

Terra



Roberto Bedogni

INAF Osservatorio Astronomico di Bologna

via Ranzani, 1 40127 - Bologna - Italia

Tel, 051-2095721 Fax, 051-2095700

<http://www.bo.astro.it/~bedogni/primolevi>

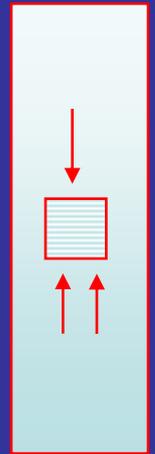
email: roberto.bedogni@oabo.inaf.it

Atmosfera: proprietà

L'atmosfera è costituita dallo strato di gas che circonda un pianeta

La pressione è data dalle collisioni delle molecole che formano dei gas

La pressione diminuisce con l'altezza, quindi il gas è più compresso verso il basso



Il gas è in equilibrio idrostatico

- L'atmosfera non ha limite superiore
- Termina a quell'altezza, ove divengono visibili le stelle
- Le atmosfere dei pianeti terrestri sono sottili ($< 2\% R_p$, Terra $h_{\text{atm}} = 100 \text{ Km}$)
- La struttura dell'atmosfera dipende
 - Dall'energia proveniente dal Sole
 - Dalla composizione chimica

Atmosfere dei pianeti gassosi e terrestri

Pianeti terrestri

Alte temperature basse pressioni

Come si comportano gli elementi pesanti C, N, O nei pianeti terrestri in presenza degli elementi leggeri H, He ??



Atmosfere ricche di azoto ed anidride carbonica

Pianeti gioviani

Basse temperature alte pressioni

Come si comportano gli elementi pesanti C, N, O nei pianeti gassosi in presenza degli elementi leggeri H, He ??



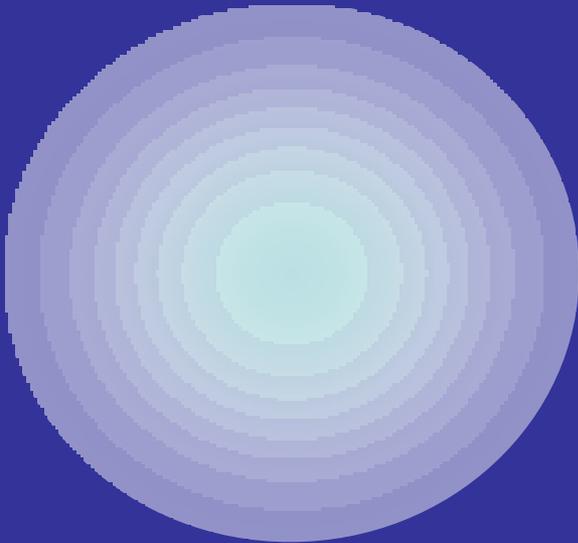
Atmosfere ricche di ammoniaca e metano

Fuga dei gas da un'atmosfera

La Terra appena formata possedeva una atmosfera di idrogeno, elio, metano ammoniacca e vapor d'acqua (H , He , CH_4 , NH_3 , H_2O)

L'acqua in gran parte proveniva da impatti di asteroidi

A causa della insufficiente gravità e dell'alta temperatura, tutti gli elementi leggeri non furono trattieneuti



Per la Terra

oggi $m > 7$

all'inizio $m > 42$

Fuga dei gas (termodinamica e gravità)

Affinché un gas non fugga dall'atmosfera occorre che la massa delle sue molecole sia

$$m > (R_p T) / (38 M_p)$$

m = massa della molecola (u.m.a.)

R_p = raggio pianeta in unità terrestri

M_p = massa pianeta in unità terrestri

T = temperatura °K

La velocità di fuga da un pianeta

Per un corpo di massa m soggetto al campo gravitazionale di un pianeta di massa M la velocità di fuga, se si trova ad una distanza R dal centro del pianeta, è:

$$V_f = (2 G M/R)^{1/2}$$

Dove G =costante di gravitazione universale= $6,673 (10) \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

Se invece di un corpo abbiamo una particella di gas che costituisce la sua atmosfera allora la sua velocità di agitazione termica

$$V_T = (2 kT/m)^{1/2}$$

dipende dalla temperatura T (k =cost Boltzmann= $1,3806504(23) \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) e può essere maggiore della velocità di fuga. In questo caso la particella di gas sfugge alla forza gravitazionale del pianeta e si perde nello spazio interplanetario.

Terra



Distanza dal Sole (U.A.) = 1

Distanza dal Sole (km) = 149,6 milioni di km

Periodo di rivoluzione = 365,256

Eccentricità = 0,0167

Inclinazione rispetto all'eclittica = 0,000°

Velocità orbitale media (km/sec) = 29,78

Massa = $5,9736 \times 10^{24}$ kg

Raggio equatoriale (km) = 6378 km

Densità media = 5515 kg/m^3

Accelerazione di gravità = $9,798 \text{ m/s}^2$

Velocità di fuga (km/sec) = 11,186 km/s

Periodo di rotazione = 23,93 h

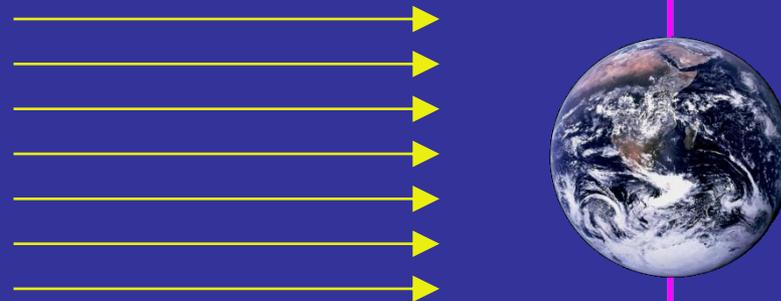
Inclinazione sul piano dell'orbita = 0,00°

Albedo = 0,306

Numero satelliti = 1

Insolazione

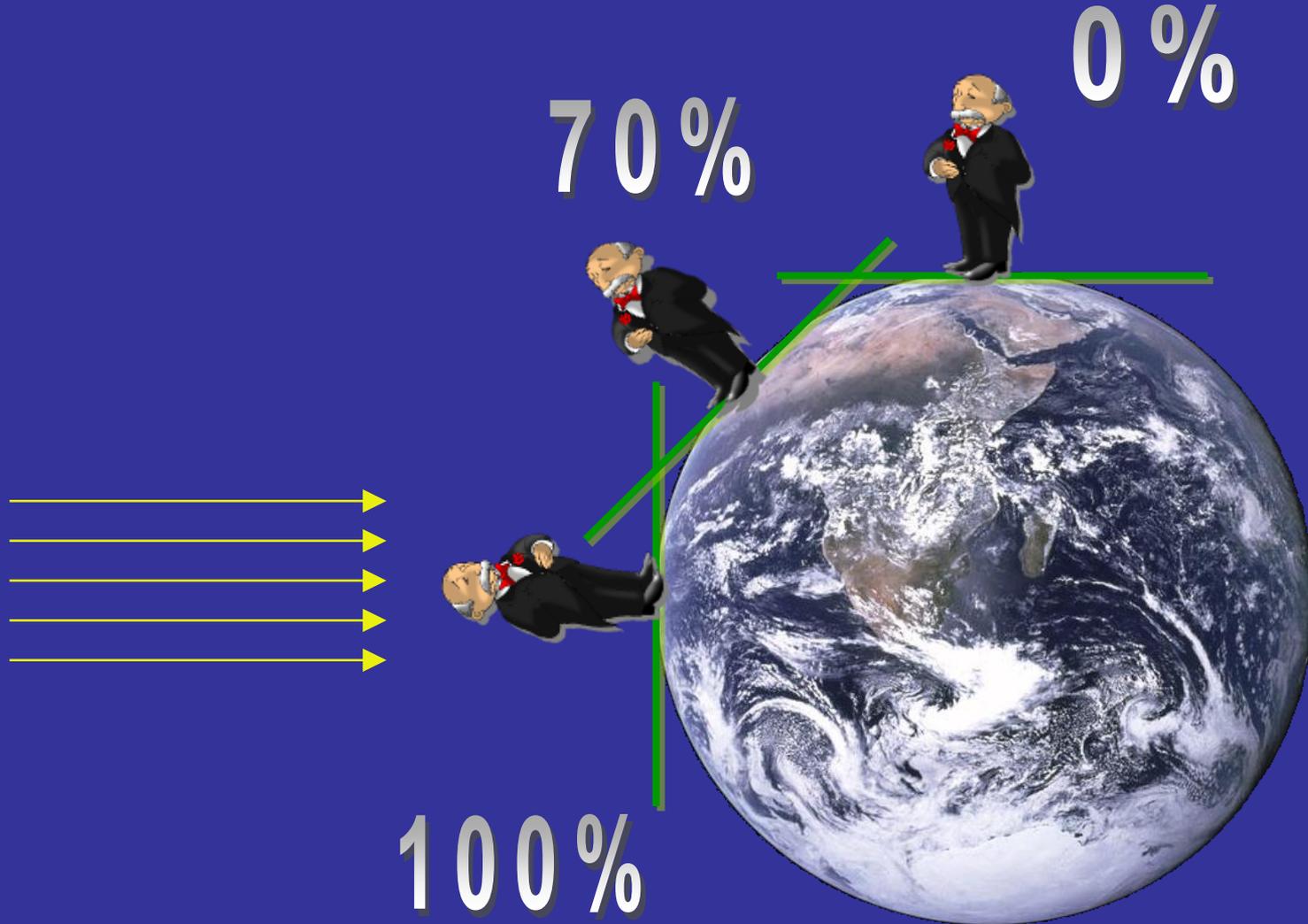
Clima =, cioè **Klinos** inclinazione



23.5°

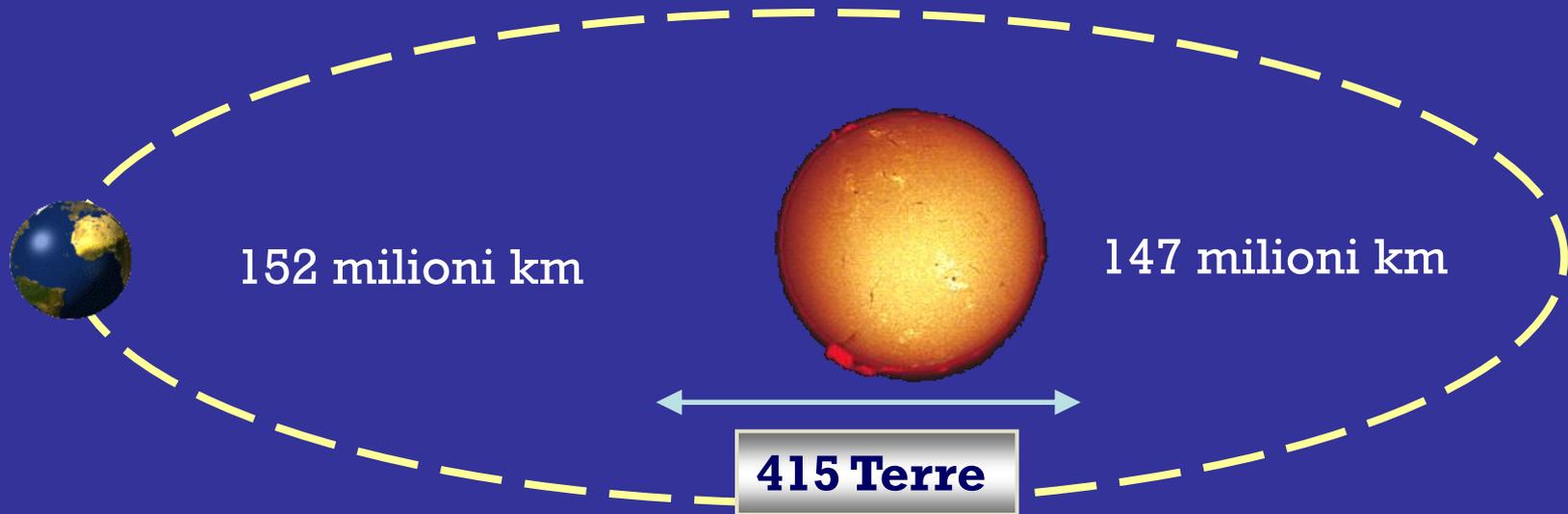
Per cortesia di Massimo Mazzoni (Univ. Di Firenze)

Incidenza dei raggi solari



Per cortesia di Massimo Mazzoni (Univ. Di Firenze)

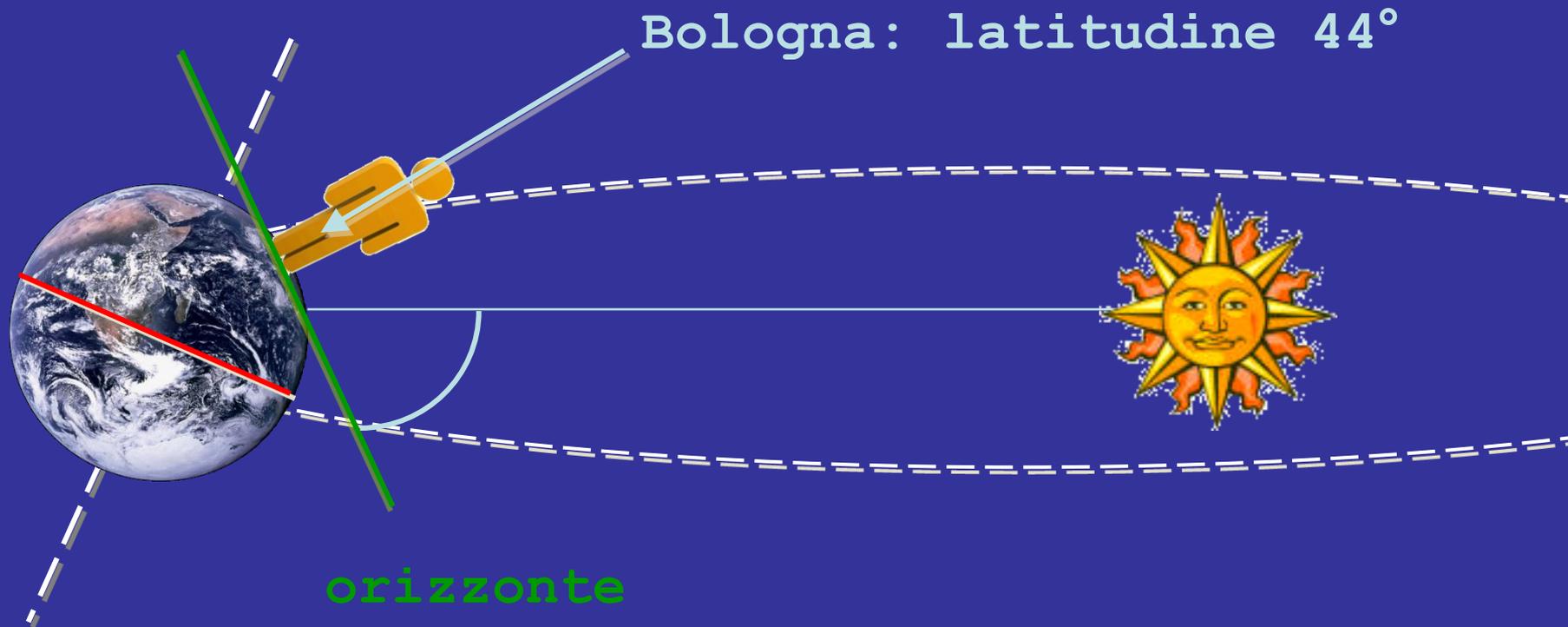
Moto orbitale della Terra



Ma la differenza in energia è solo il 7%

Per cortesia di Massimo Mazzoni (Univ. Di Firenze)

Solstizio d'estate

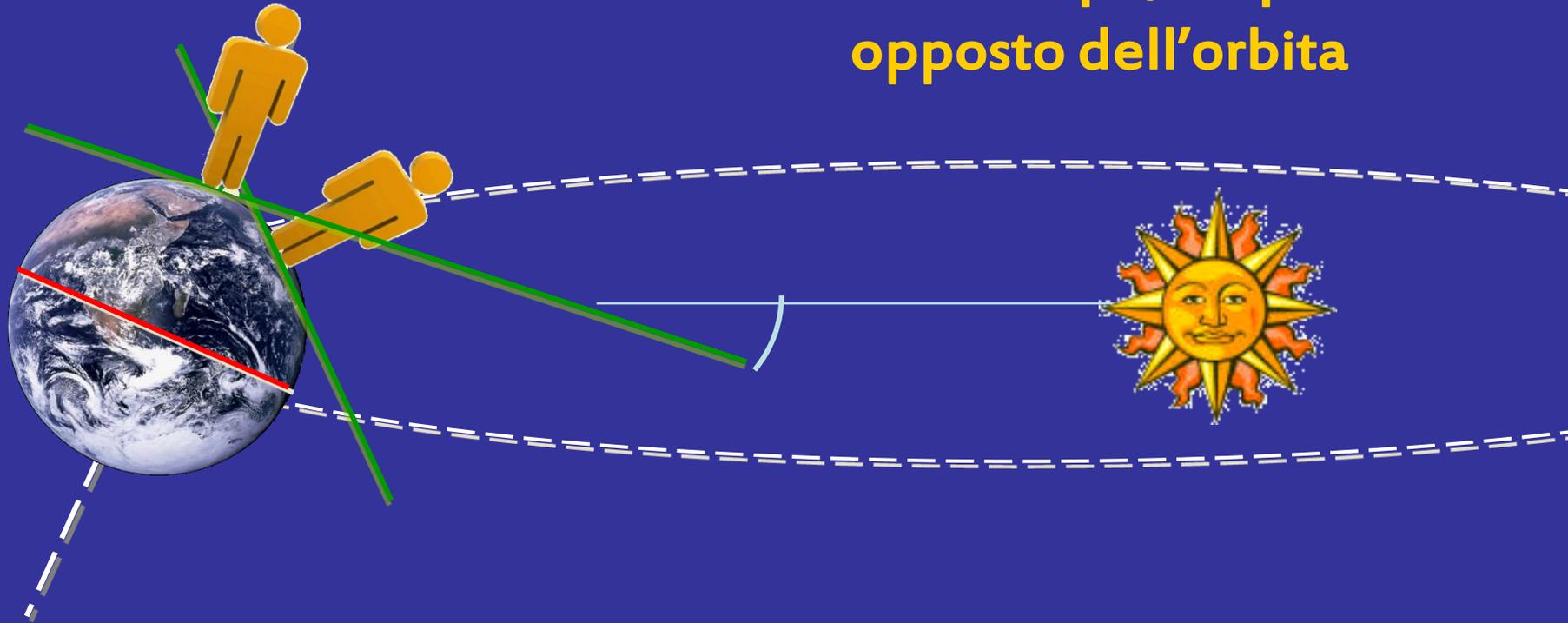


Il Sole è alto sull'orizzonte

Per cortesia di Massimo Mazzoni (Univ. Di Firenze)

Solstizio d'inverno

Sei mesi dopo, sul punto
opposto dell'orbita



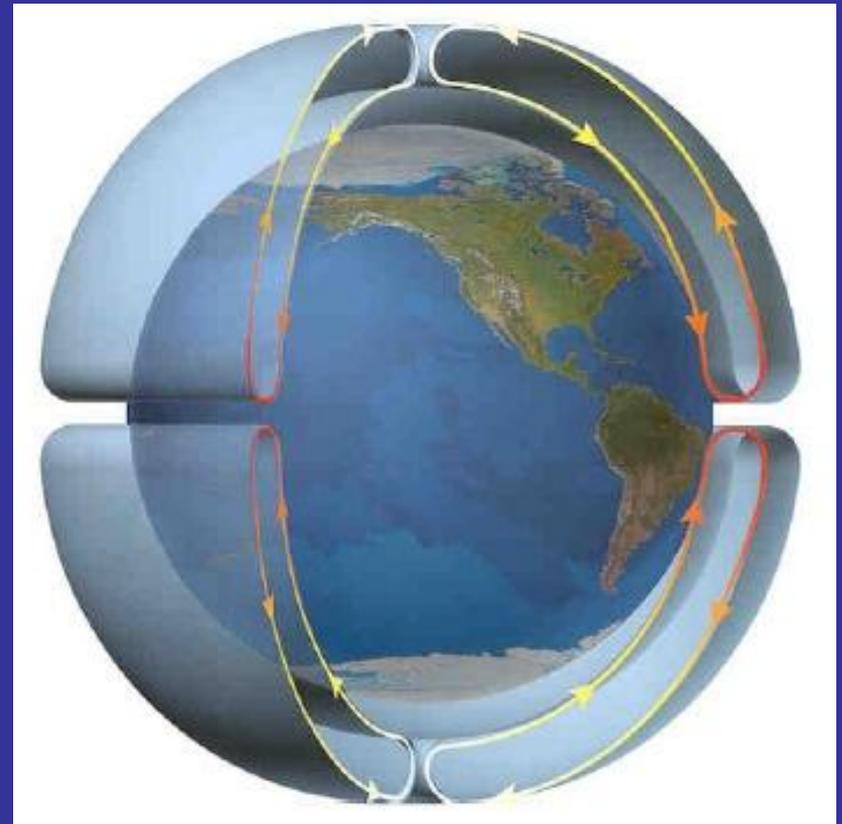
Il Sole è basso sull'orizzonte

Per cortesia di Massimo Mazzoni (Univ. Di Firenze)

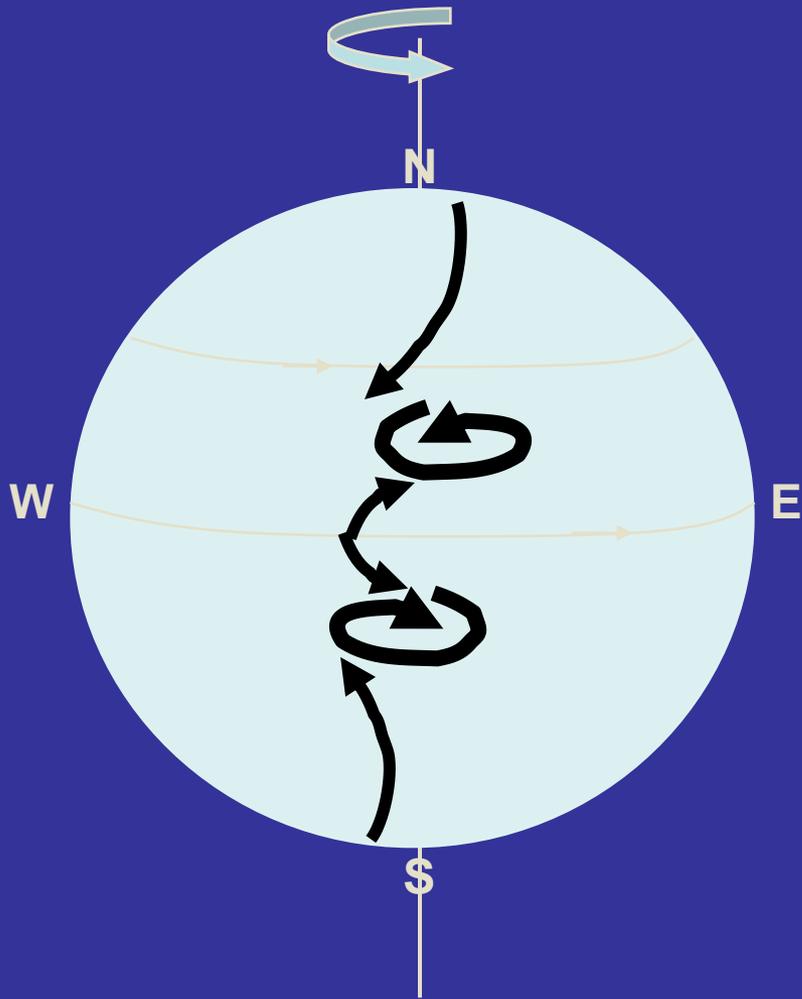
GWP (circolazione globale dei venti)

Riscaldamento e convezione nell'atmosfera

Nelle zone equatoriali l'aria si riscalda maggiormente e sale; in corrispondenza dei poli si raffredda e ridiscende. Per effetto del GWP si creano celle di convezione, all'interno delle quali si hanno spostamenti di grandi masse d'aria.



GWP (circolazione globale dei venti)



Le forze di Coriolis

Le forze di Coriolis fanno sì che l'aria in moto dai poli all'equatore non proceda in linea retta ma si sposti verso W, mentre quella in moto verso Nord si sposti verso E (emisfero boreale).

Quando i flussi si incontrano danno vita ad un' **area ciclonica**.

Il contrario avviene nell'emisfero australe.

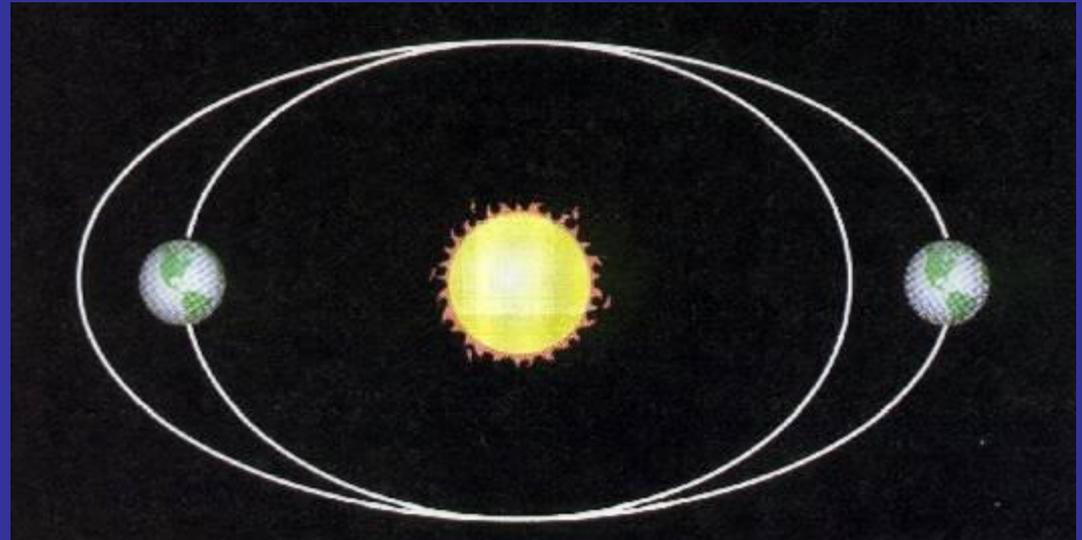
Terra: Coriolis notevole

Marte e Venere: Coriolis trascurabile
(Marte atmosfera quasi assente,
Venere rotazione lenta)

Variazioni orbitali e clima terrestre

I cicli glaciali sono innescati da variazioni astronomiche ??

L'accendino climatico



I dati paleoclimatici suggeriscono variazioni delle quantità osservate modulate su diversi periodi tra cui quelli di:

19000, 26000, 41000 e 100000 anni

Variabilità Climatica -i cicli di Milankovitch

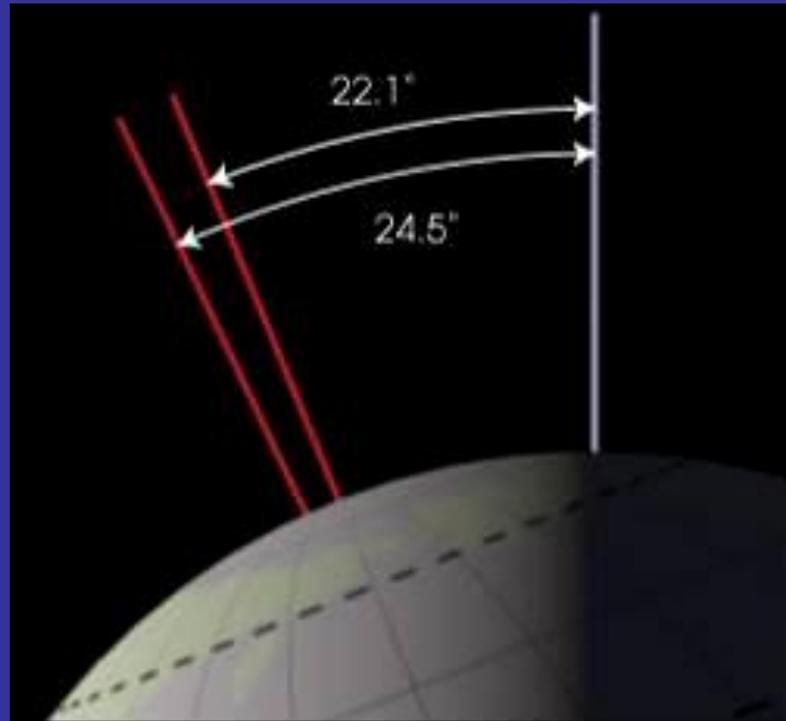


Le variazioni orbitali non sono sufficienti per rendere conto dei cicli glaciali in quanto non modulano gli stessi periodi !

M. Milankovitch nel 1920 propose allora che, ben più importante delle variazioni dell'eccentricità fossero le variazioni dell'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre e della sua precessione

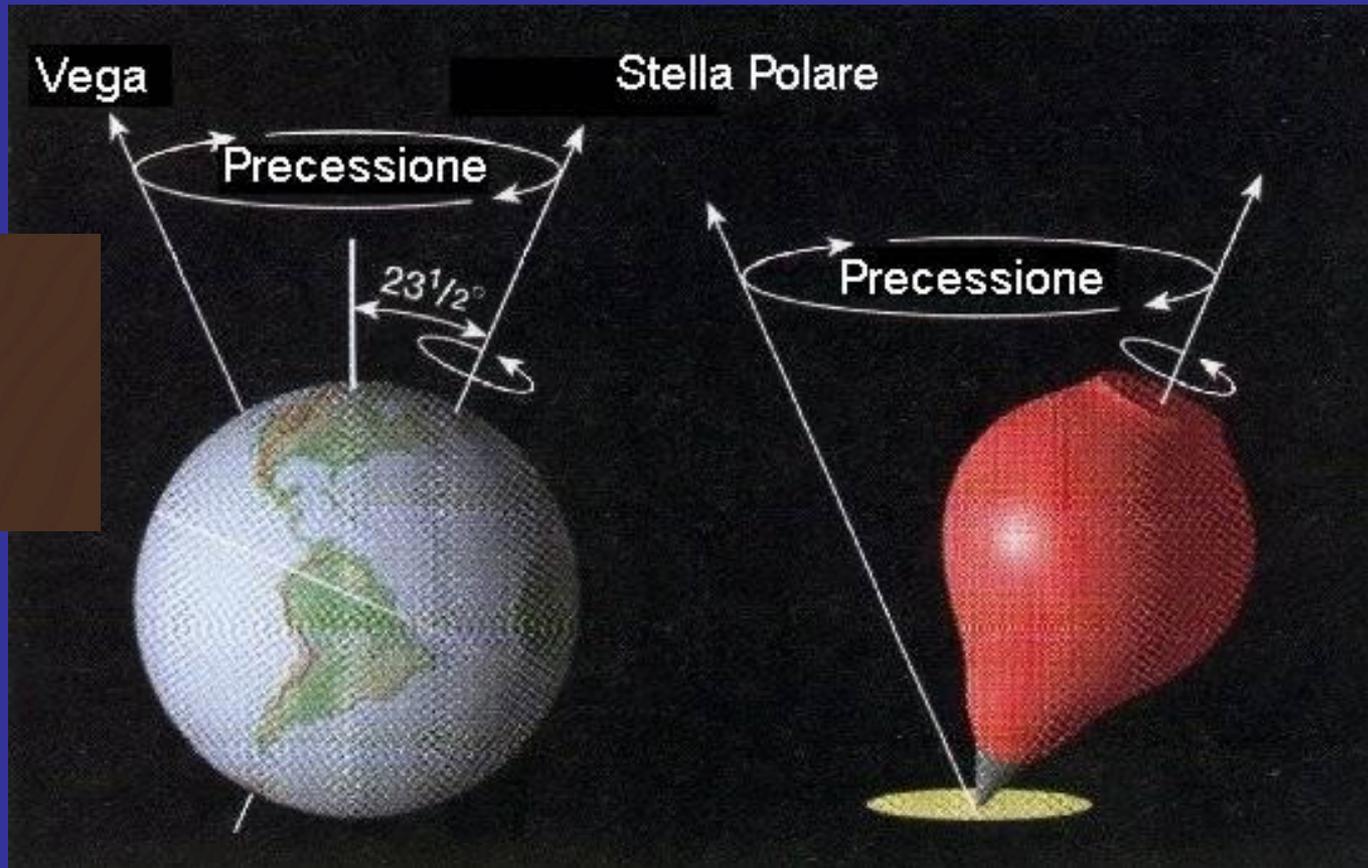
I cicli di Milankovitch

variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre



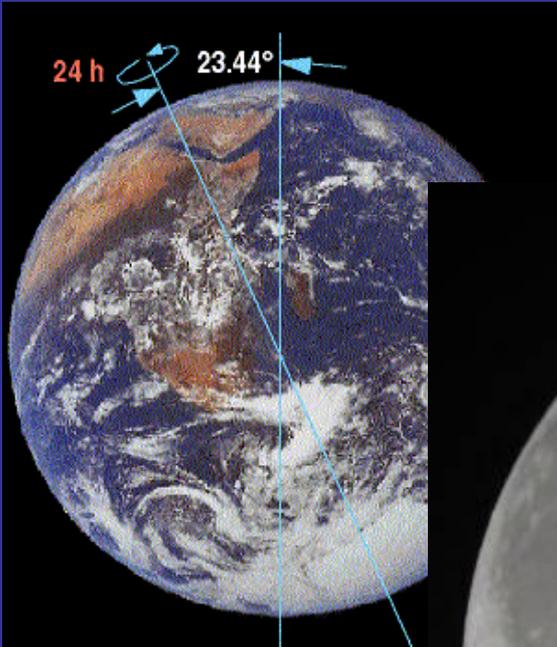
Variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre da $22^{\circ}30'$ a $24^{\circ}30'$ con un periodo di 41000 anni (dovuto alla risonanza tra il moto dei nodi e la precessione lunisolare)

I cicli di Milankovitch precessione dell'asse terrestre

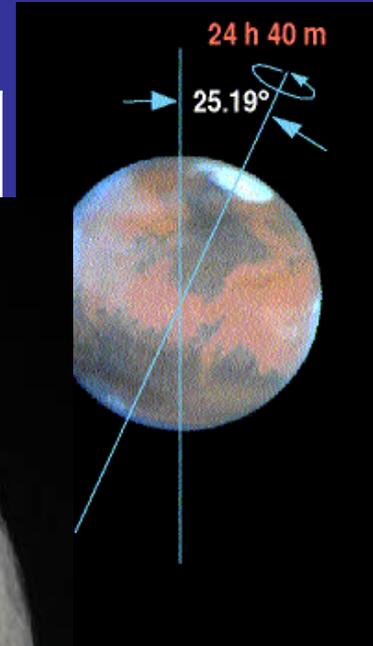


Precessione dell'asse terrestre con un periodo di 26000 anni

Marte e la Terra



	Terra	Marte
--	-------	-------

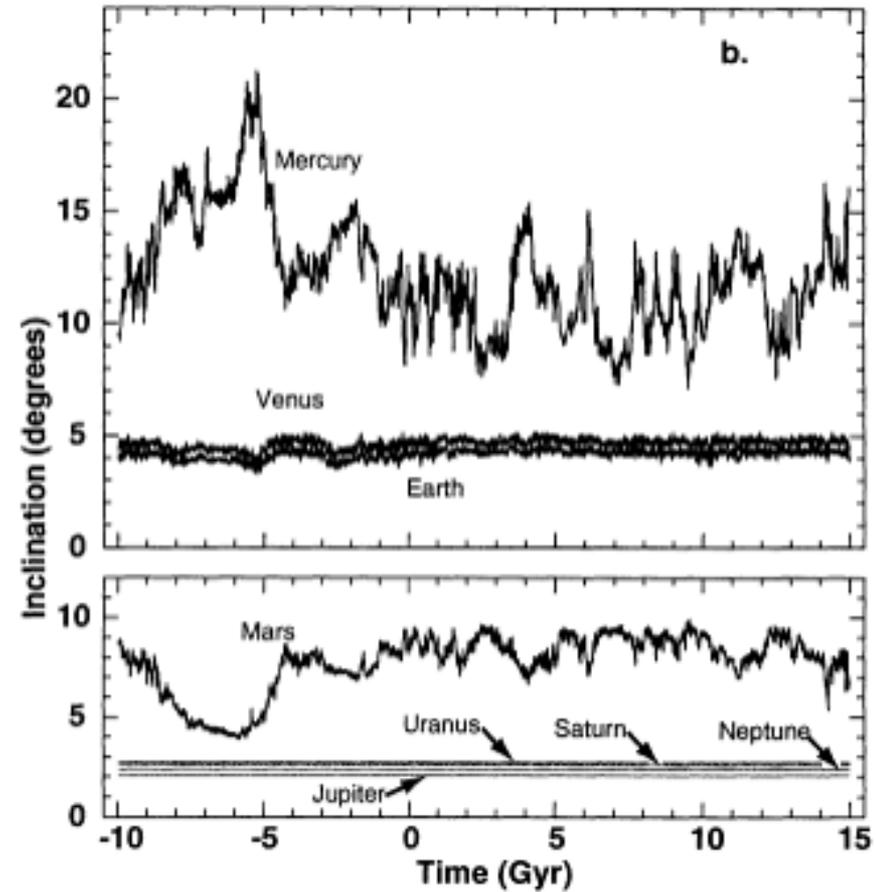
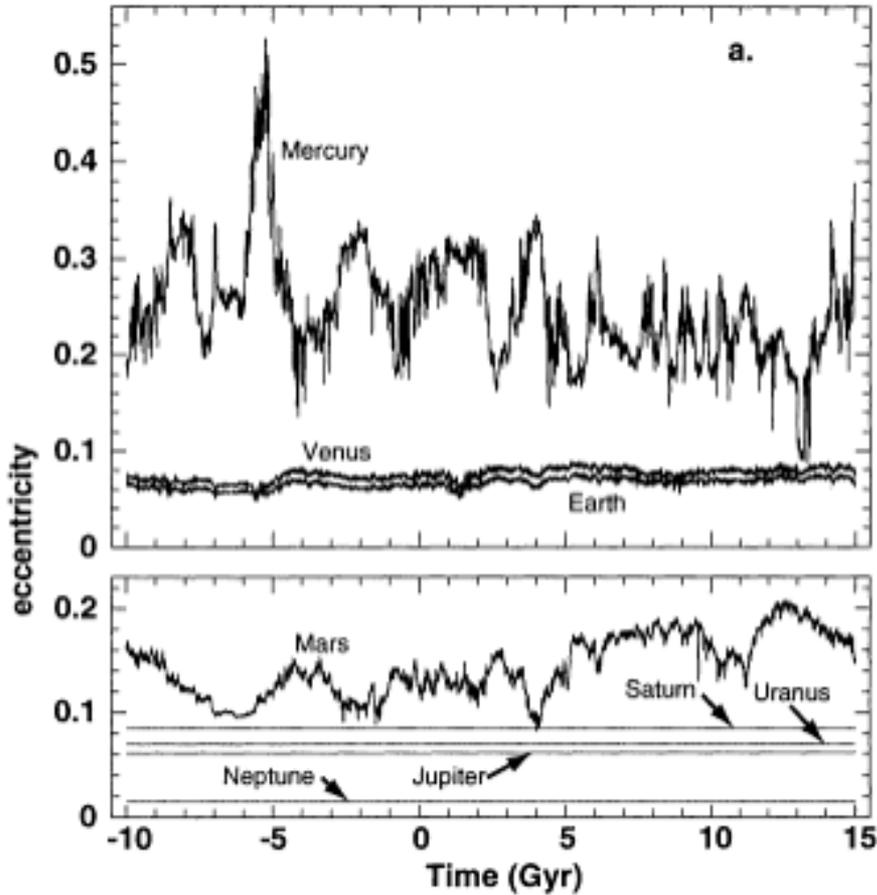


Le variazioni dell'asse terrestre sono circa 23.44 gradi

Così

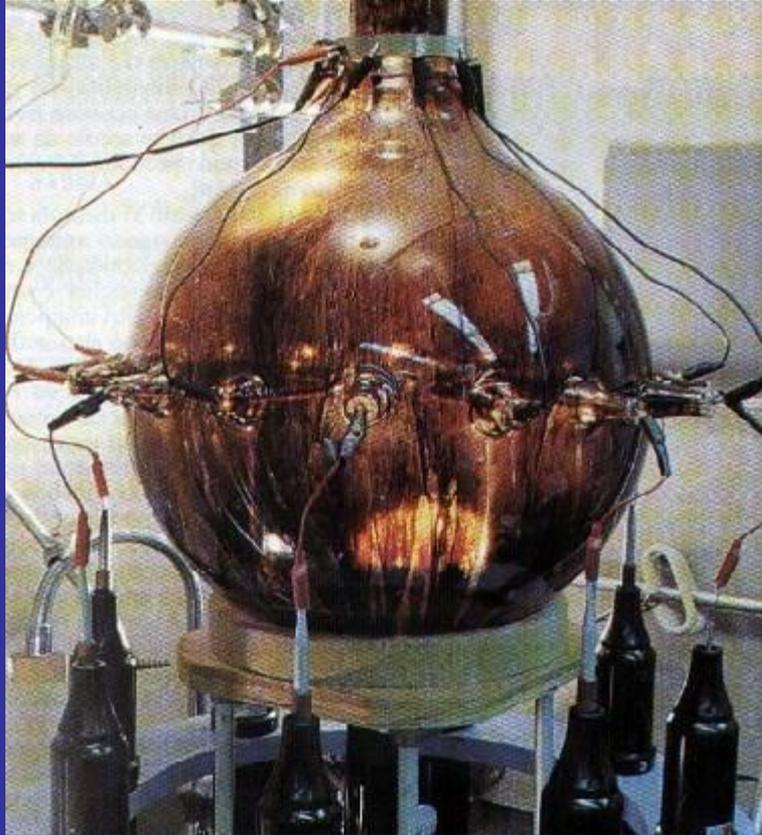
l'assiale di Marte è maggiore

Orbite planetarie eccentricità ed inclinazione



Laskar (1994)

La Terra, il pianeta vivente



Terra è "sistema vivente"

abitabile del Sistema solare

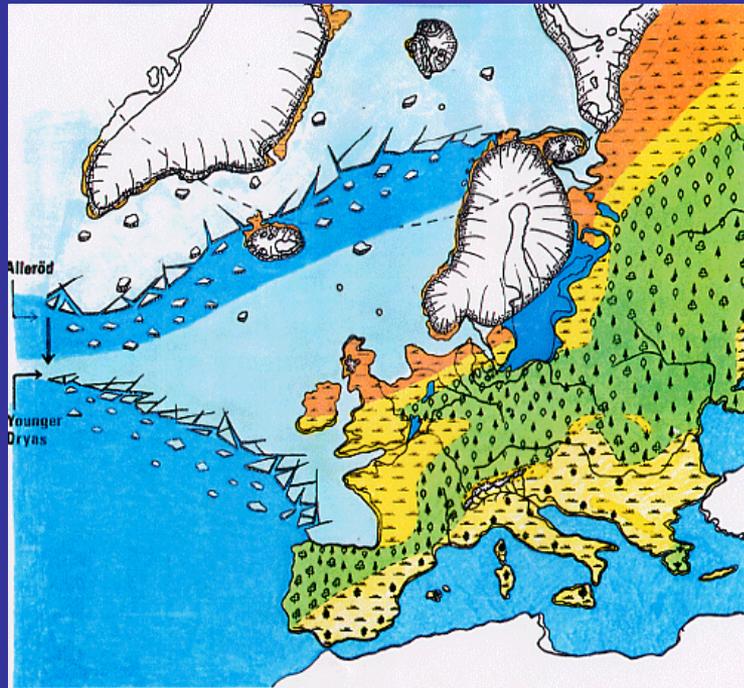
tipo secondario cioè "evoluto"

va

magnetico



L'Olocene, Younger Dryas ed Emiano



Una ricostruzione dell'Europa nell'ultimo periodo freddo (**Younger Dryas**) prima dell'Olocene 13000 anni fa

L'Olocene è l'epoca interglaciale più recente, quella in cui ci troviamo oggi ed ha avuto inizio circa 10.000 anni fa.

L'ultimo periodo freddo prima dell'Olocene è lo **Younger Dryas** tra 13000 ed 10000 anni fa.

L'Emiano è la precedente epoca interglaciale che i dati paleoclimatici situano circa 132000 anni fa !

L'(in)sostenibile "leggerezza" della astronave Terra

Un delicato equilibrio

Radiazione solare

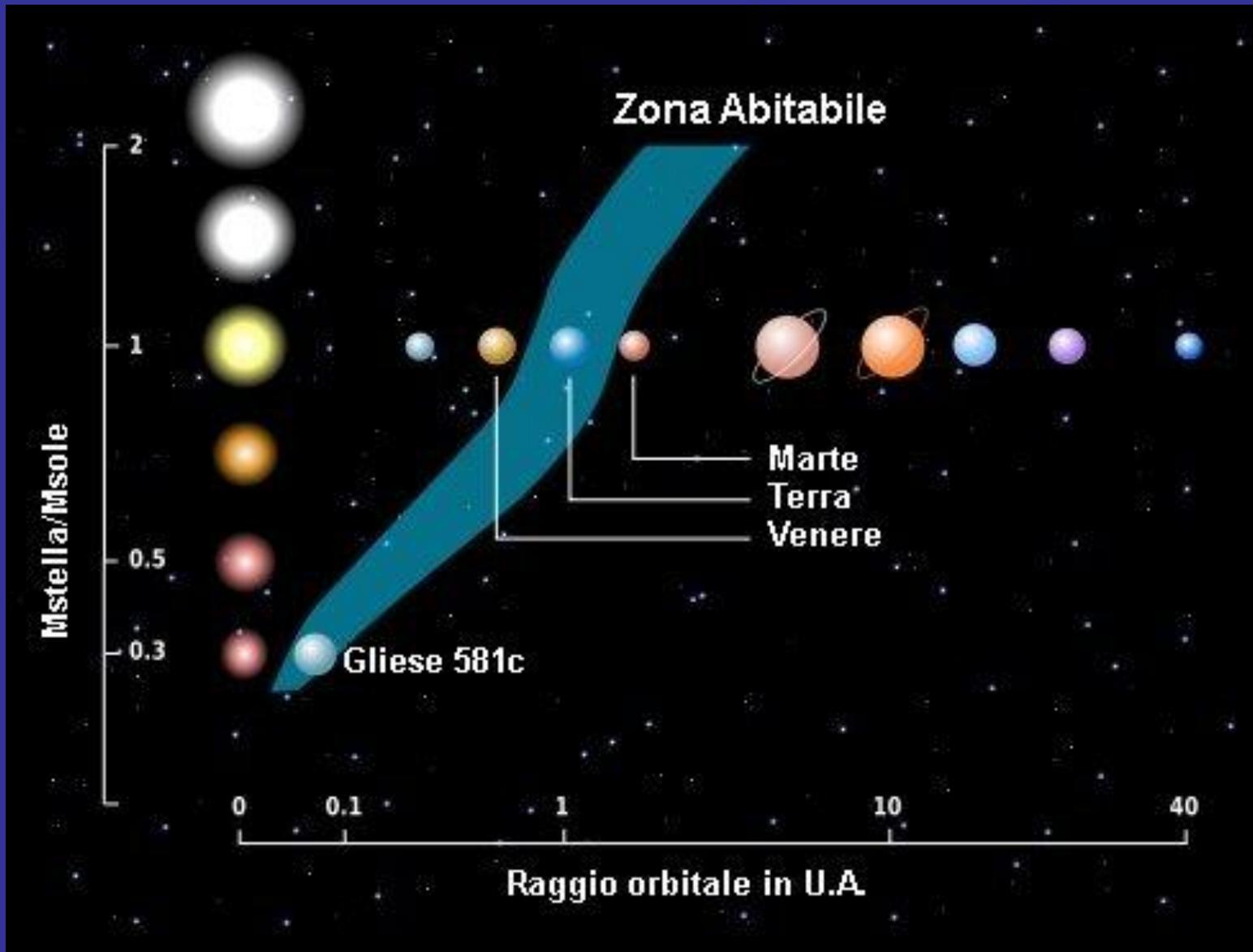


Atmosfera

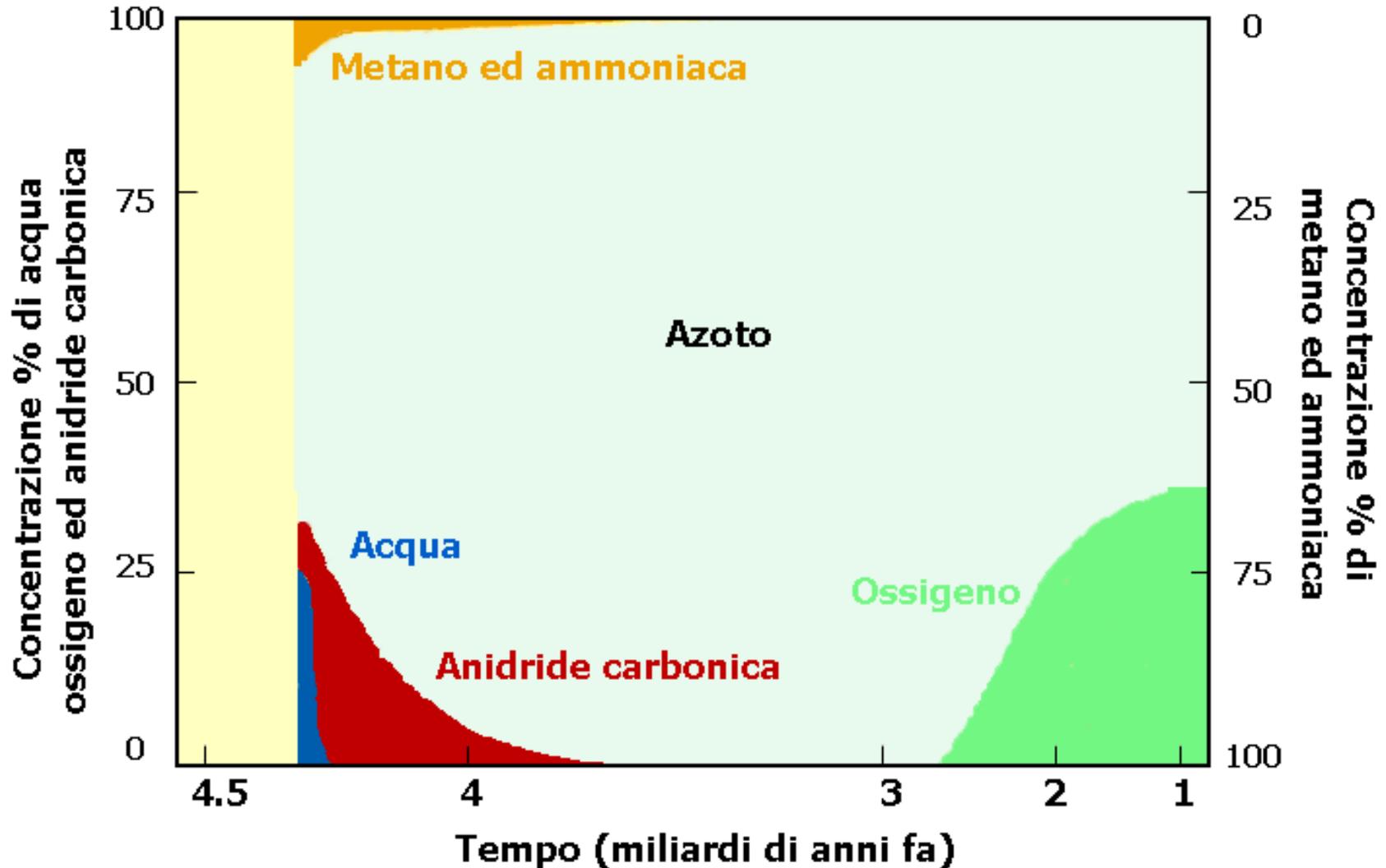


Attività interna

La zona di abitabilità planetaria



L'evoluzione della atmosfera terrestre

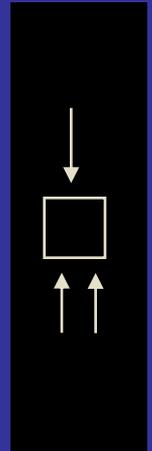


Proprietà fisiche dell'atmosfera terrestre



Alpi e pianura padana

- L'atmosfera è costituita dallo **strato di gas che circonda un pianeta**
- L'atmosfera della Terra è **sottile** ($\sim 1,5\%$ del raggio)
- La **pressione** è data dalle collisioni delle molecole dei gas
 - La pressione diminuisce con l'altezza, quindi il gas è più compresso verso il basso
 - Il gas è in equilibrio idrostatico



Il riscaldamento della Terra

Riscaldamento (senza atmosfera) dipende

- dalla distanza dal Sole
- dall'albedo, $A = \text{energia riflessa} / \text{energia incidente}$

Albedo

$A = 0$ nessuna riflessione, tutta l'energia viene assorbita;

$A=0,1-0,25$ rocce

$A=0,7$ nubi

$A=0,8$ ghiaccio

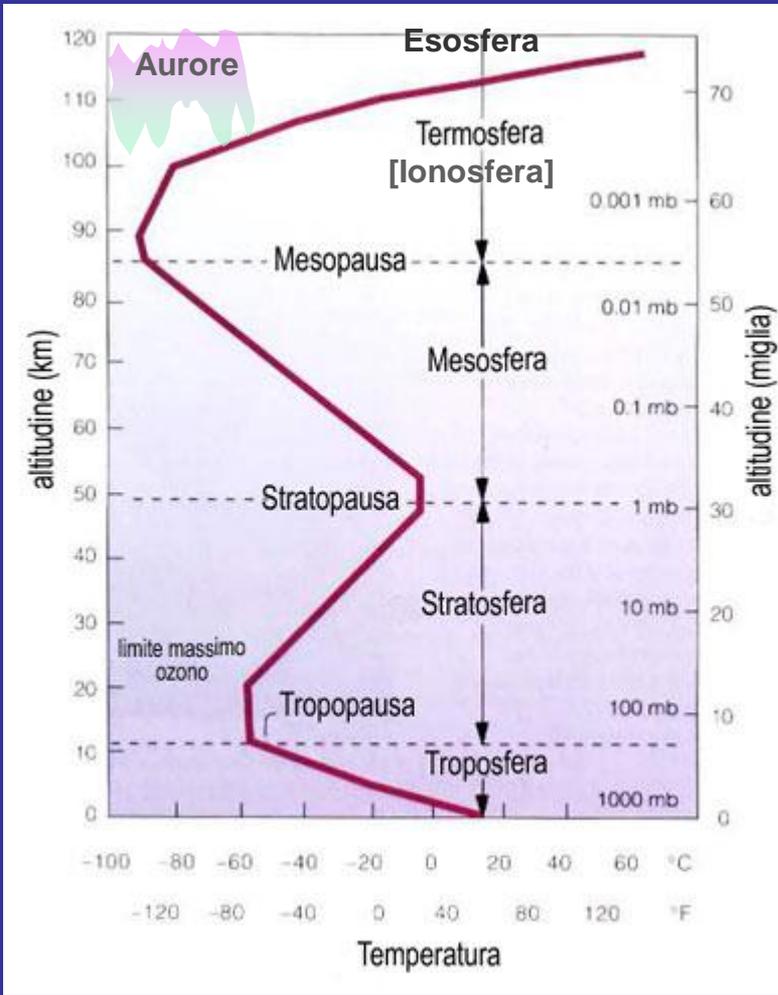
$A = 1$ tutta l'energia viene riflessa

$$A_{\text{Terra}} = 0,38$$

Bilancio energetico

Energia emessa ed energia ricevuta devono eguagliarsi

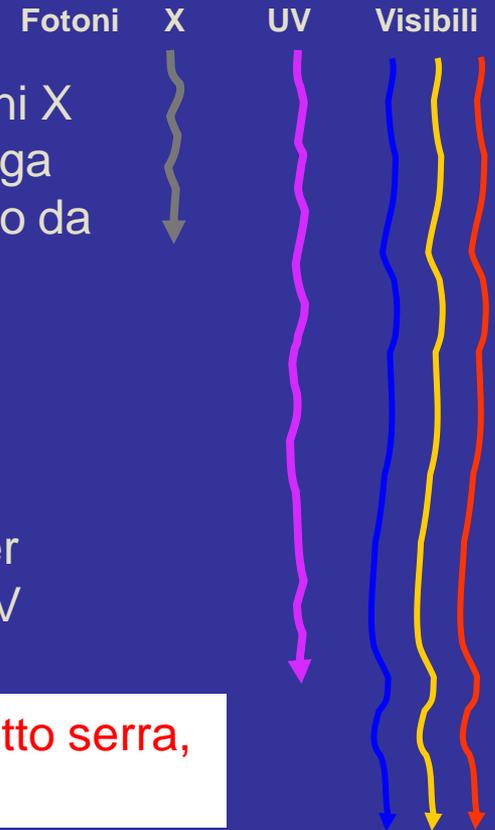
L'assorbimento dell' atmosfera terrestre



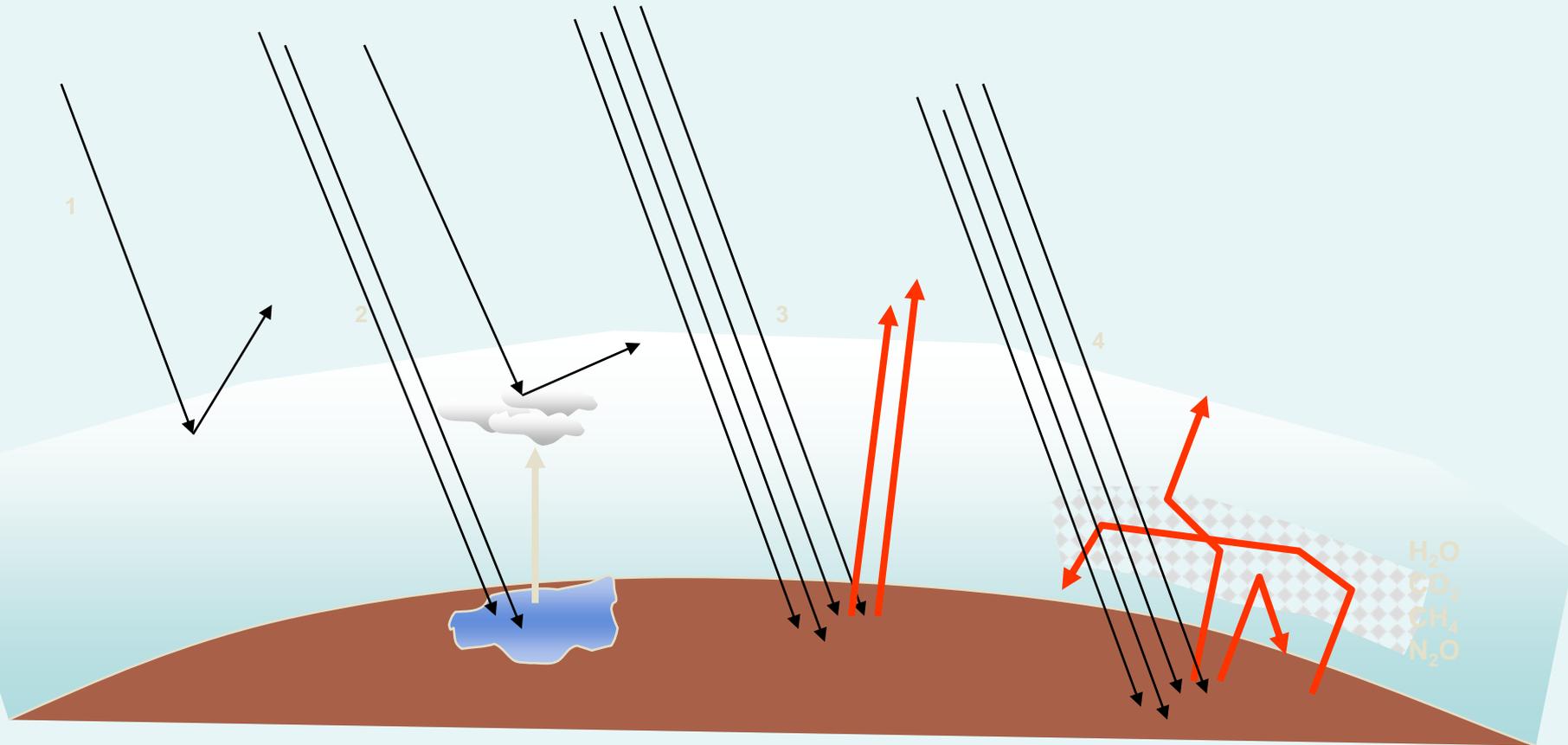
Riscaldamento da fotoni X ed UV, ionizzazione, fuga di gas. Il gas è costituito da ioni ed elettroni

Forte riscaldamento per alto assorbimento di UV

Riscaldamento per effetto serra, correnti convettive



Effetto serra (greenhouse)

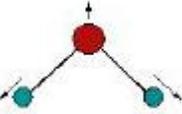
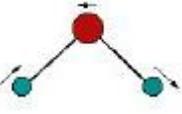
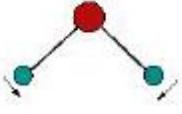


La composizione dell'atmosfera terrestre

Azoto	78,08%
Ossigeno	20,95%
Argon	0,93%
<u>Vapore acqueo</u>	<u>0,33% (gas serra)</u>
Anidride carbonica	0,0400 % (400 ppm) (gas serra)
Neon	0,00181% (18 ppm)
Elio	0,0005 % (5 ppm)
Metano	0,0002 % (2 ppm) (gas serra)
Idrogeno	0,00005 % (0,5 ppm)
Kripton	0,000011 % (0,11 ppm)
Xeno	0,000008 % (0,08 ppm)
Ozono	0,000004 % (0,04 ppm)
Biossido di azoto	Tracce (gas serra)

Effetto serra contributo spettrale H₂O

Moti vibrazionali della molecola di acqua

	Stretching simmetrico (stiramento dei legami OH)	Assorbe a 2730 nm
	Stretching asimmetrico (stiramento dei legami OH)	Assorbe a 2660 nm
	Bending (flessione dell'angolo H-O-H)	Assorbe a 6200 nm

Vapore acqueo

Il vapore acqueo è il più importante dei gas serra in quanto contribuisce per circa il 65 % all'effetto totale.

La molecola d'acqua assorbe praticamente con le sue **frequenze vibrazionali** a tutte le lunghezze d'onda dell'IR termico escluso in una finestra tra 7000 e 18000 nm.

Le **rotazioni molecolari** assorbono la radiazione IR di più bassa energia, sopra i 18000 nm.

Effetto serra contributo dell'H₂O

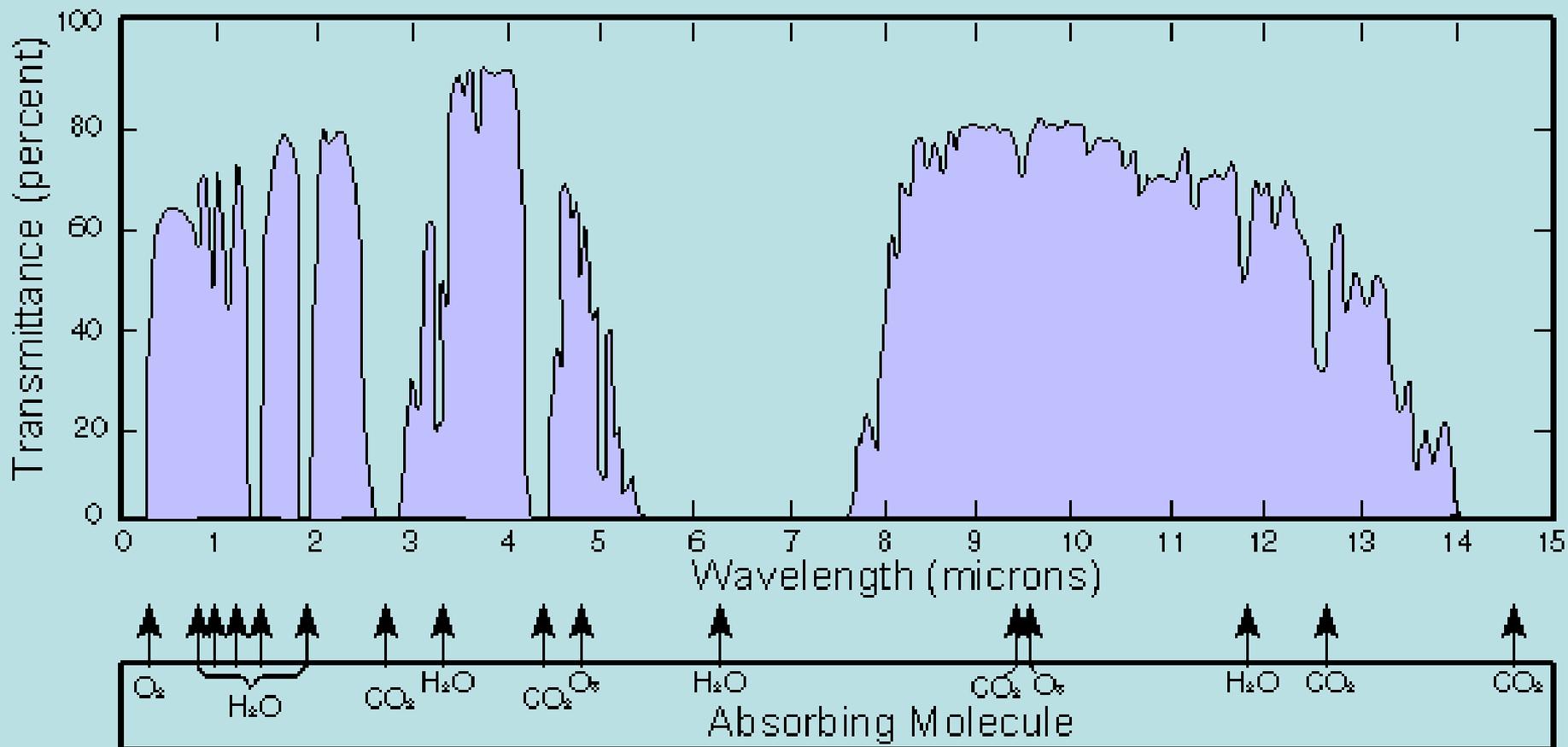


Bisogna però tener conto che il contenuto di vapor d'acqua dell'atmosfera è molto variabile, per cui l'ampiezza della finestra può cambiare significativamente da zona a zona: per esempio, sarà più larga sui deserti aridi e più stretta sui mari o sulle foreste tropicali.

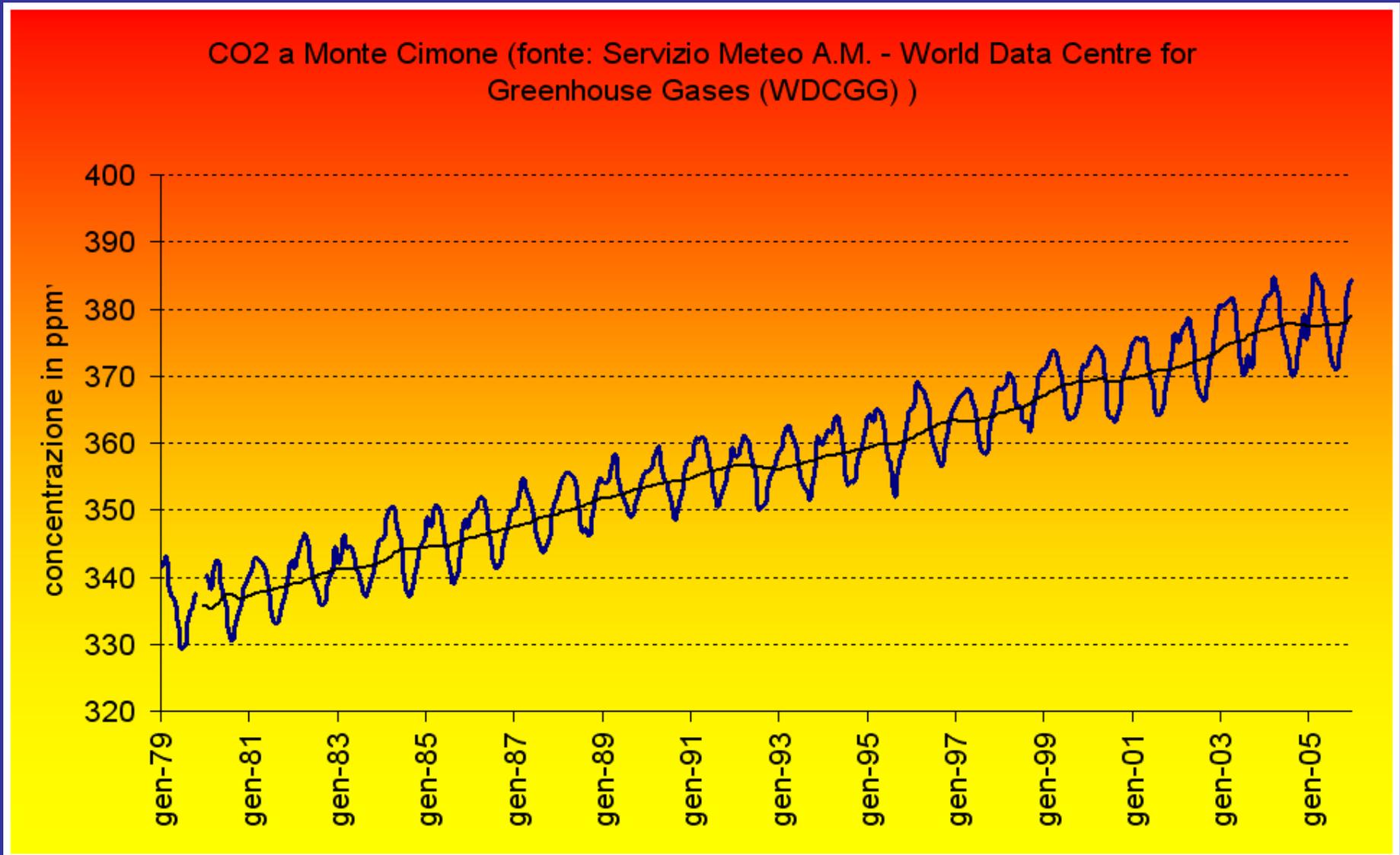
Effetto serra riassunto

Gas	Concentr. 1860	Concentr. 2000	Vita media nella atmosfera	Tasso di crescita (% all' anno)	Sorgenti antropogeniche		GWP (W/m ²)
Vapore acqueo	1 ppc	1 ppc	pochi giorni	0.20%	equilibrio con il mare		<0
Anidride carbonica	290 ppm	370 ppm	50-200 anni	0.45%	combustibili fossili deforestazione produzione cemento	75% 24% 0.6%	1
Metano	0.85 ppm	1750 ppb	12 anni	0.60%	estraz. combustibili fossili dighe/bacini digestione bestiame risaie discariche deiezioni animali	20% 20% 18% 17% 10% 7%	23
Protossido di azoto	285 ppb	312 ppb	120 anni	0.25%	cattiva gestione dei suoli trasporti processi industriali ciclo dell'azoto	70% 14% 7% 6%	296
CFC	0	900 ppt	102 anni	1%	refrigeranti, schiume		10000
Ozono troposferico	25 ppb	25/26 ppb	settimane	non noto	indiretto, a partire dagli inquinanti industriali		-
Areosol	0	variabile	giorni, settimane	non noto	uso dei combustibili fossili combustione biomassa		-

Effetto serra assorbimento spettrale

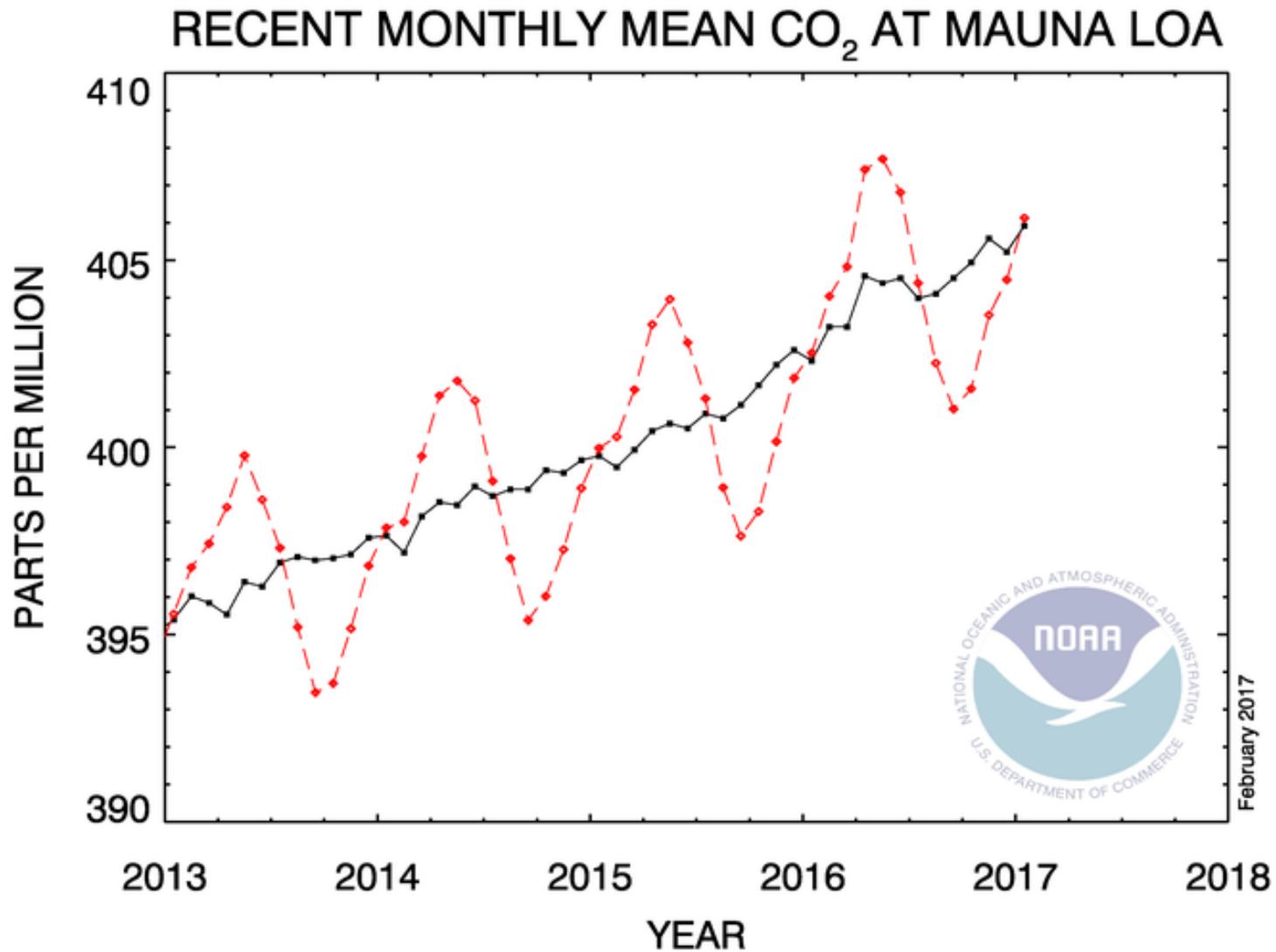


Variazione della CO₂ dal 1979 al 2005 M.te Cimone

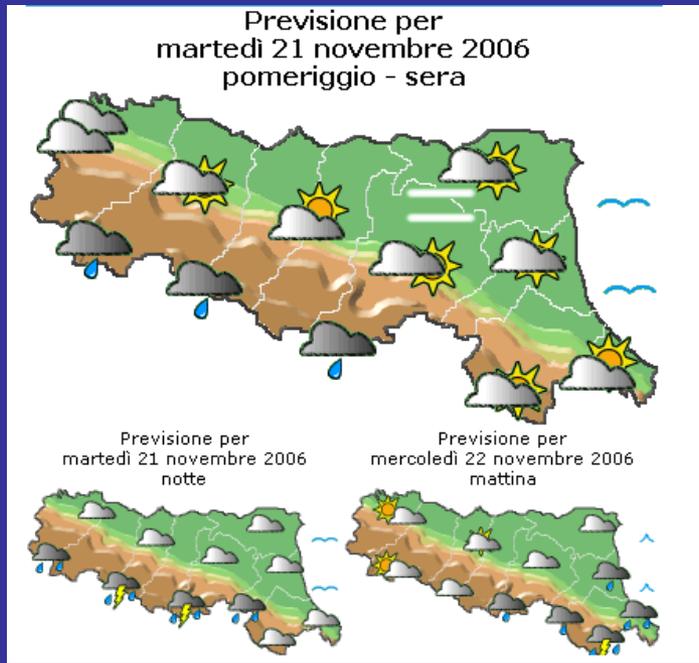


Fonte: Dati It.Met Serv. (AM) da sito <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg.html>

Variazione della CO₂ Mauna-Loa Hawaii



Il "tempo"-meteorologia e clima



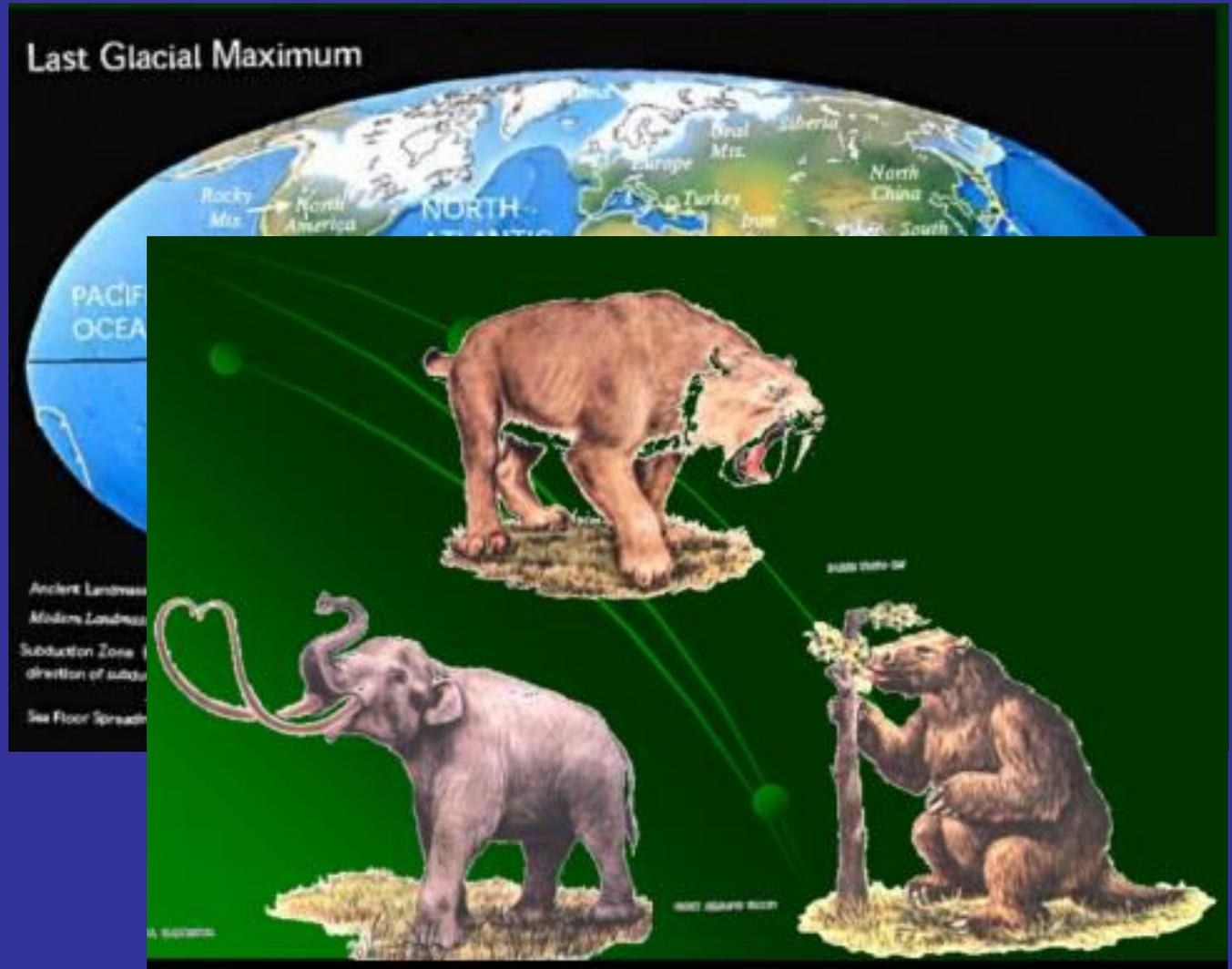
Meteorologia: studia l'andamento del "tempo" su breve intervalli temporali (giorni), e dipende da vari parametri (venti, nuvole, pressione e temperatura)

Clima: studia l'andamento del "tempo" su lunghi intervalli temporali (anni, decine di migliaia, milioni di anni)

La variabilità climatica

E' determinata dai cicli naturali del clima dovuti alle variazioni dell'orbita della terra attorno al Sole ed alle variazioni dell'emissione solare.

Piccole e grandi
Ere Glaciali



I cambiamenti climatici

Sono invece causati dalla immissione in atmosfera di gas serra dovuti all'attività umana, (fase pre-industriale e post-industriale)

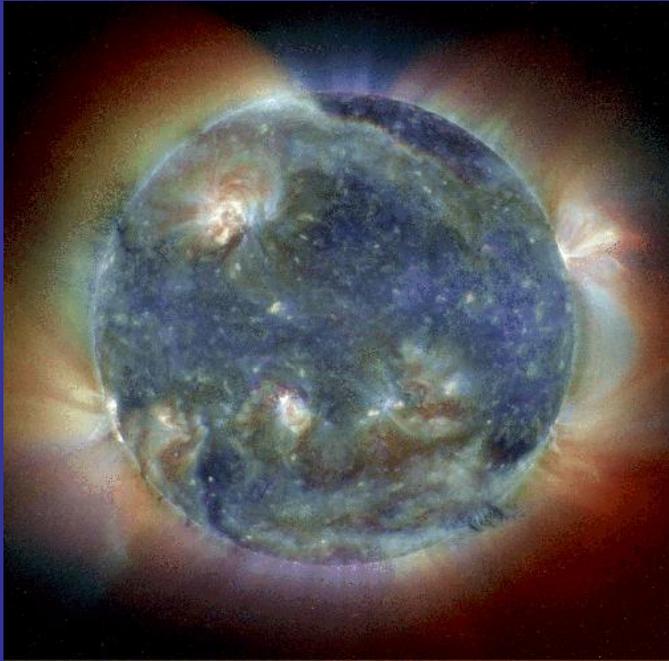
le emissioni di CO₂ sono prodotte dall'utilizzo dei combustibili fossili (ultimi 100 anni)

le emissioni di metano CH₄ sono causate dallo sviluppo dell'agricoltura (ultimi 5000 anni)



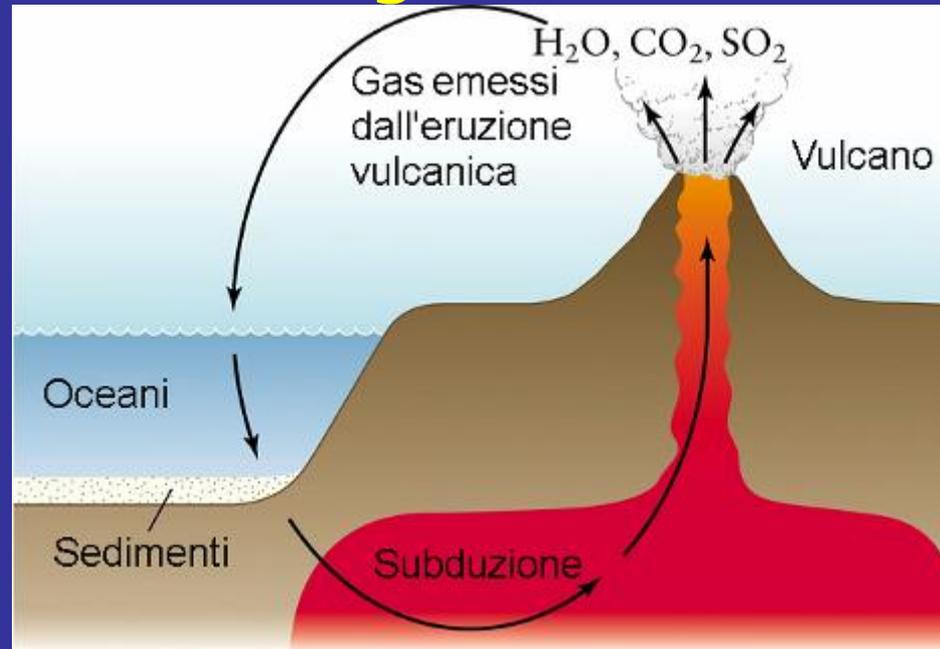
Il "budget" energetico

Due sono le fonti di energia che, interagendo con l'atmosfera terrestre, hanno effetto sul clima terrestre:



- L'Energia Solare (Variazioni Climatiche)
- L'Energia Interna della Terra (Variazioni Climatiche)
- A queste recentemente si è aggiunta la produzione di energia ottenuta dai combustibili fossili (Cambiamento Climatico)

Energia interna

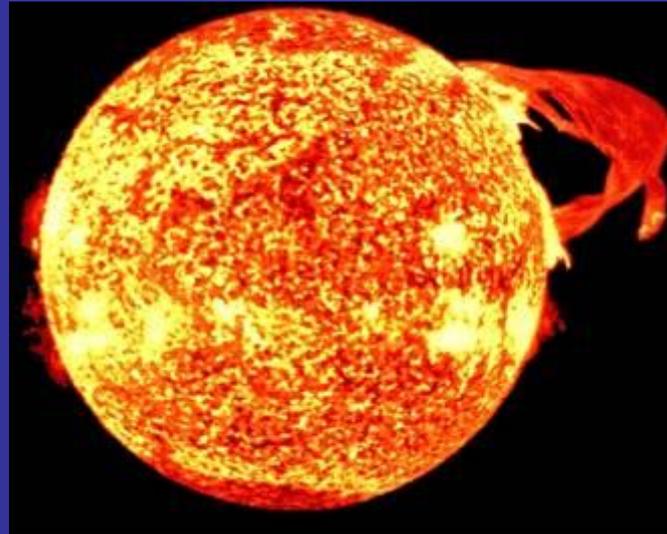


L'Energia interna si manifesta con:

Movimenti della crosta terrestre (**tettonica a zolle**) → effetti su lunghi periodi di tempo (milioni di anni)

Eruzioni di **vulcani e super-vulcani** → variazioni improvvise, non prevedibili che hanno profonde conseguenze sul clima globale

Energia solare



Ogni secondo l'energia che dal Sole raggiunge la Terra è pari a

$$L_{\odot} = 3,826 \cdot 10^{33} \text{ erg/sec} = 3,826 \cdot 10^{26} \text{ Watt}$$

Per unità di superficie fuori dell'orbita terrestre **1367 watt/m²** (costante solare).

La quantità di energia, mediata sulle 24 ore e sulle 4 stagioni è, al suolo, alle latitudini europee di circa 200 watt/m².

Variabilità dell'insolazione solare



Oltre alla variabilità diurna ed annua la insolazione cambia in due modi

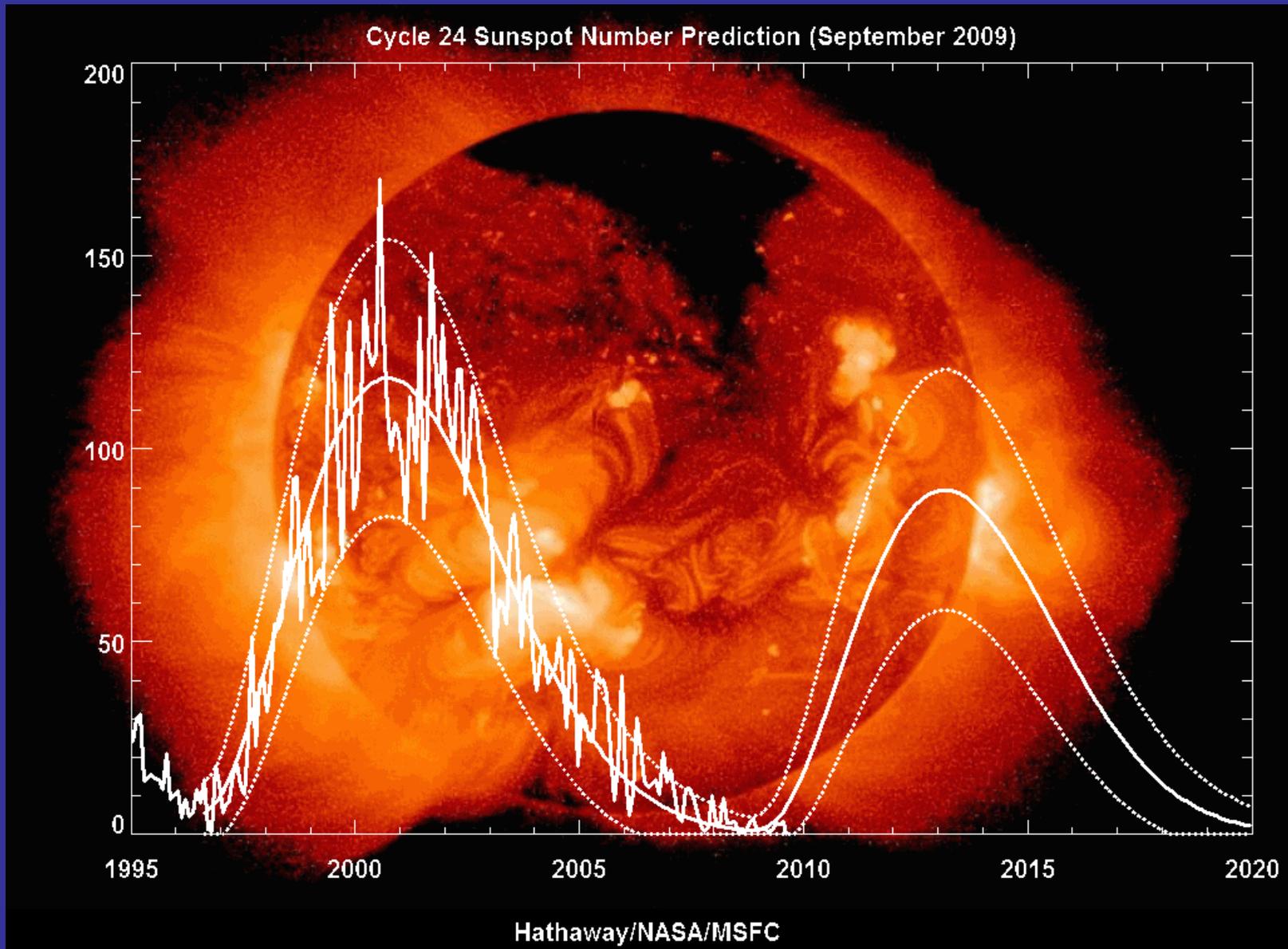
1. Su lunghi intervalli di tempo da 10000 a 100000 anni

- Variazioni millenarie dei parametri orbitali eccentricità dell'orbita ed a variazione dell'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre

2. Su intervalli di tempo da pochi anni a migliaia di anni

- Attività solare

Attività solare nel 2009



I principali fattori delle variazioni climatiche

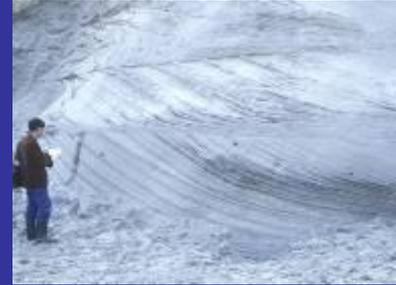
L'atmosfera terrestre è in continua interazione con:



La radiazione
solare



Gli oceani



I ghiacci
polari e
continentale



I deserti



I vulcani



La tundra
polare



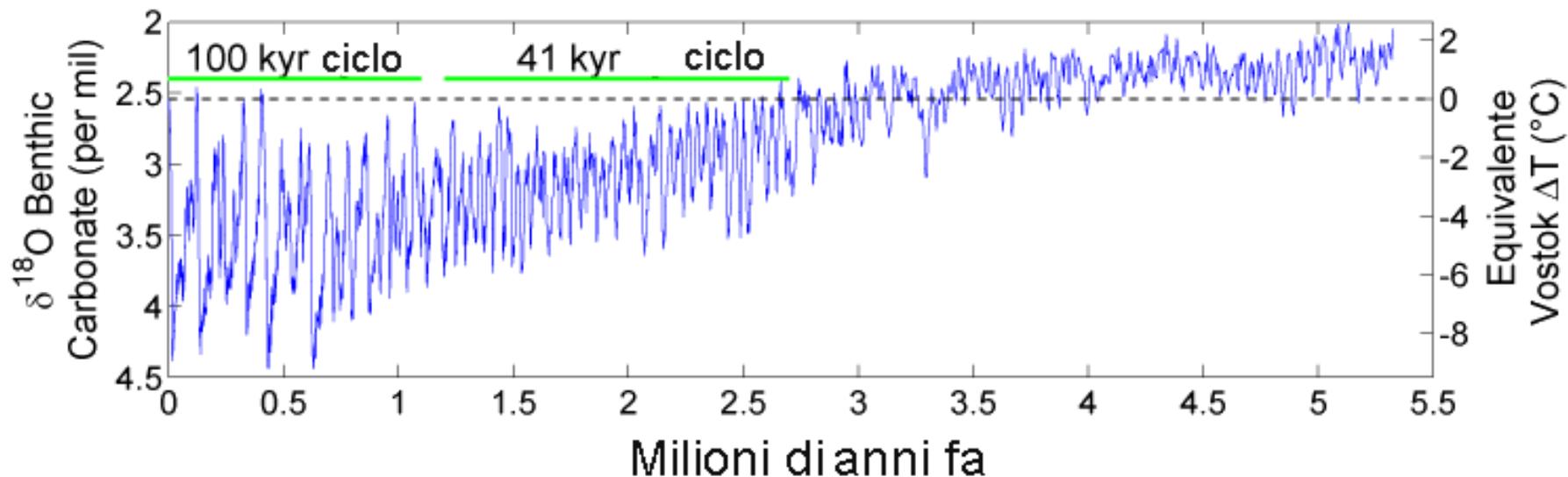
Le foreste temperate
tropicali equatoriali



Le zone
umide

Sedimenti marini profondi fino a 5 milioni di anni fa

5 milioni di anni di cambiamenti climatici

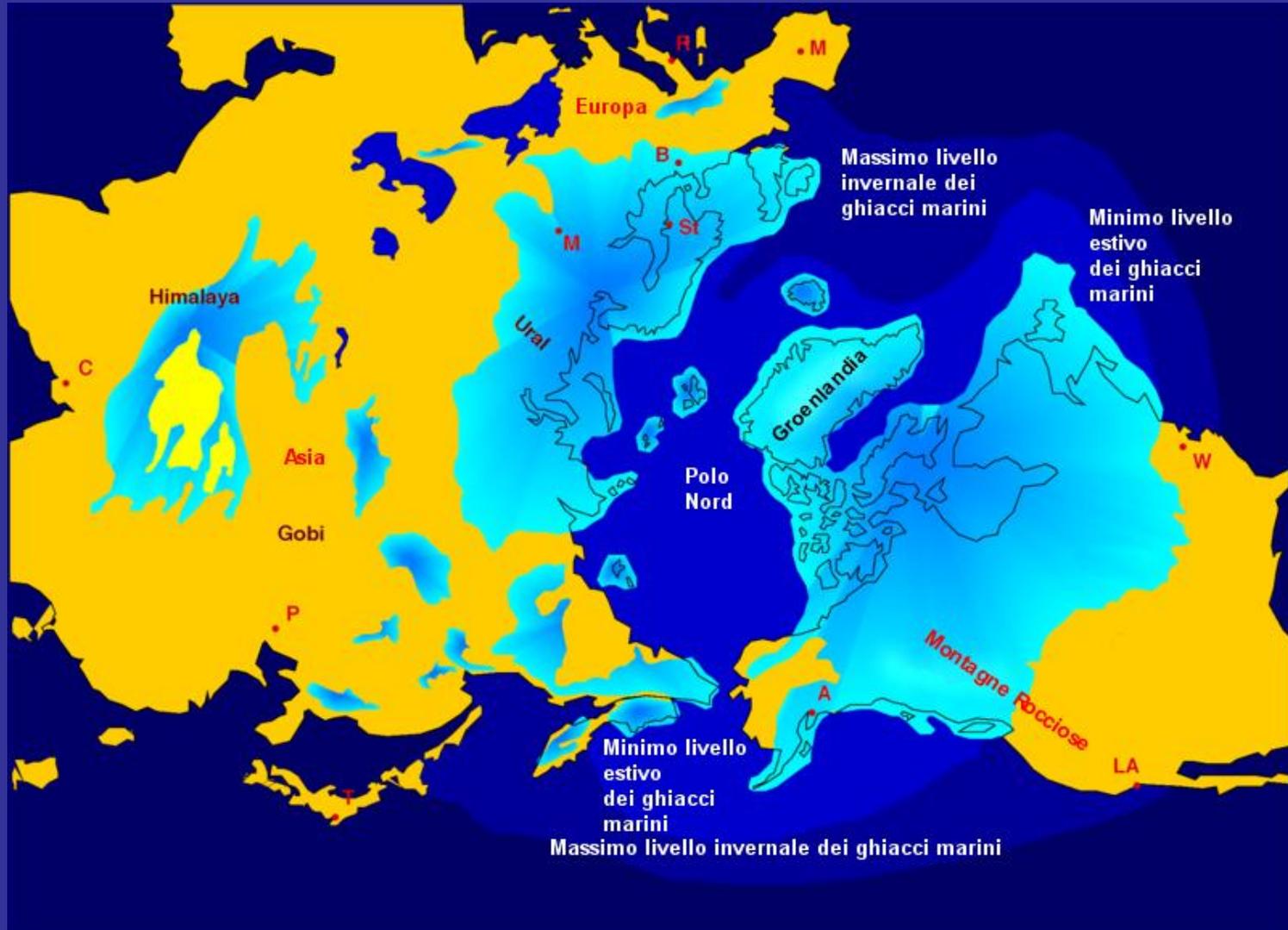


Dryas Recente (Younger Dryas) ultimo episodio glaciale 14000 anni fa (Würm)

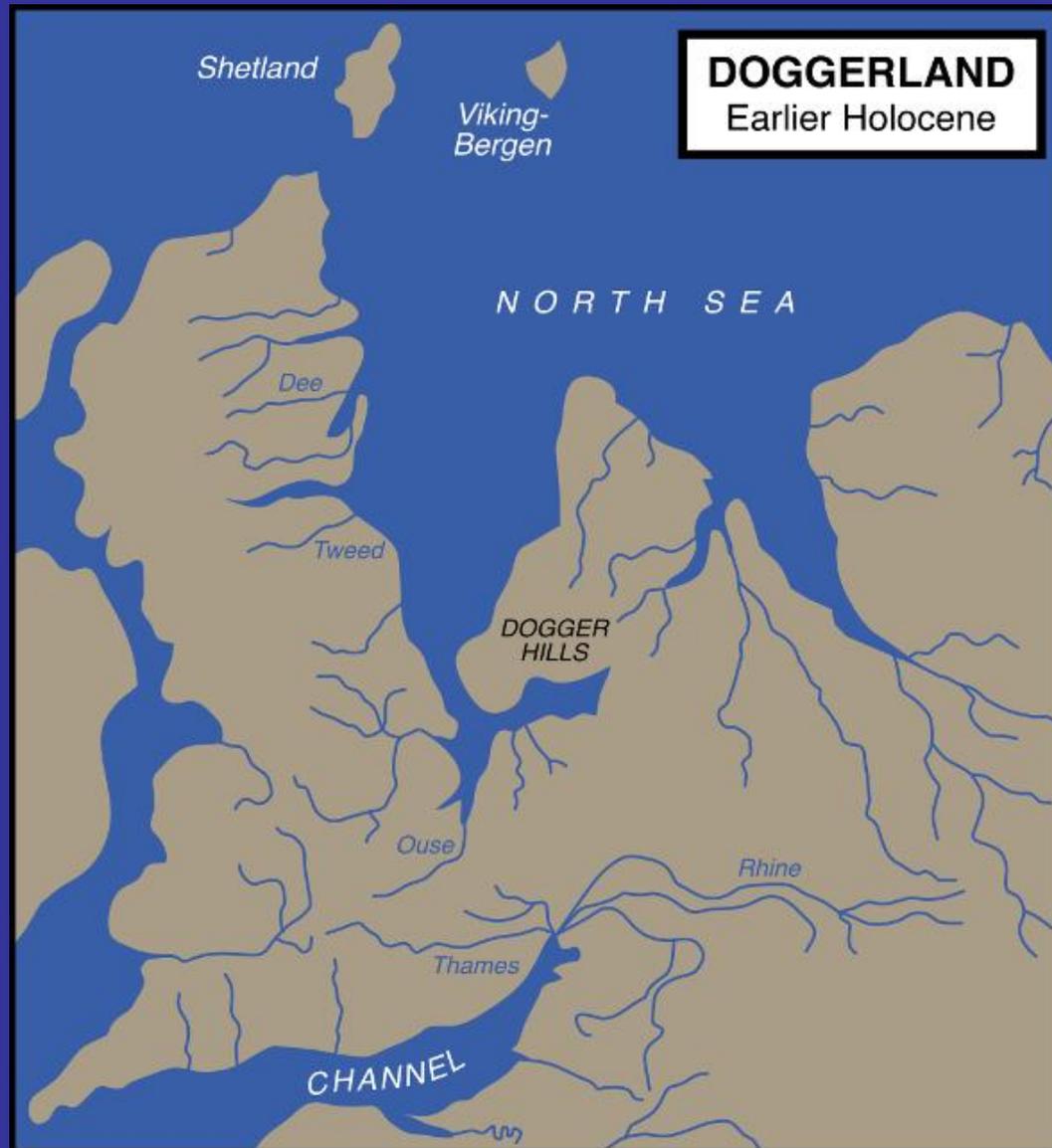


Dryas octopetala (o Camedrio Alpino), la pianta, piccola ma resistente al freddo, la cui presenza nei depositi glaciali di 13-14000 anni fa ha dato il nome all'ultimo periodo di glaciazione prima dell'inizio dell'Olocene. Venne identificata la sua presenza dai geologi scandinavi nei depositi corrispondenti al quaternario.

Dryas Recente (Younger Dryas) ultimo episodio glaciale (Würm)



Dryas Recente (Younger Dryas) ultimo episodio glaciale



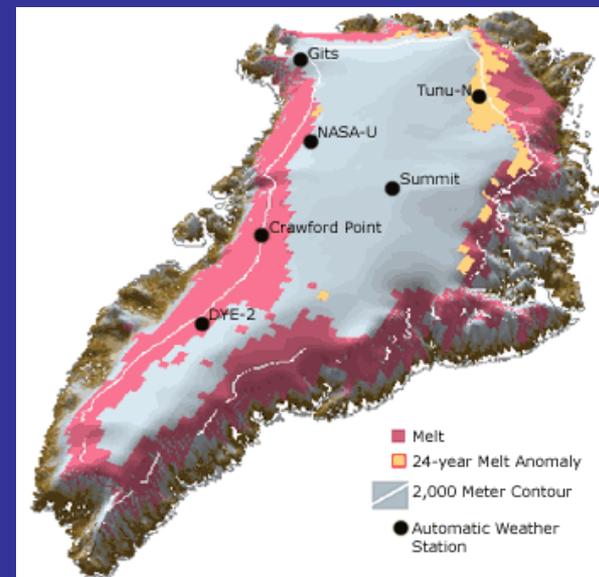
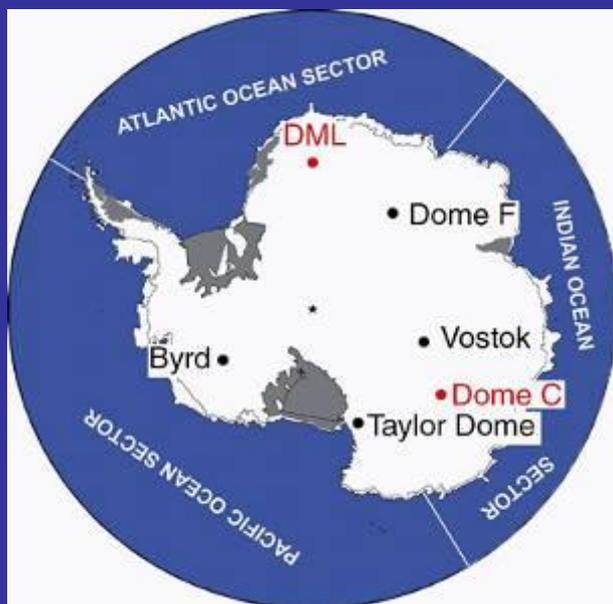
L'avanzamento dei ghiacci-retroazione



Inverno 2002-2003 in America Settentrionale
(animazione)

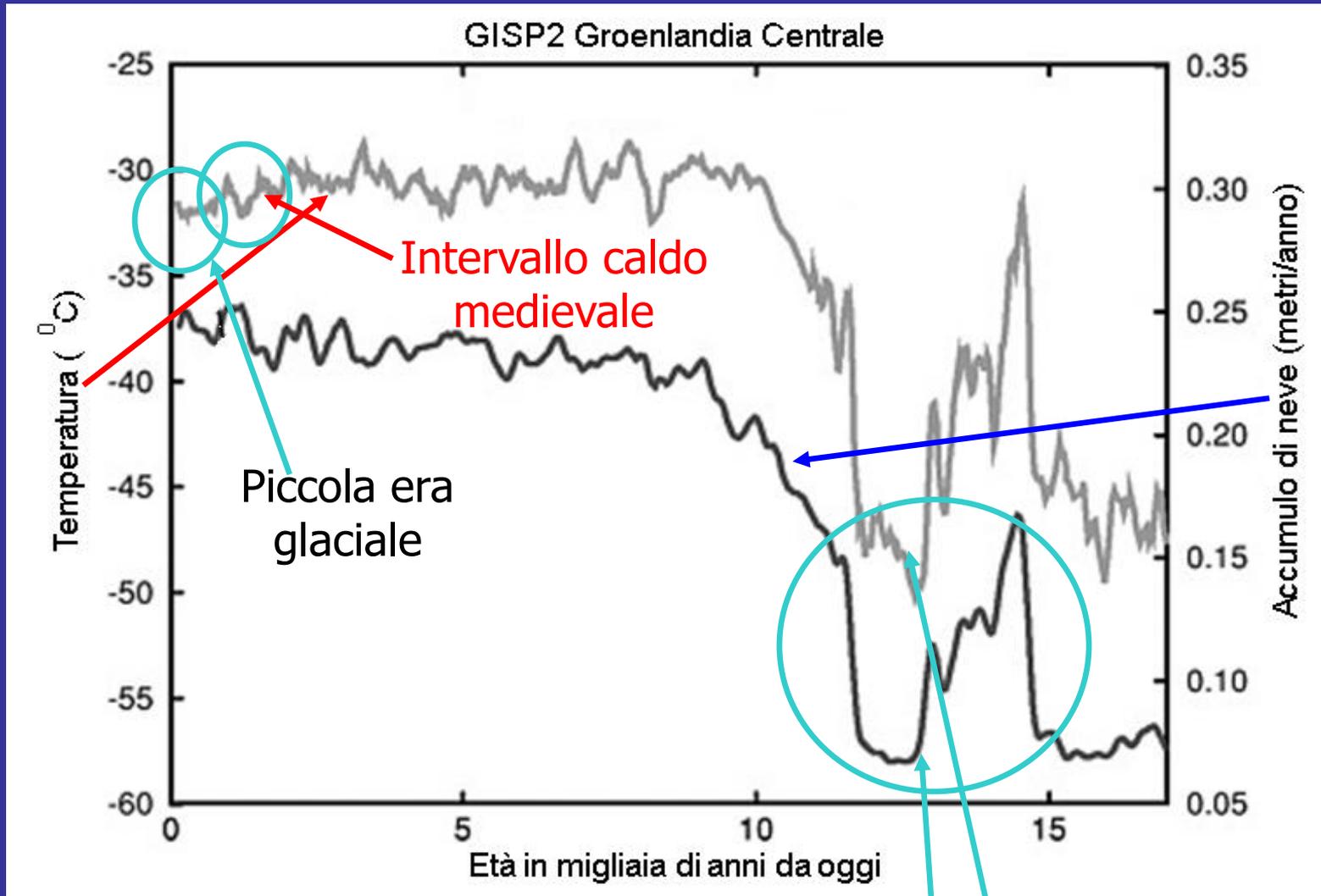
Paleoclimatologia le carote di ghiaccio

The Greenland Ice Core Project (GRIP)
The Greenland Ice Sheet Project 2 (GISP2)
Artide-Groenlandia
fino a 120000 anni fa



Vostock station-Antartide
fino a 400000 anni fa
Epica Project-Antartide –
fino a 650000 anni fa

Dati Paleoclimatici della Groenlandia



Le misure in Antartide



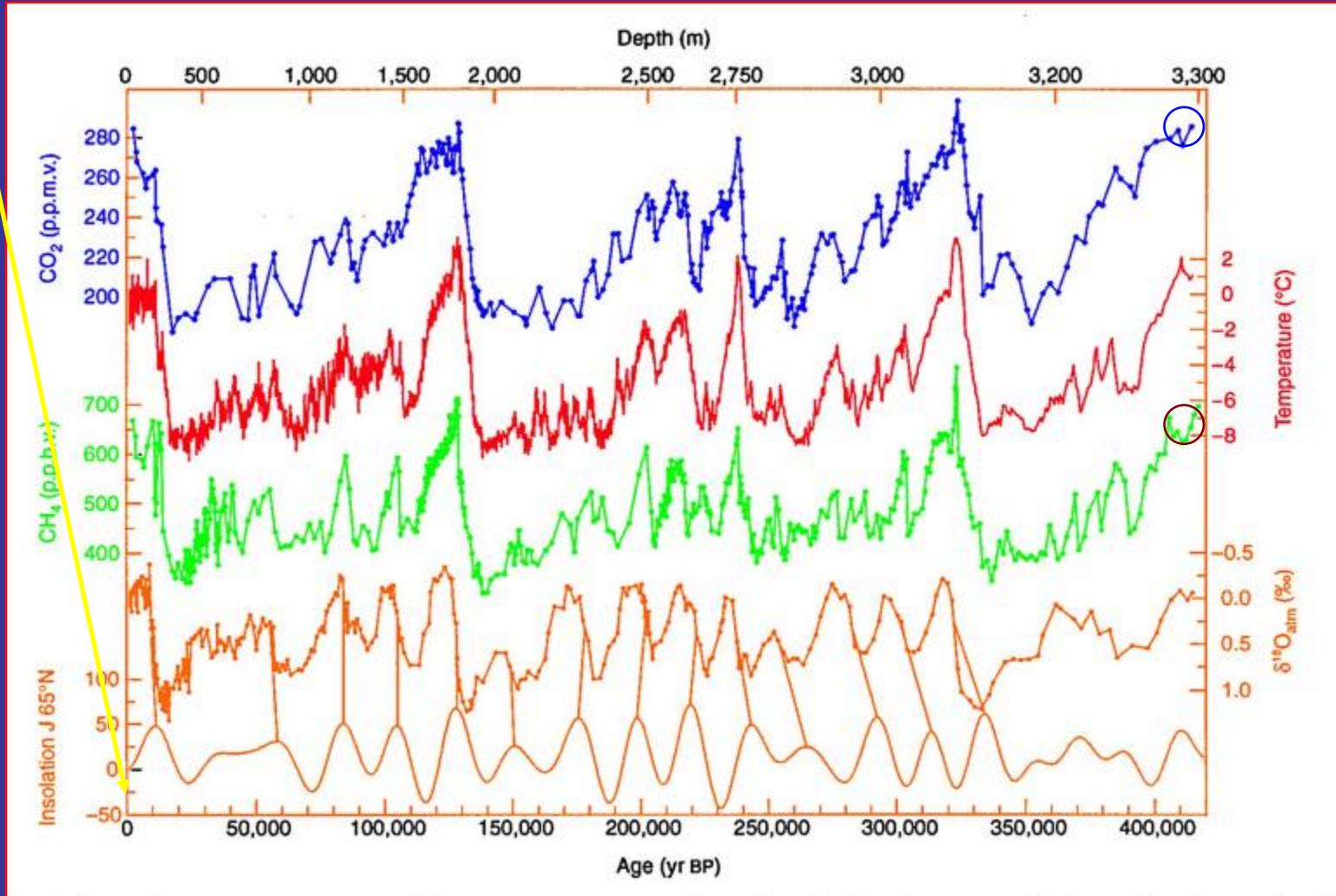
La calotta glaciale, che ricopre l'Antartide nella sua quasi totalità (280 000 km² senza ghiaccio, 13 720 000 km² di ghiaccio), supera a volte i 4500 m di spessore, e costituisce il 90% della riserva di acqua dolce del globo. È stato calcolato che alcuni iceberg possono raggiungere e superare le dimensioni della Corsica.

Le misure in Antartide permettono di ricostruire il clima dell'emisfero sud per sei cicli glaciali

Dati Paleoclimatici dell'Antartide (Vostok)

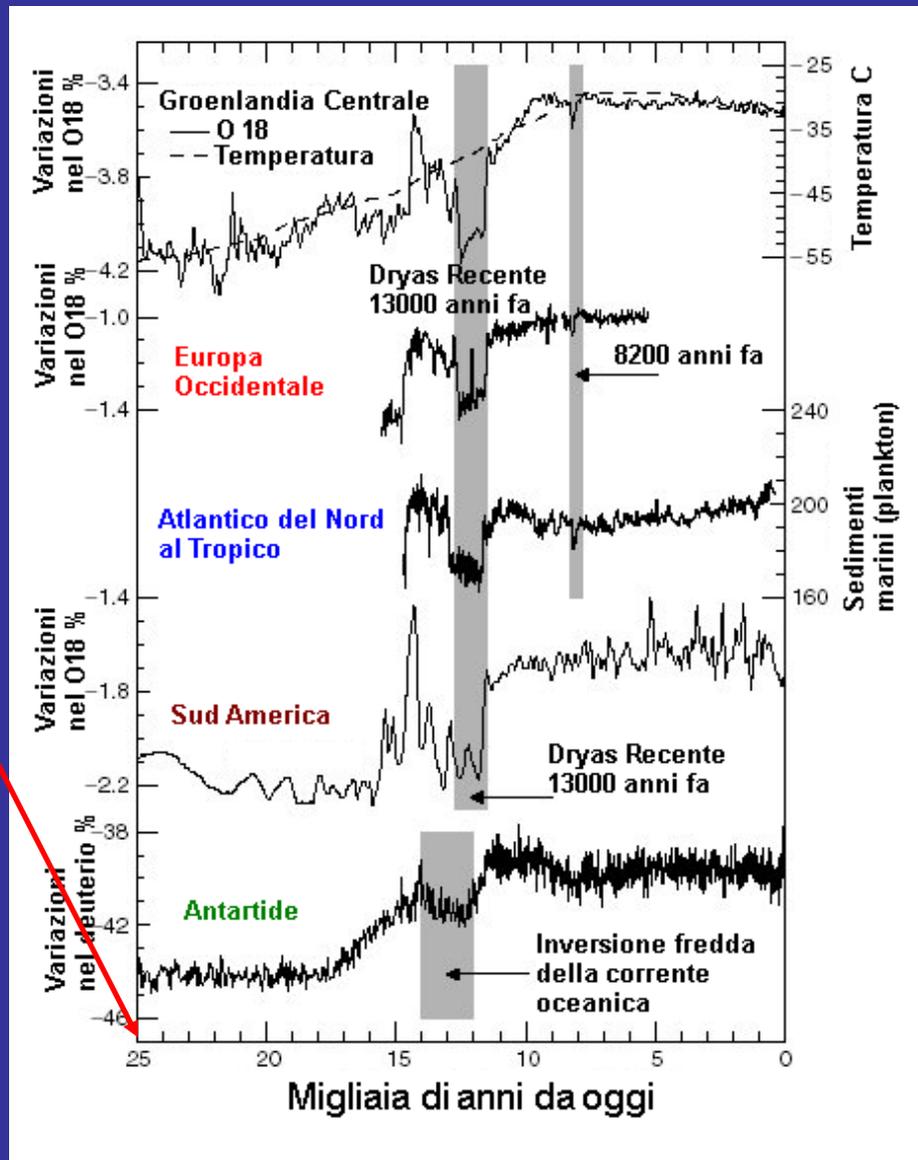
Il respiro climatico

NB oggi !



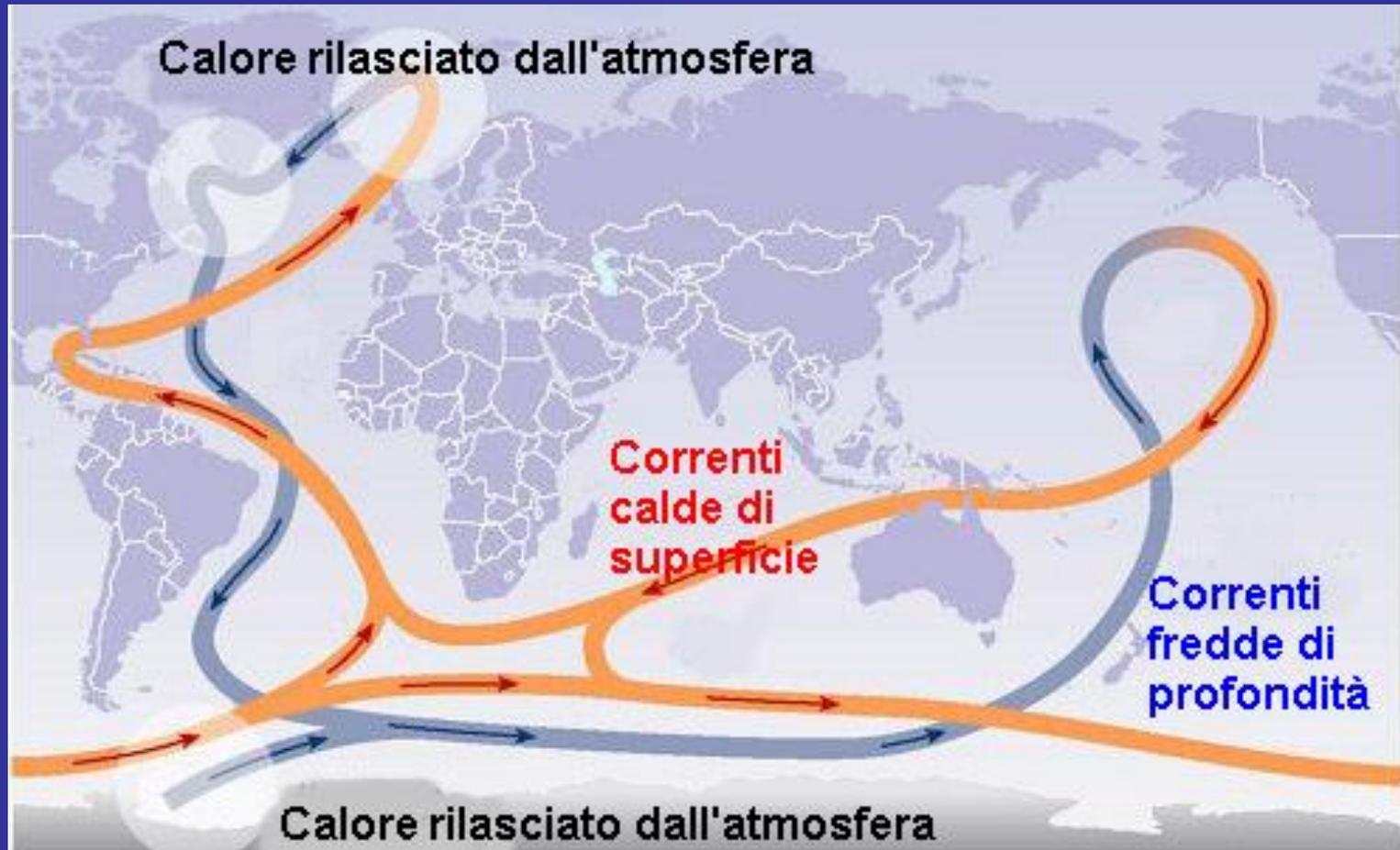
Dati Paleoclimatici confronto a diverse latitudini

NB 25000 anni fa !

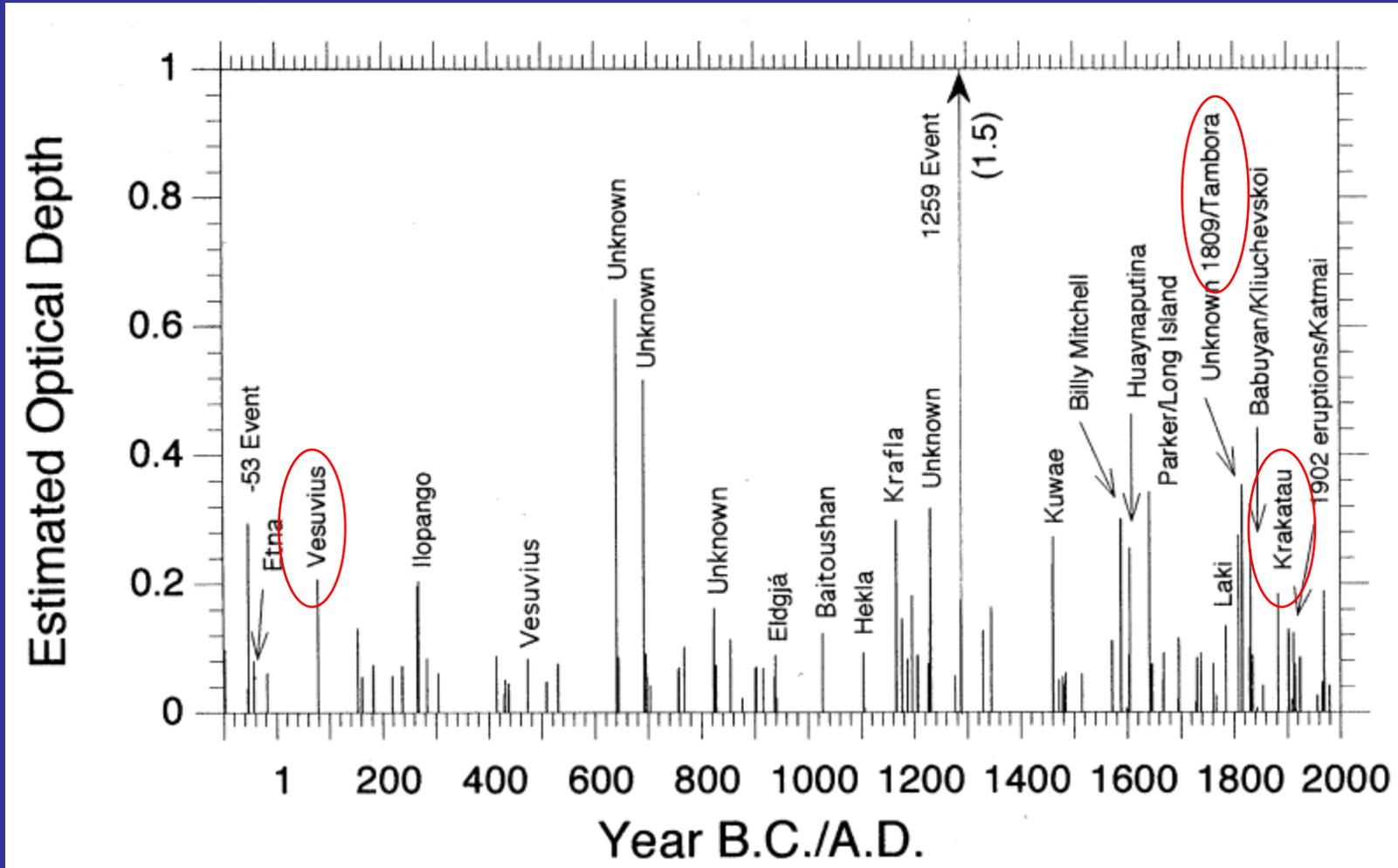


Circolazione oceanica

Il Grande Nastro Trasportatore

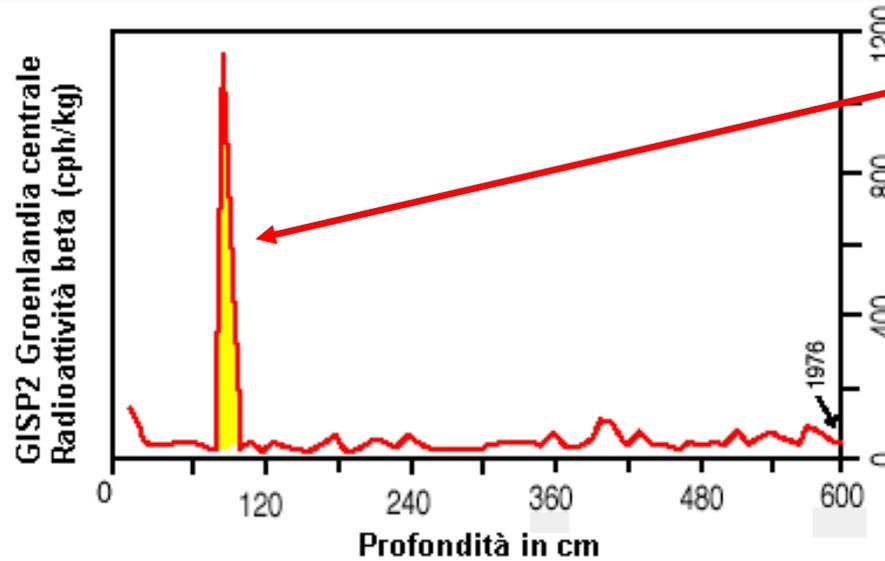


I vulcani ed il clima

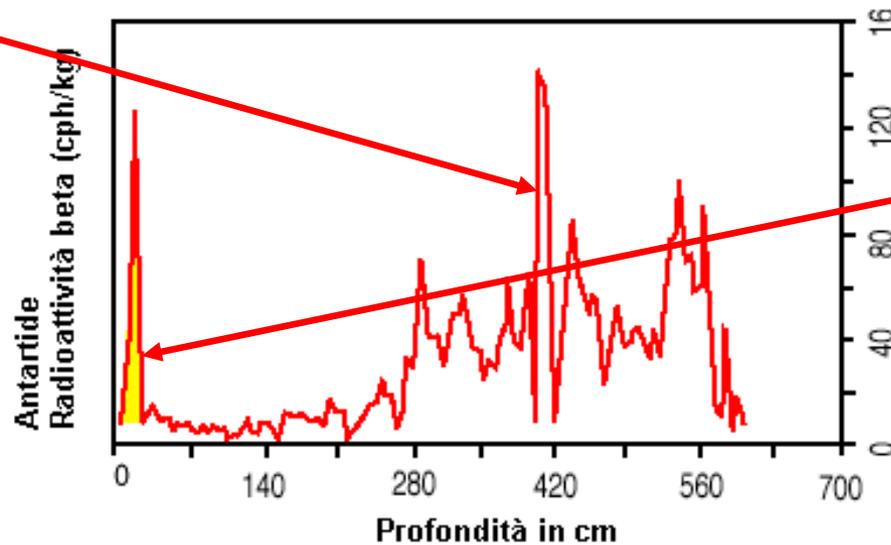


Chernobyl e test nucleari

Test nucleari in atmosfera nel 1963-1964



Esplosione della centrale nucleare di Chernobyl Aprile-Maggio 1986

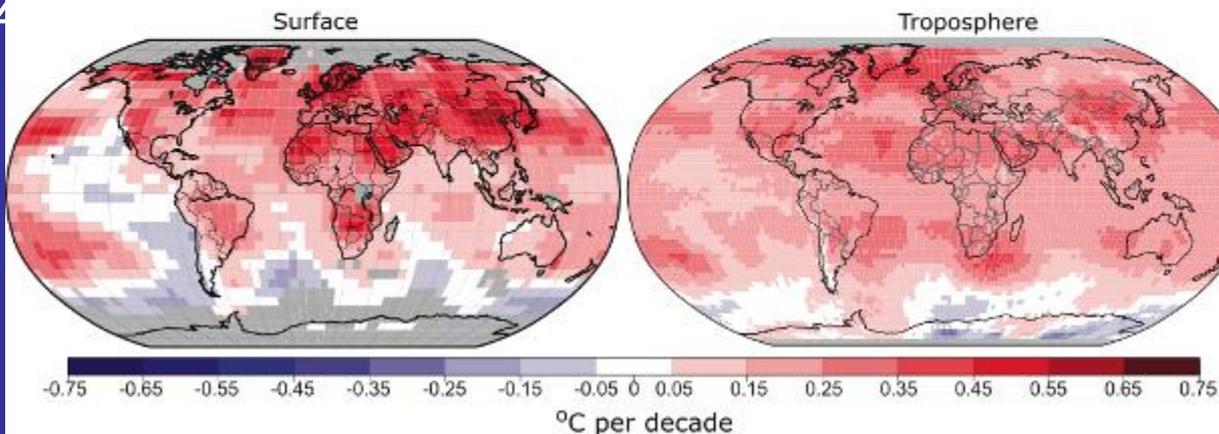
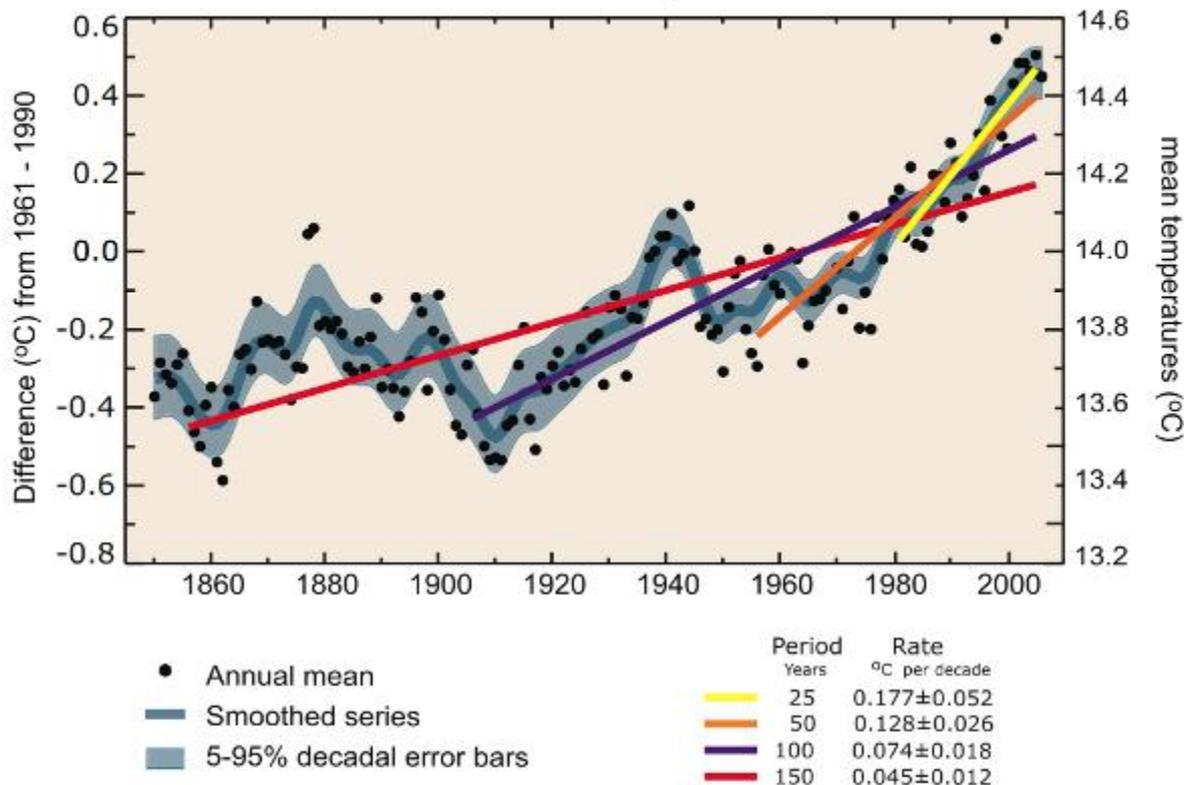


La radioattività di Chernobyl raggiunge il Polo Sud nel gennaio del 1988

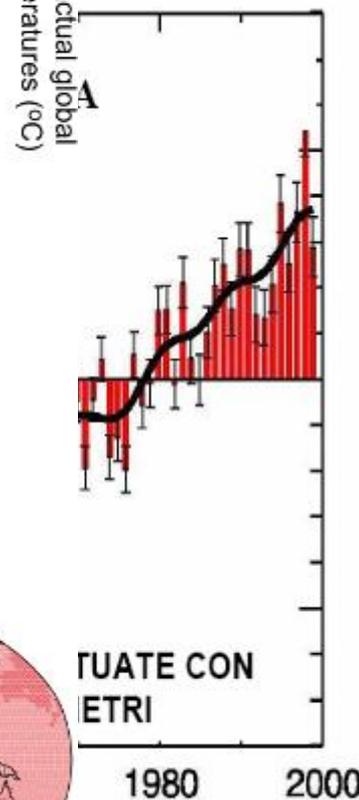
Ricostruzione

Andamento
 anomalia di
 temperatura
 dell'aria
 nell'emisfero
 nord negli u
 150 anni (i c
 sono espres
 come deviaz
 della media
 riferimento
 1951-1980)

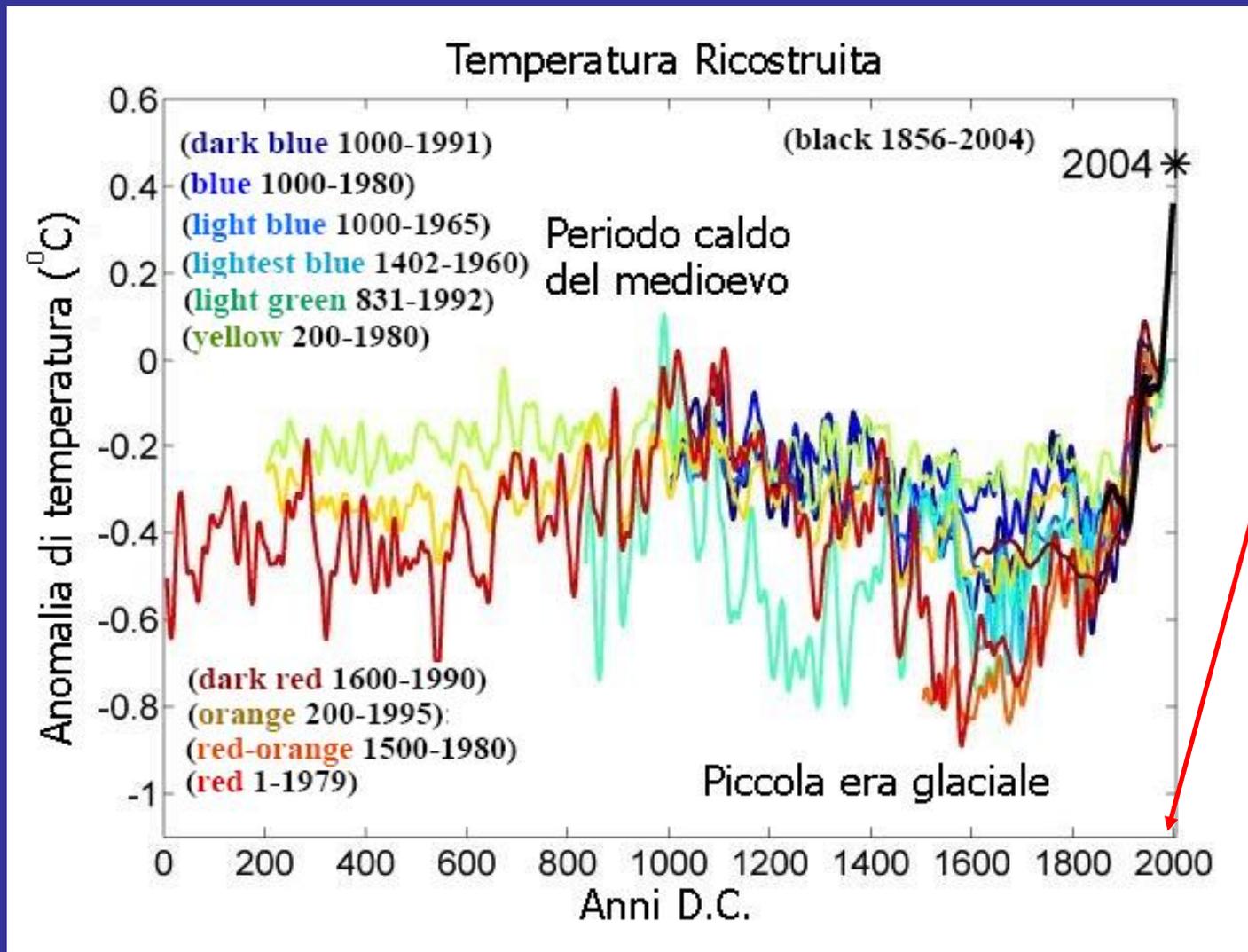
Global Mean Temperature



mentali

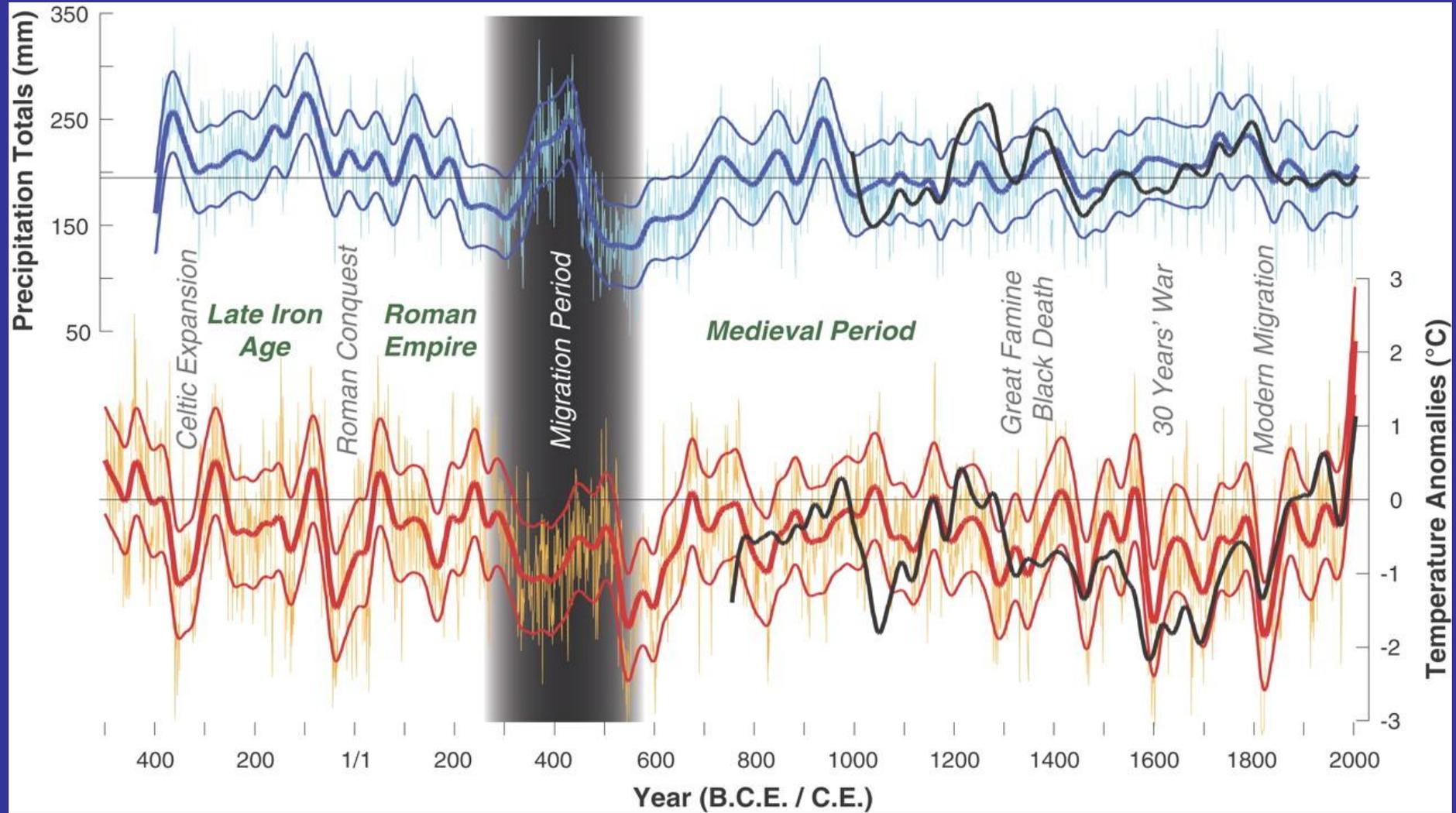


Andamento di temperatura negli ultimi 2000 anni



NB
oggi !

Andamento di temperatura negli ultimi 2000 anni



Andamento di temperatura negli ultimi 2000 anni

Mann et al. 2008

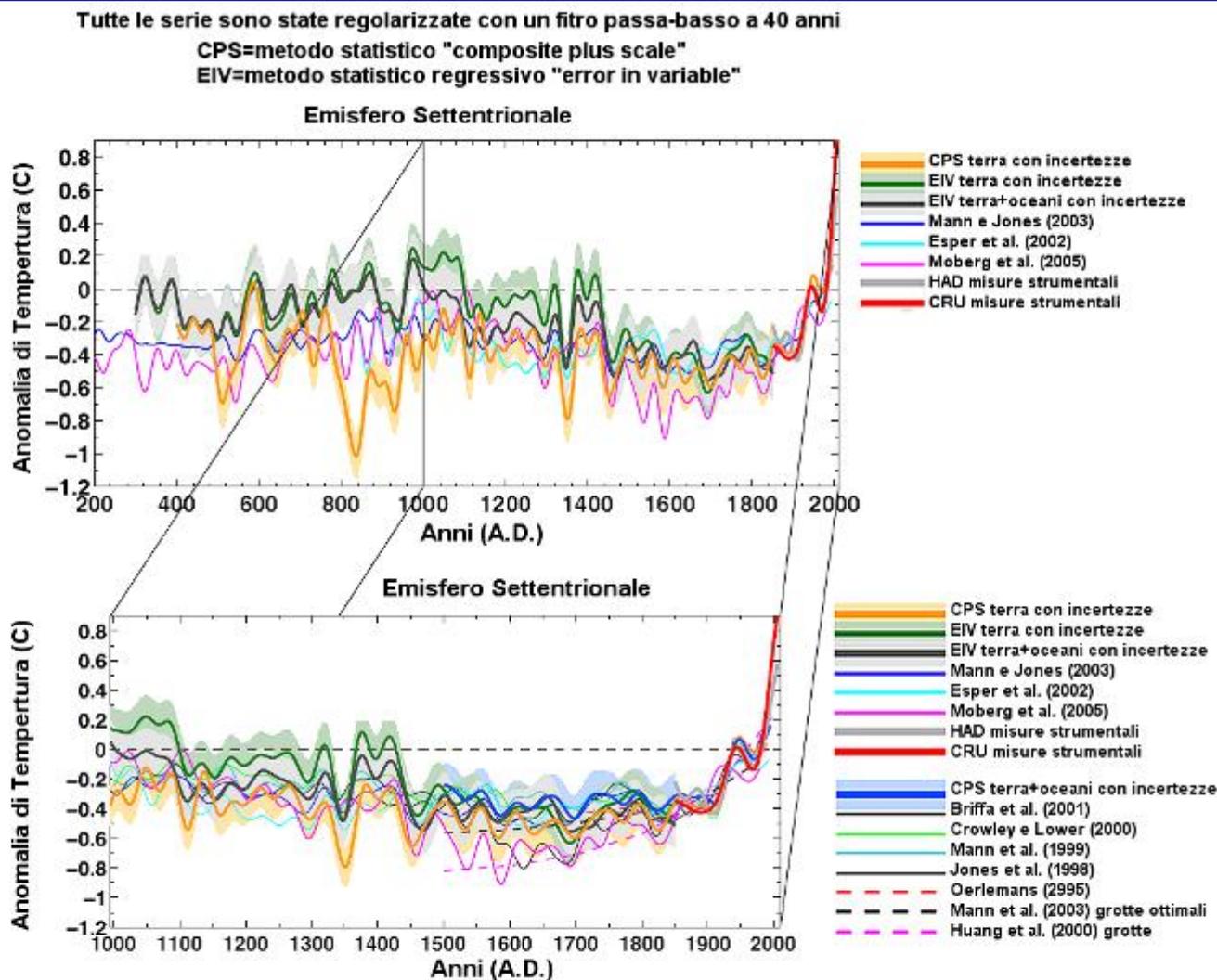
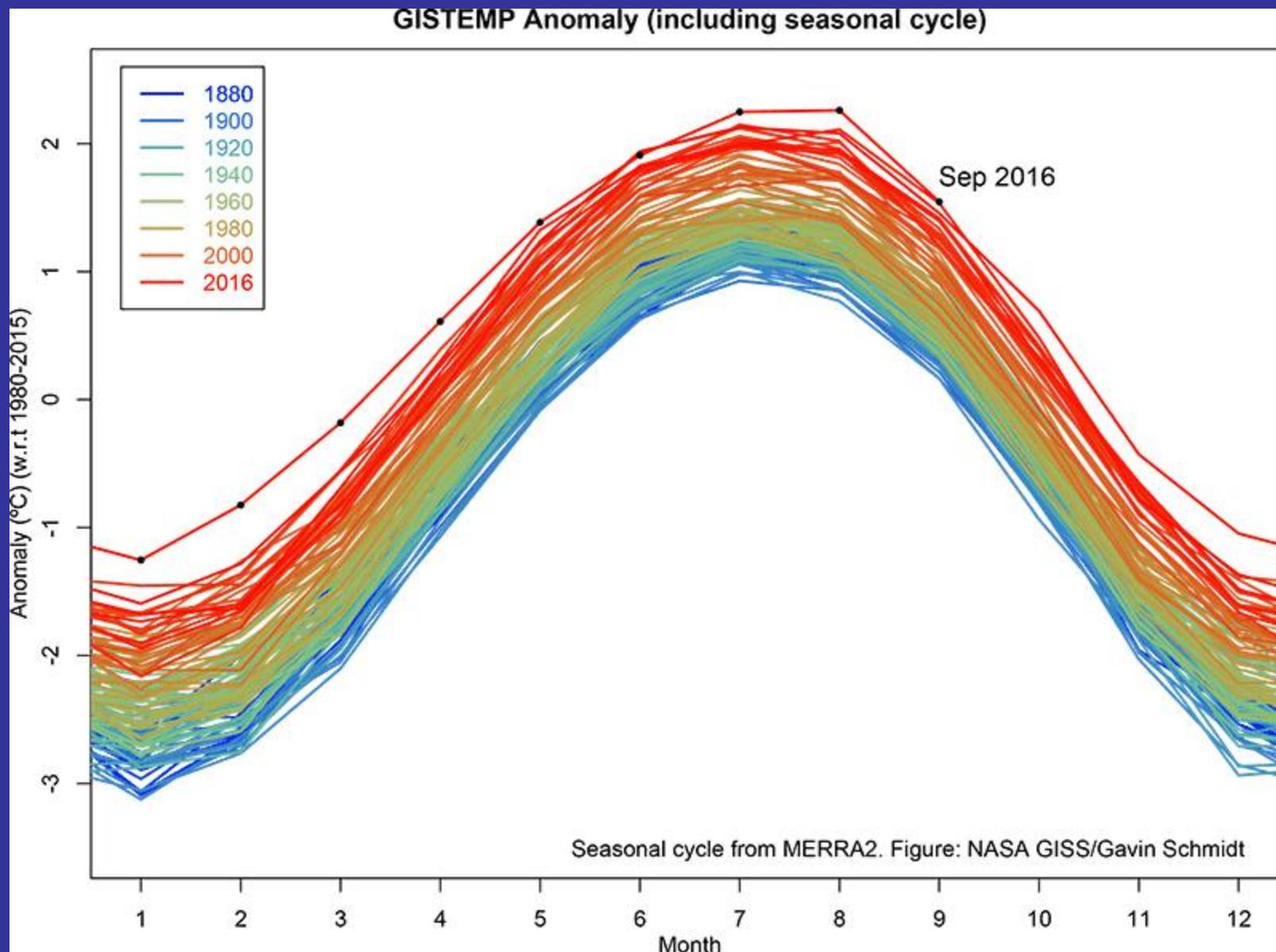
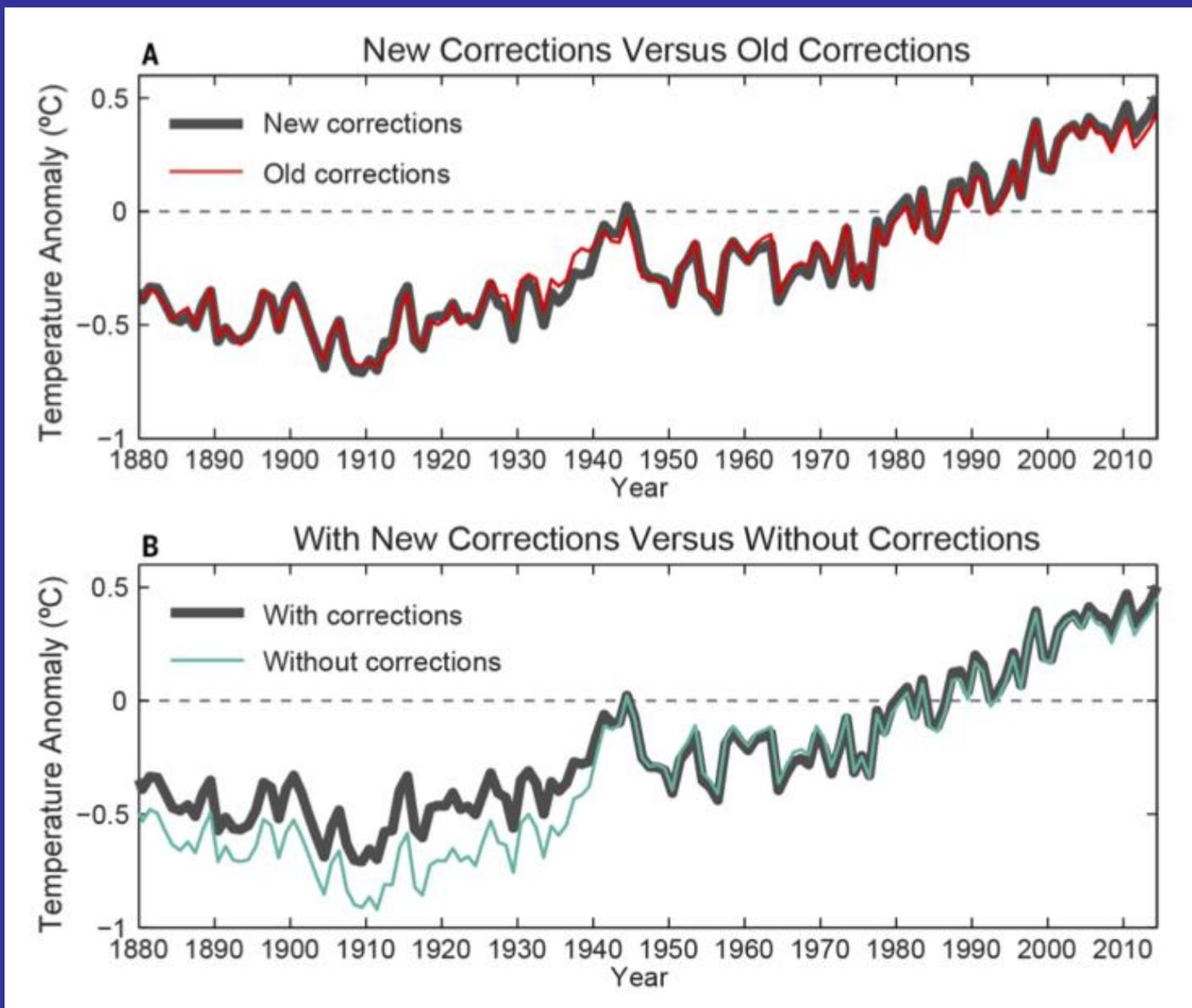


Fig. 3. Composite CPS and EIV NH land and land plus ocean temperature reconstructions and estimated 95% confidence Intervals. Shown for comparison are published NH reconstructions, centered to have the same mean as the overlapping segment of the CRU instrumental NH land surface temperature record 1850–2006 that, with the exception of the borehole-based reconstructions, have been scaled to have the same decadal variance as the CRU series during the overlap interval (alternative scaling approaches for attempting to match the amplitude of signal in the reconstructed and instrumental series are examined in *SI Text*). All series have been smoothed with a 40-year low-pass filter as in ref 33. Confidence Intervals have been reduced to account for smoothing.

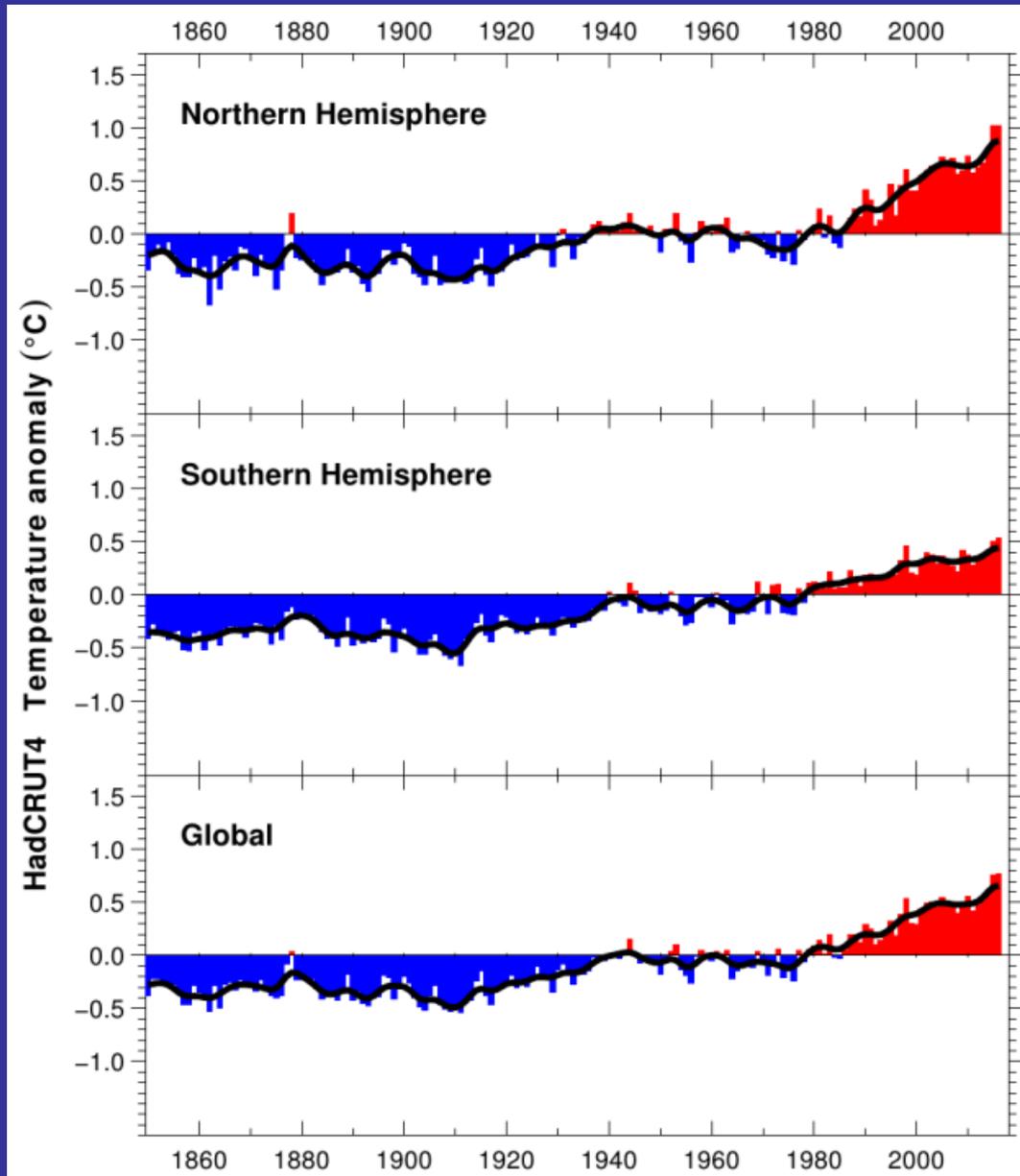
Andamento di temperatura negli ultimi 130 anni



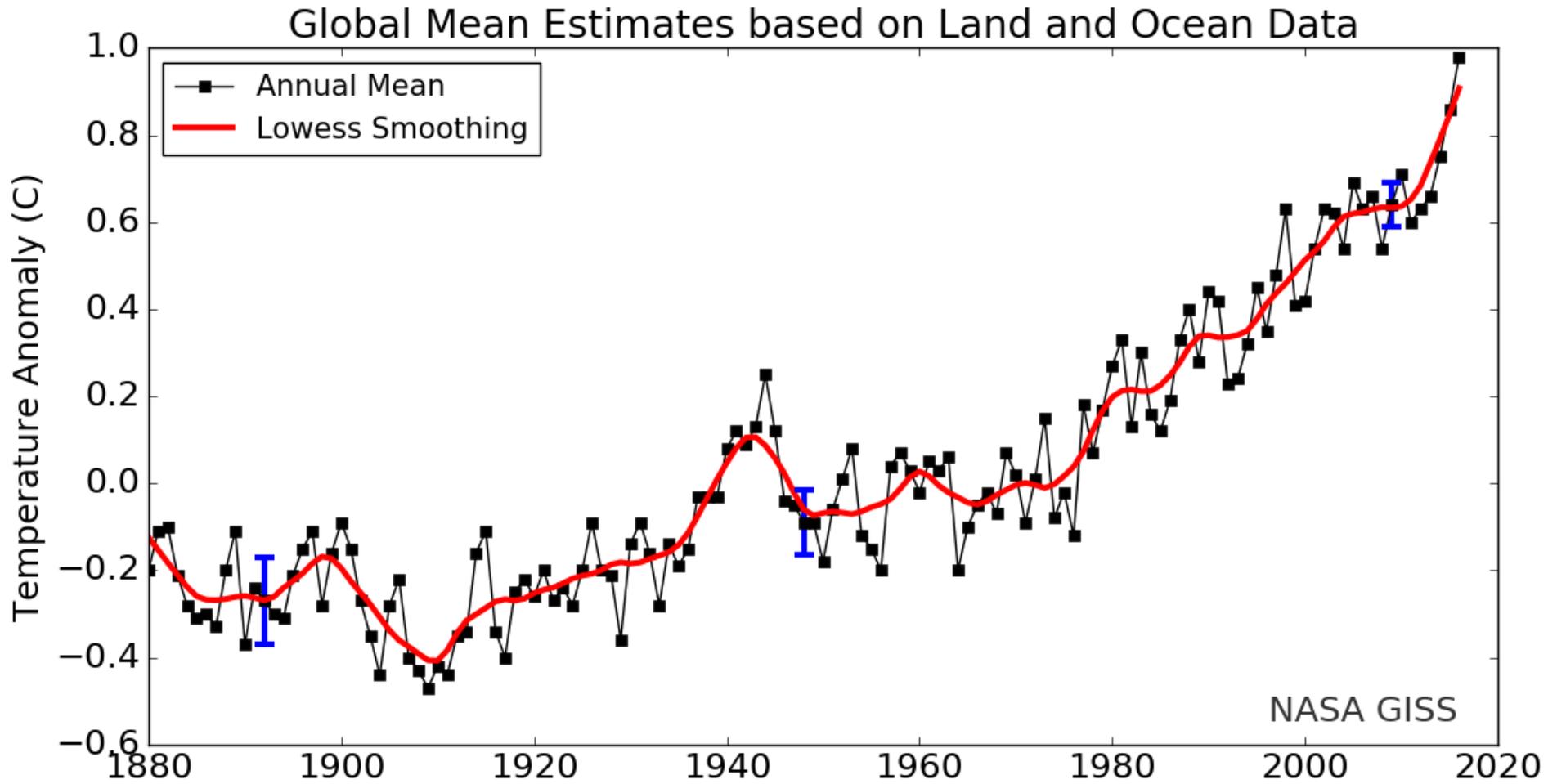
Andamento di temperatura negli ultimi 130 anni



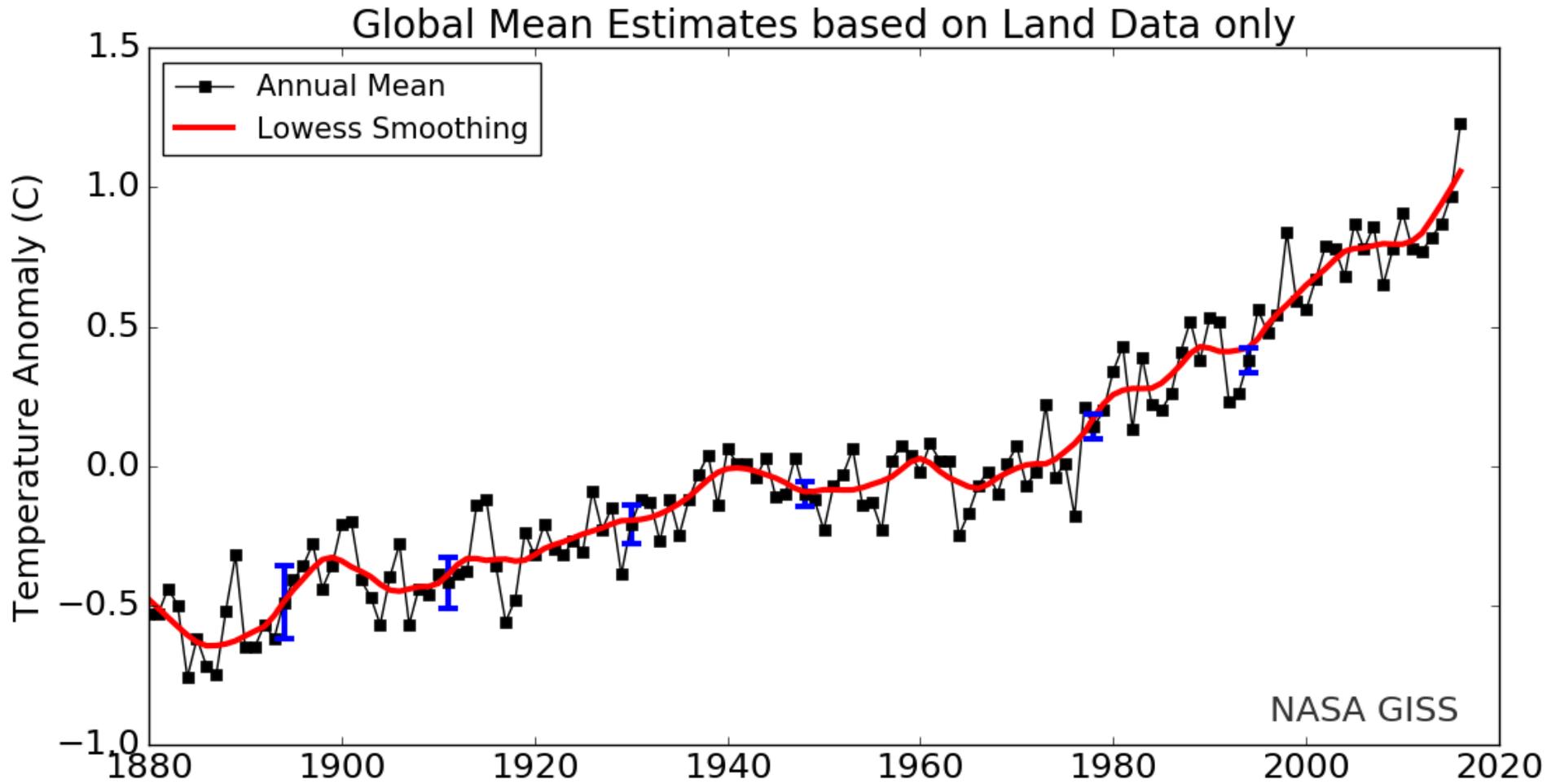
Andamento di temperatura al 2016



Andamento di temperatura al GISTEMP 2016



Andamento di temperatura al GISTEMP 2016



Cambiamenti climatici il ghiacciaio Scerscen



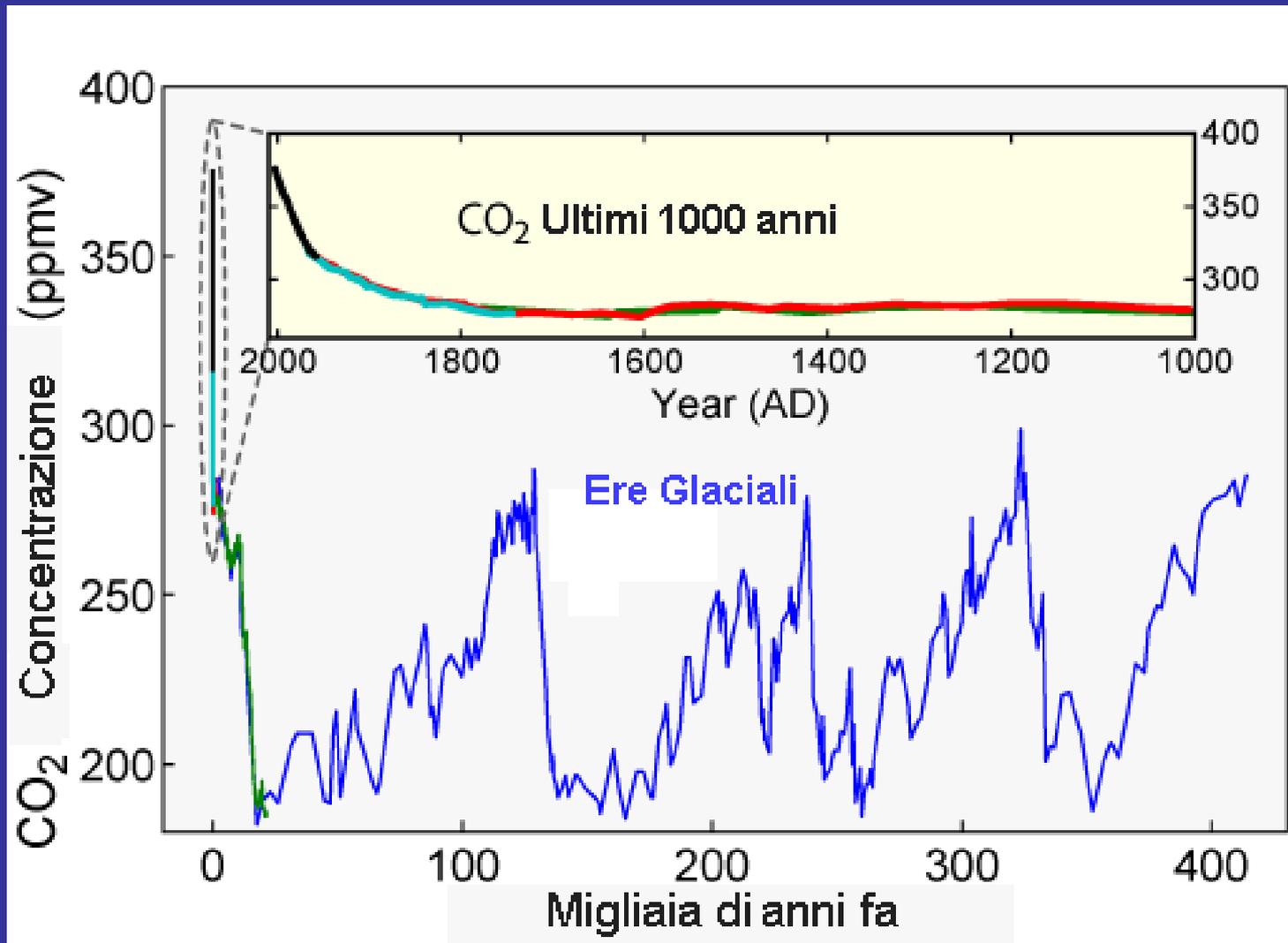
Cambiamenti climatici

la riduzione della banchisa al polo nord



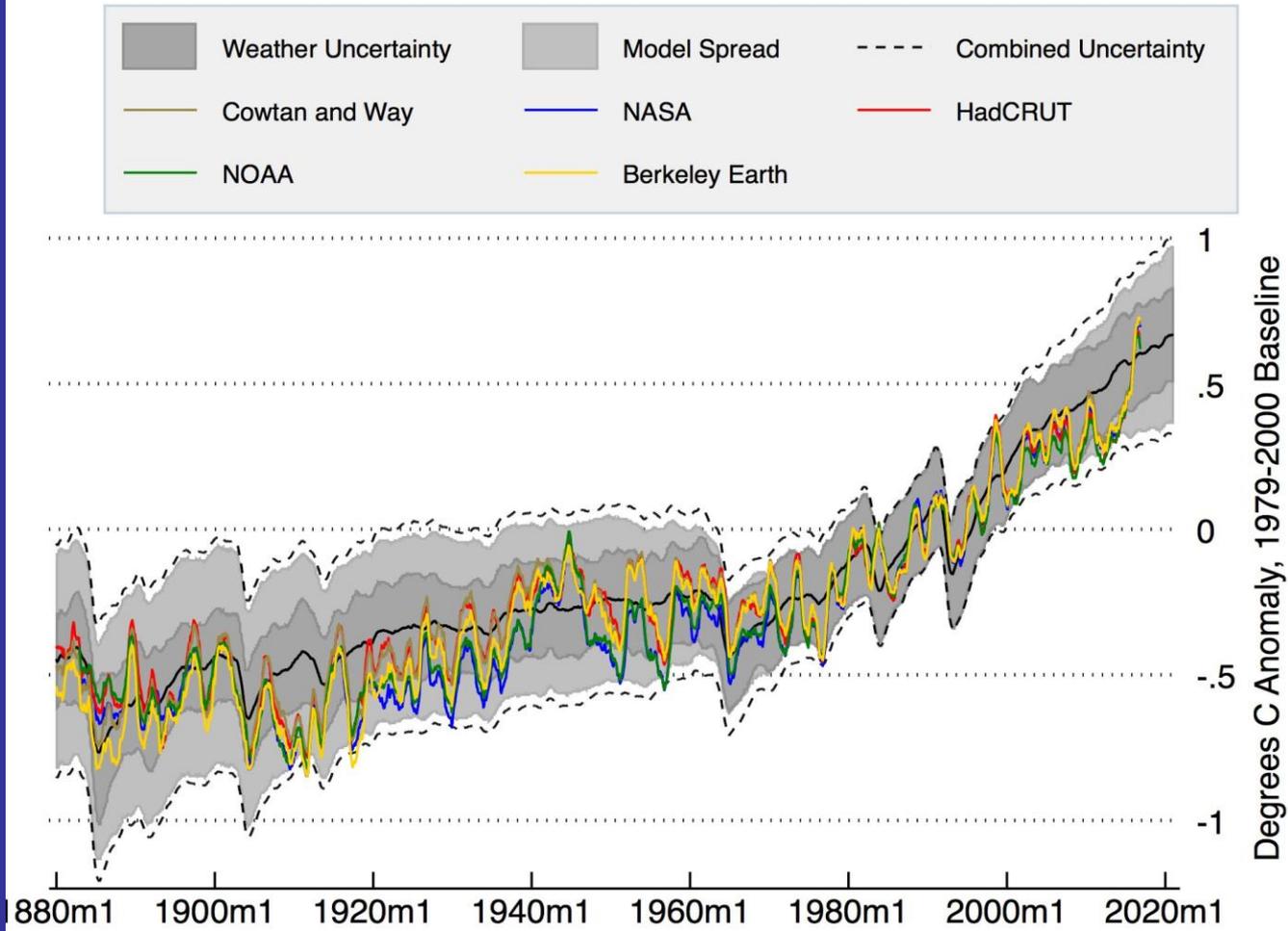
Cambiamenti climatici

I gas serra



Scenari di Clima Globale

Blended Model-Observation Comparisons, 1880-2020



12-month lagging average. Black line shows multi-model mean. Includes 109 runs from 38 RCP45 models.

Ogni giorno l'azione antropica

60 milioni di tonnellate di CO₂

50000 ettari di foresta distrutti

200000 tonnellate di pescato

100 specie estinte

20000 ettari di terra convertiti ad arabile

IG
5016 © Globus

Source: UBA, OECD

See: P-362