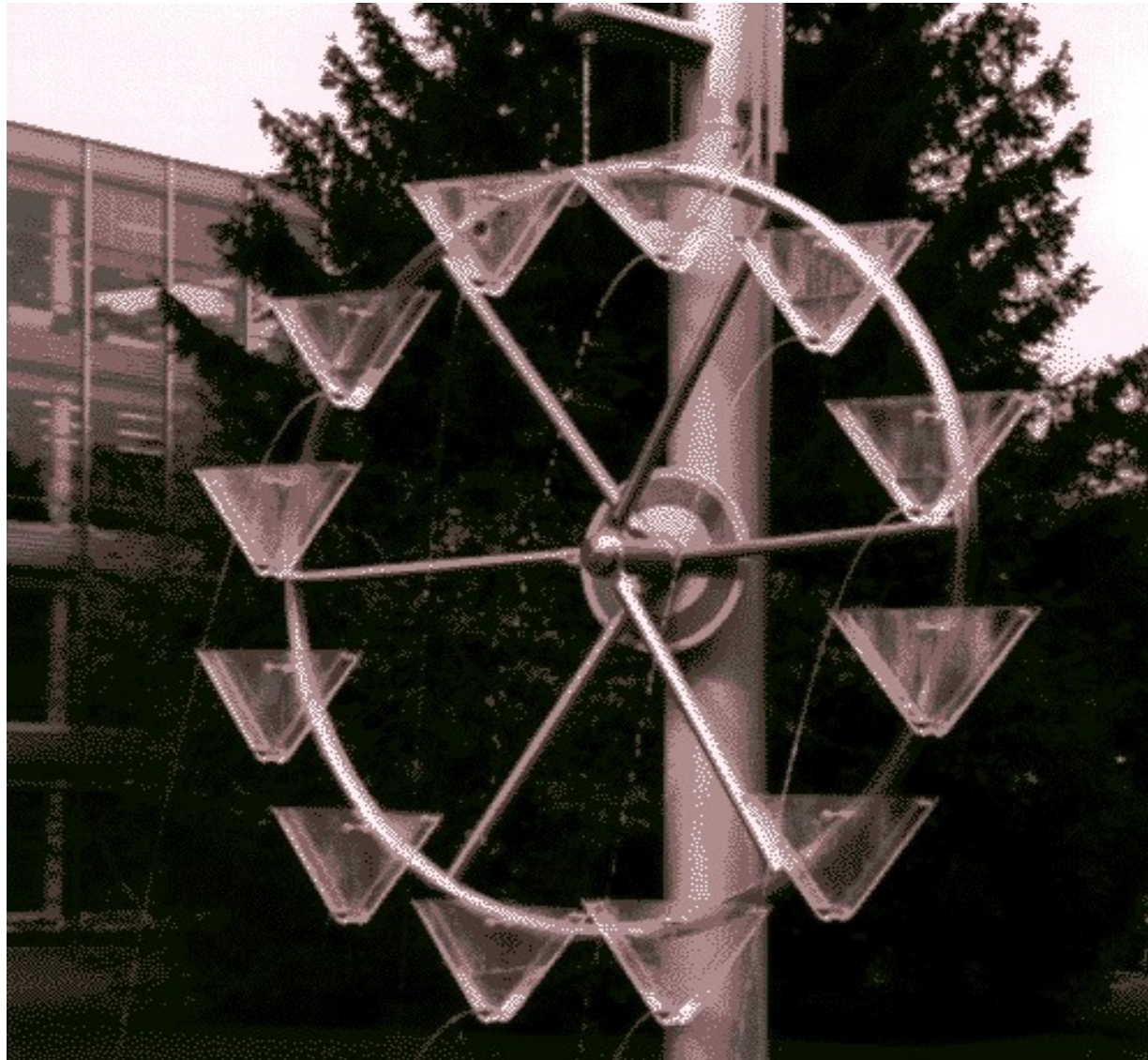
$$\mathbf{x}_t = \mathbf{x}_{t-1}^2 - 2$$

$\mathbf{x}_o = 0.500000$

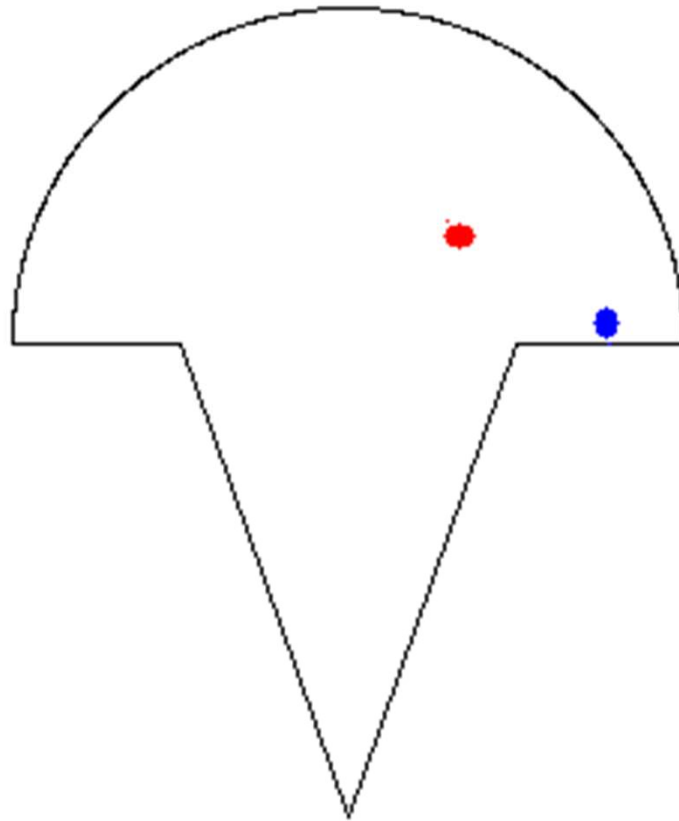
$\mathbf{x}'_o = 0.500001$



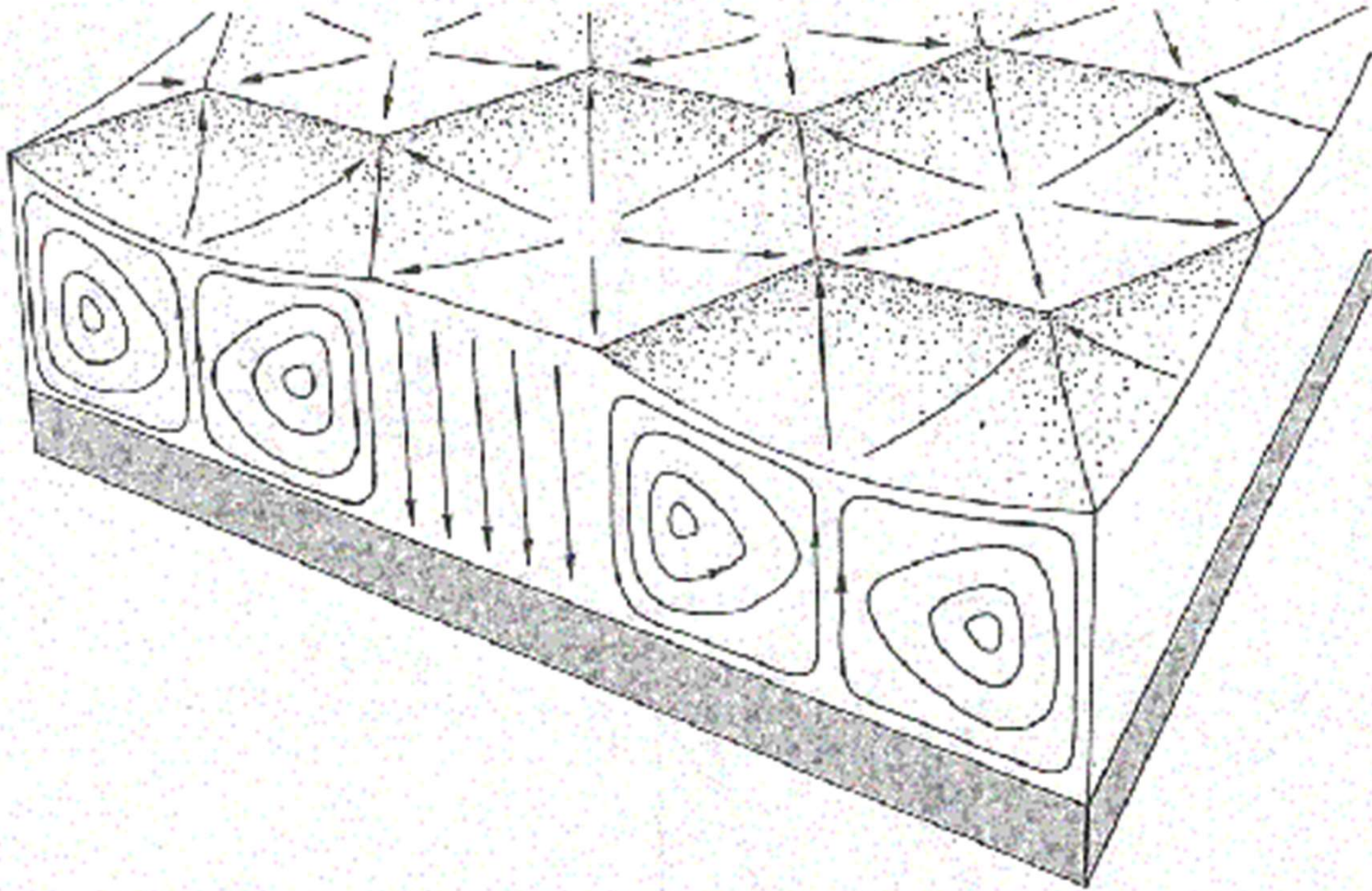
ruota ad acqua di Lorenz



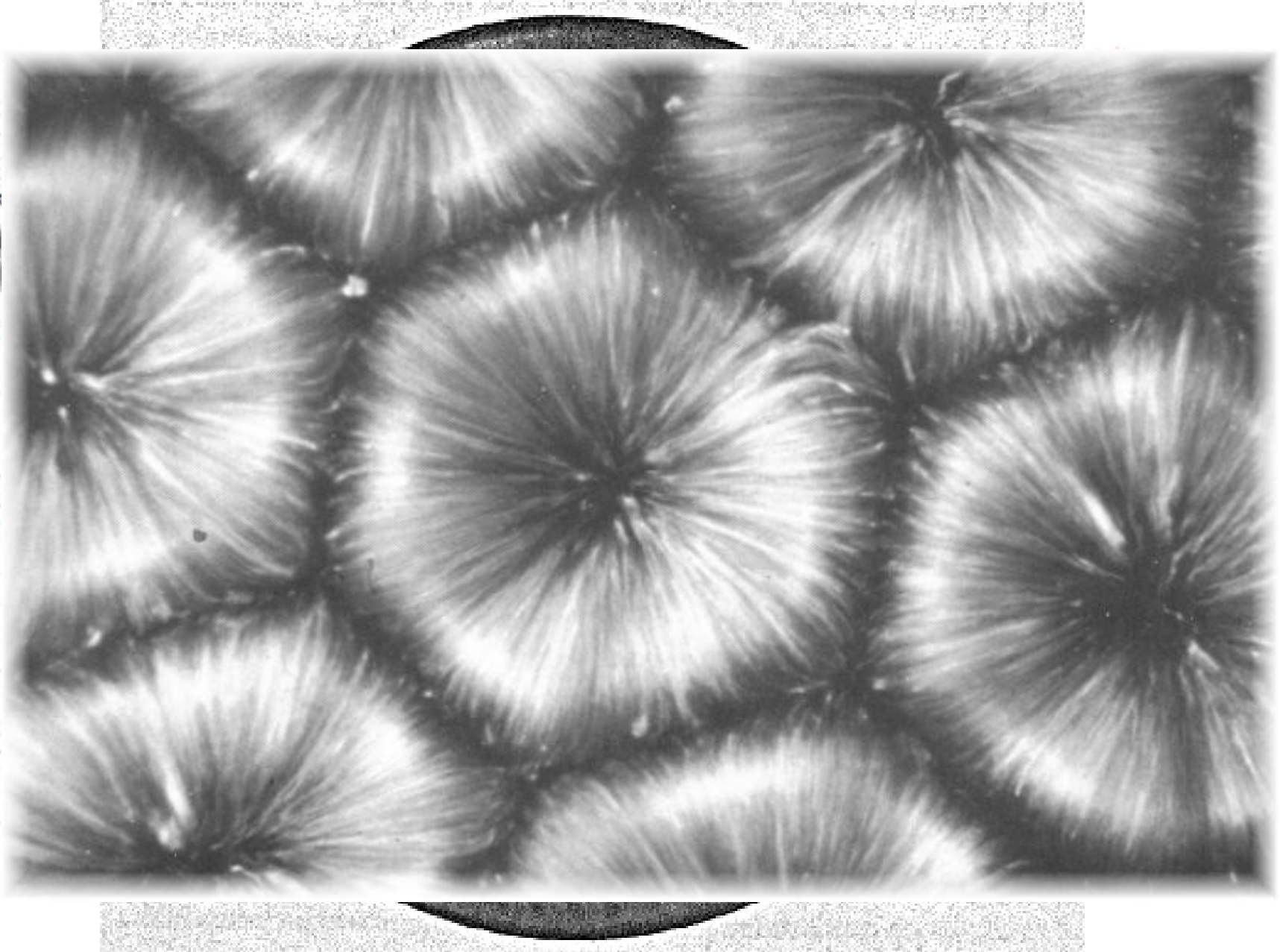
Biliardo ordine



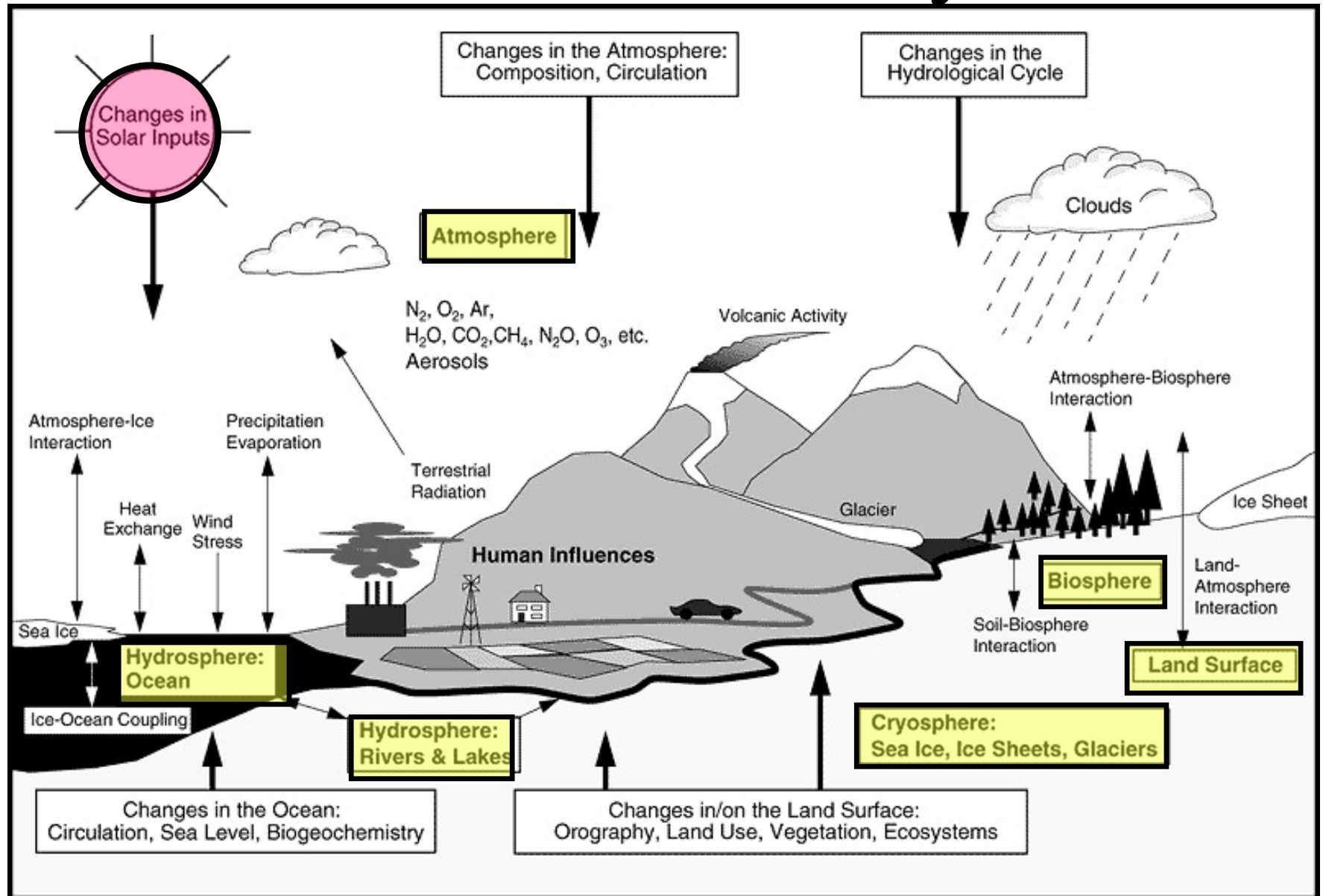
Convezione (Benard)



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.

Publicità



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SECOND CYCLE DEGREE/TWO YEAR MASTER IN
SCIENCE OF CLIMATE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

LAUREA MAGISTRALE IN
FISICA DEL SISTEMA TERRA



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

PHD PROGRAMME

FUTURE EARTH, CLIMATE CHANGE AND SOCIETAL CHALLENGES

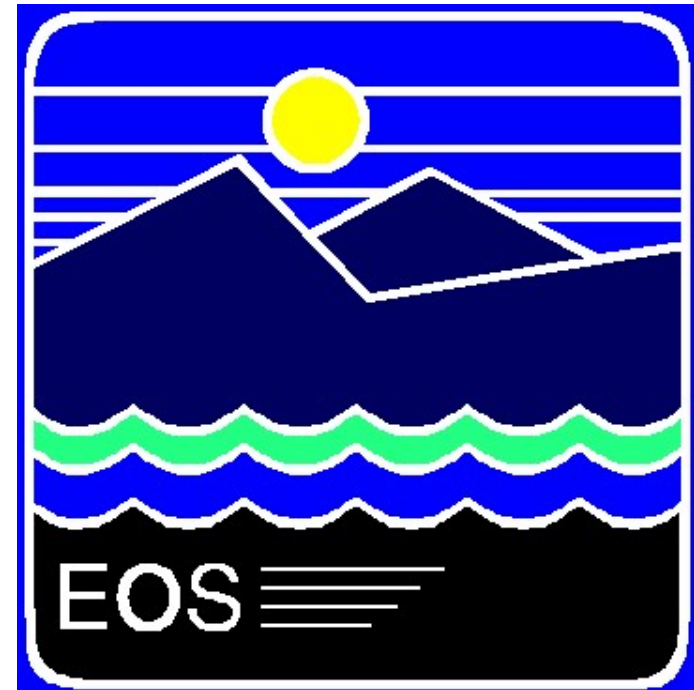
IT

EN

*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*

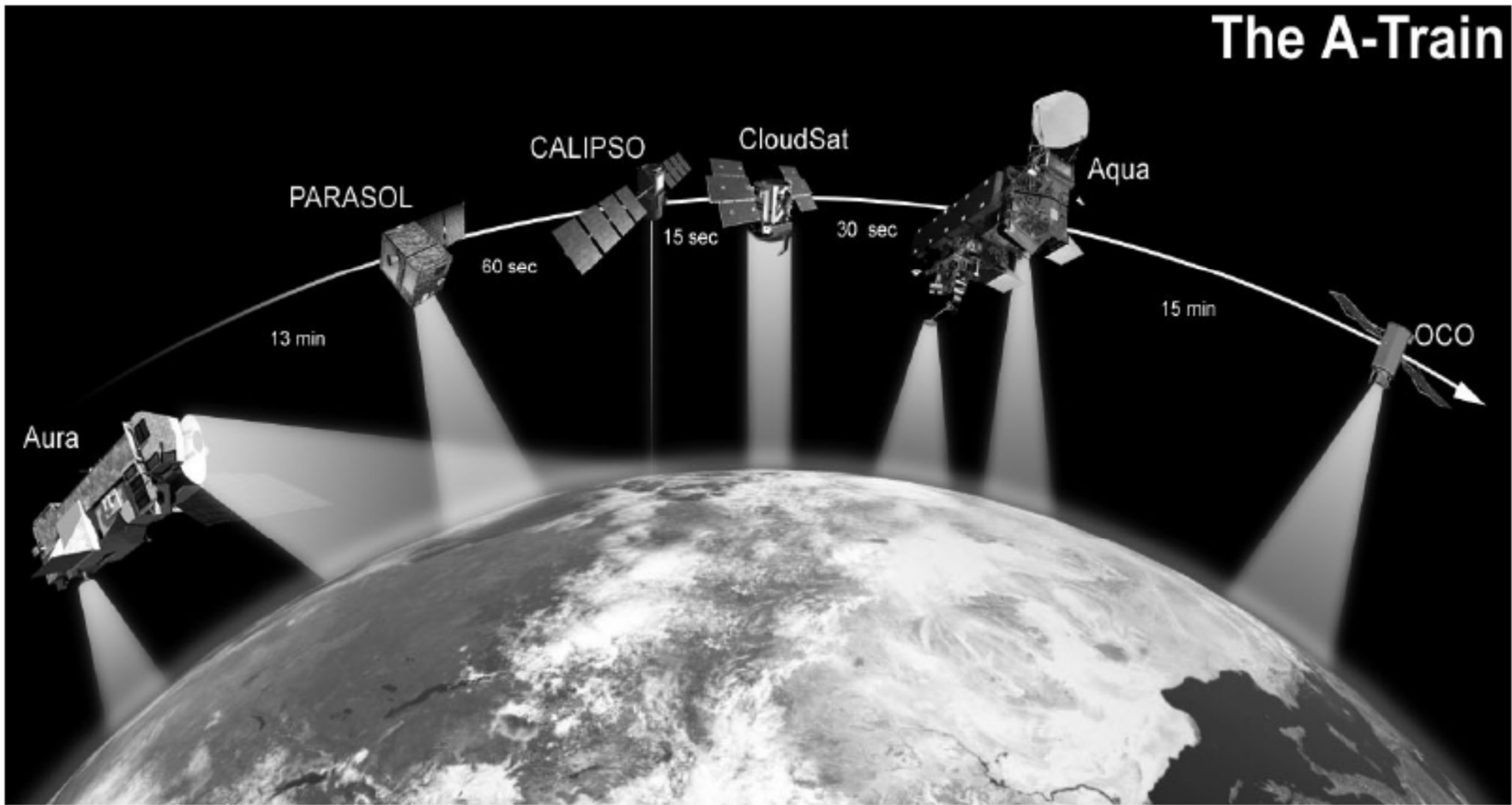
1991: Earth Science Enterprise

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

SOLAR RADIATION

Total Solar Irradiance

ACRIM III, TIM

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

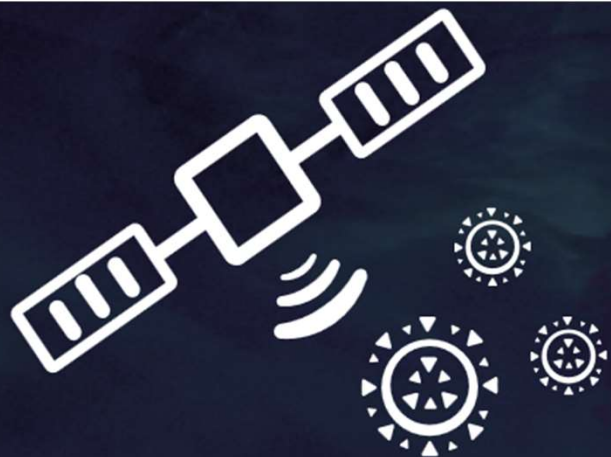
(extent, concentration, motion, temperature)

AMSR-E, Poseidon 2/JMR/DORIS, MODIS, ETM+, ASTER

Snow Cover

(extent, water equivalent)

MODIS, AMSR-E, ASTER, ETM+



EU Space response to Coronavirus ...>

Copernicus Services



Atmosphere



Marine



Land



Climate Change



Security



Emergency