



Istituto Veneto
di Scienze Lettere
ed Arti

CHIARAMENTE SCIENZA



Sesti e dissesti climatici. L'effetto serra all'alba del terzo millennio

Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti
Venezia, 25 ottobre 2005

Cambiamenti climatici: la lezione del passato

Giuseppe Orombelli

Università di Milano Bicocca

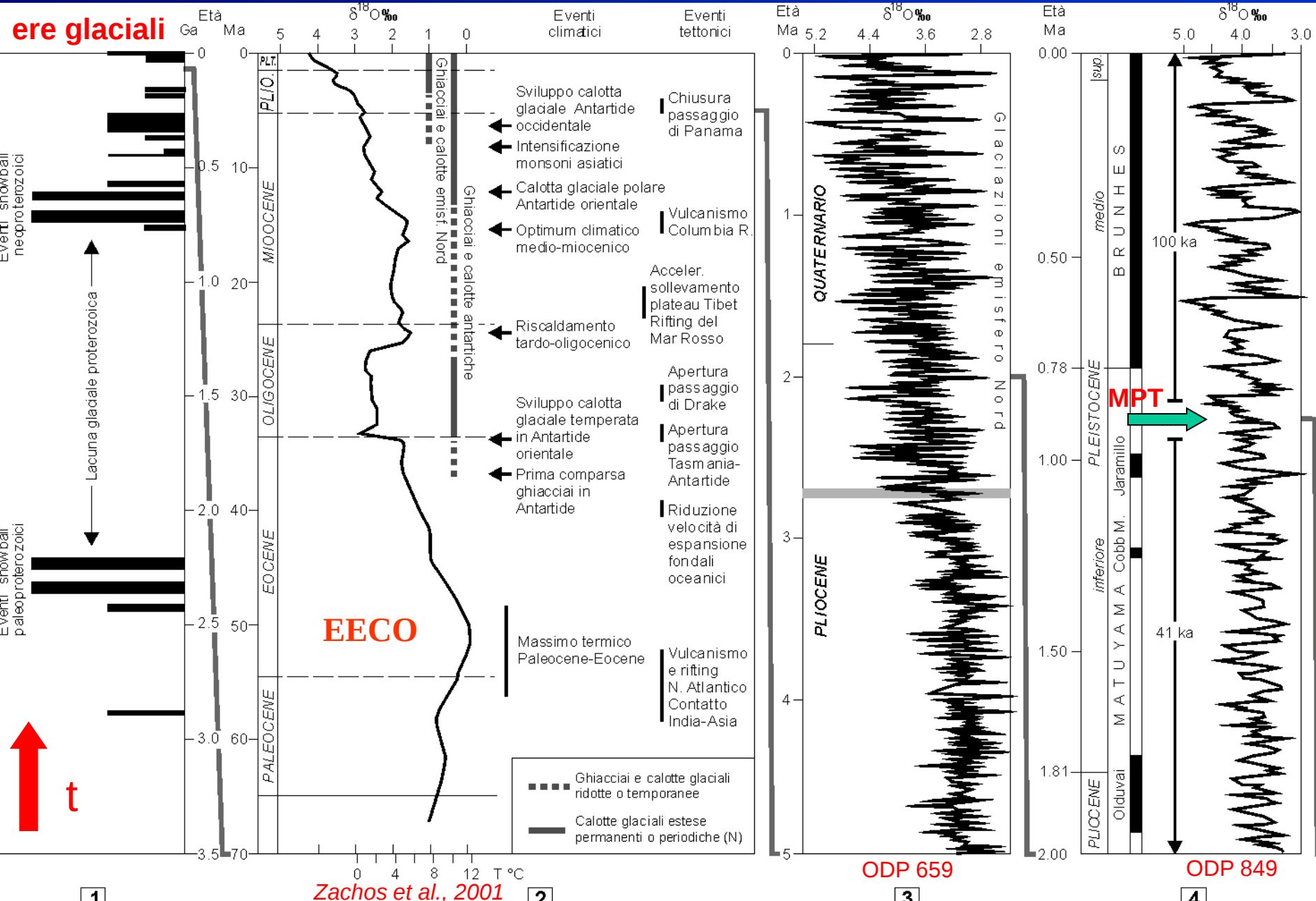
Il clima sta cambiando?

E' già cambiato in questi ultimi anni, rispetto ai decenni passati?

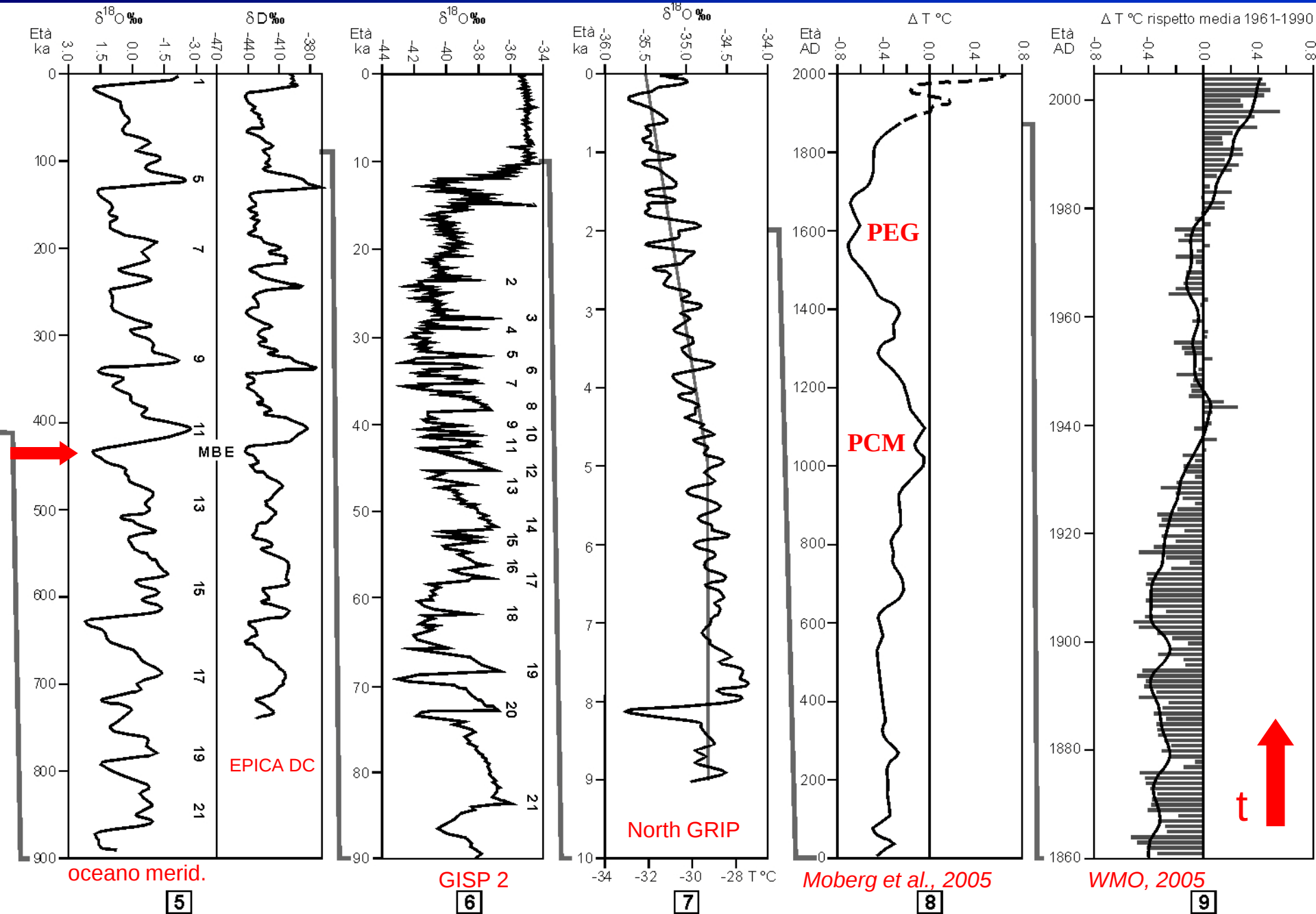
Se è cambiato, si tratta di una oscillazione transitoria, nei limiti della variabilità climatica naturale?

Oppure si tratta di un fenomeno nuovo, in cui alle cause naturali si sommano cause dovute alle attività umane?

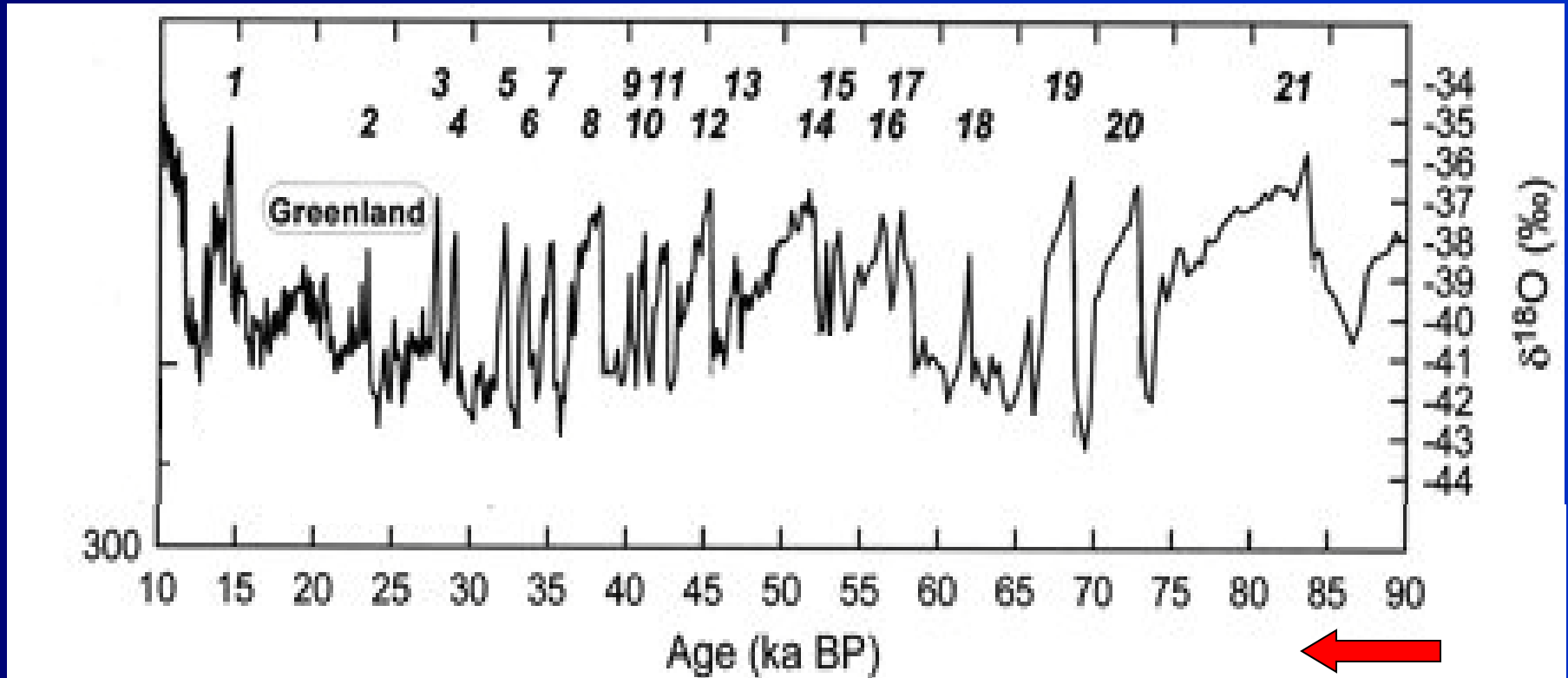
Per rispondere a queste domande occorre conoscere come il clima è cambiato nel passato, in presenza e in assenza dell'uomo. Occorre valutare quale è stata la variabilità del clima in ampiezza, periodo, ...



Variabilità climatica a diverse scale t : da 10^5 a 10^0 anni



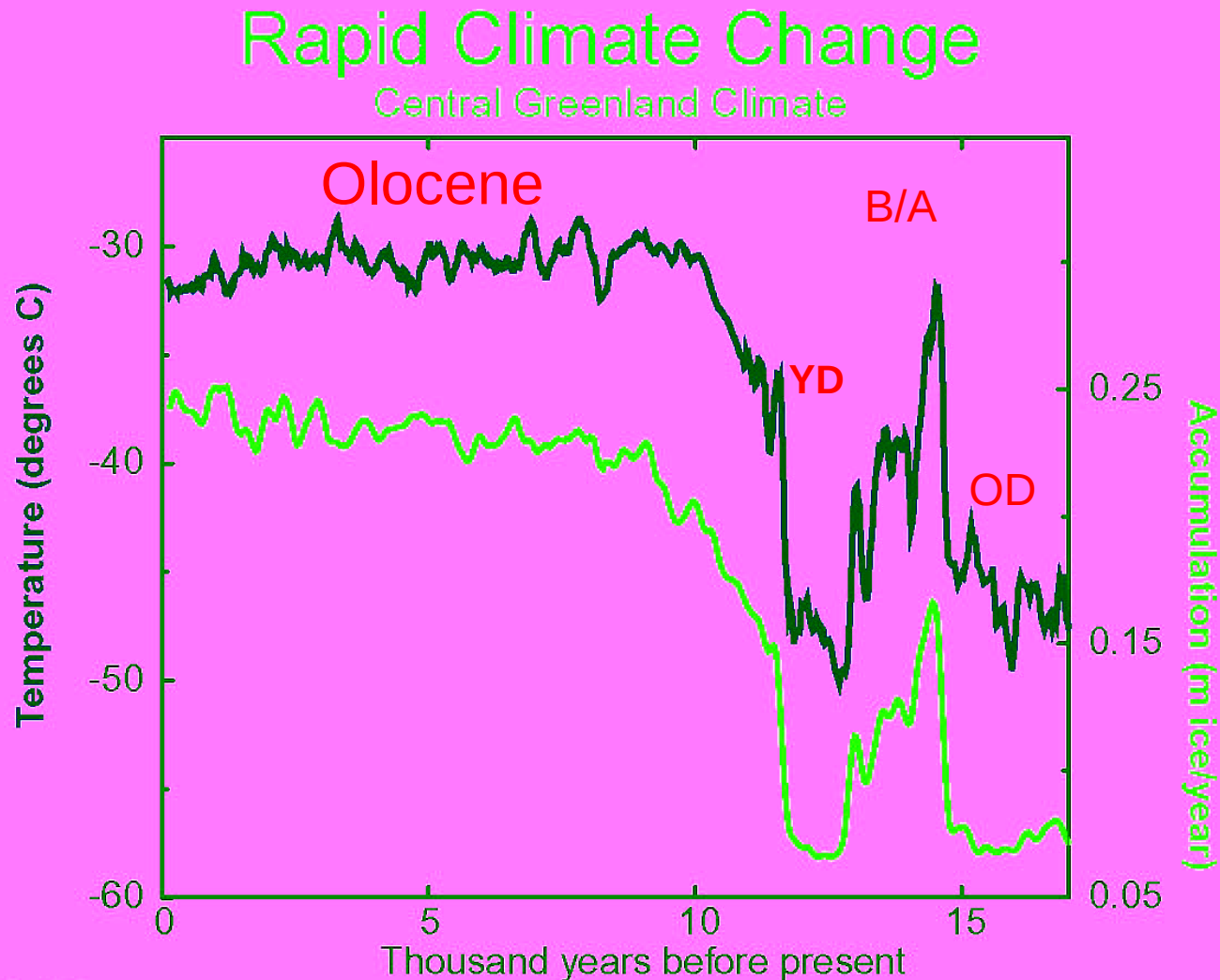
Perforazione GRIP: curva $\delta^{18}\text{O}$



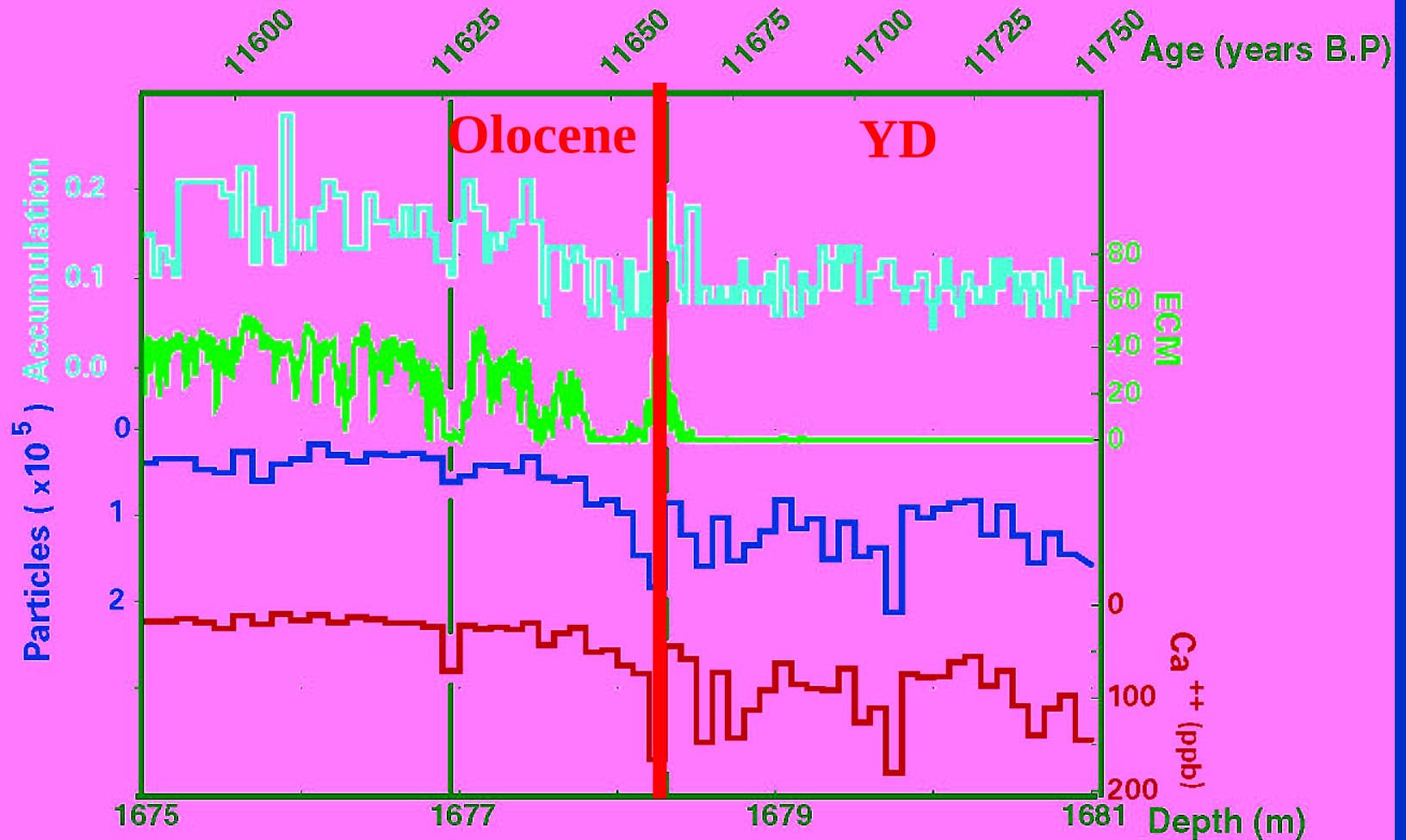
Evidenza di frequenti ampie variazioni climatiche di breve durata: instabilità climatica alla scala del millennio durante l'ultima Glaciazione (tra 90.000 e 10.000 anni fa)

Ultima deglaciazione: curve temperatura e accumulo (medie annue)

Esempi di radicali cambiamenti climatici repentini (pochi decenni)



Tra 11.675 e 11.650 anni fa si è conclusa bruscamente l'ultima glaciazione



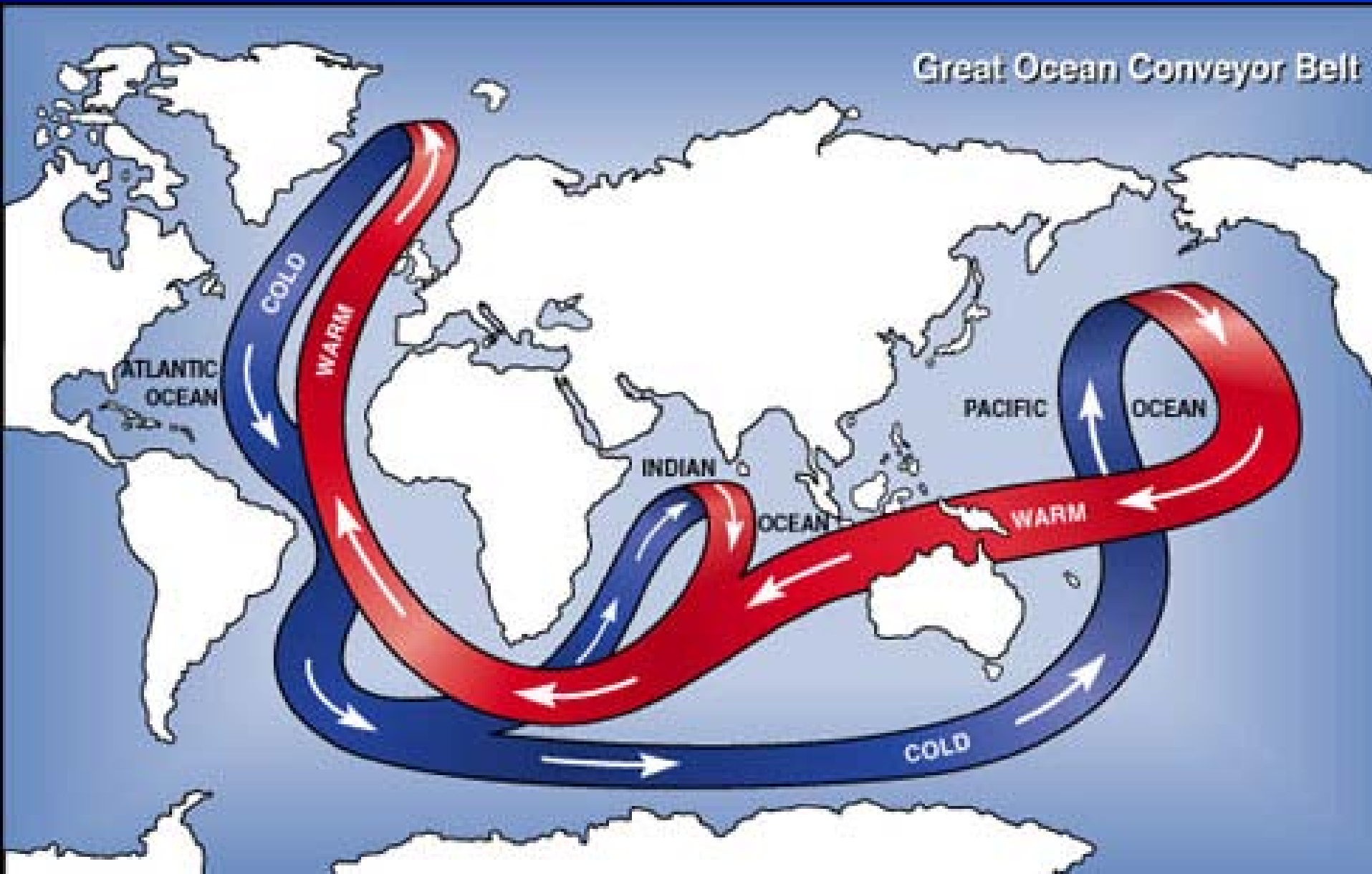
Past Global Changes and Their Significance for the Future

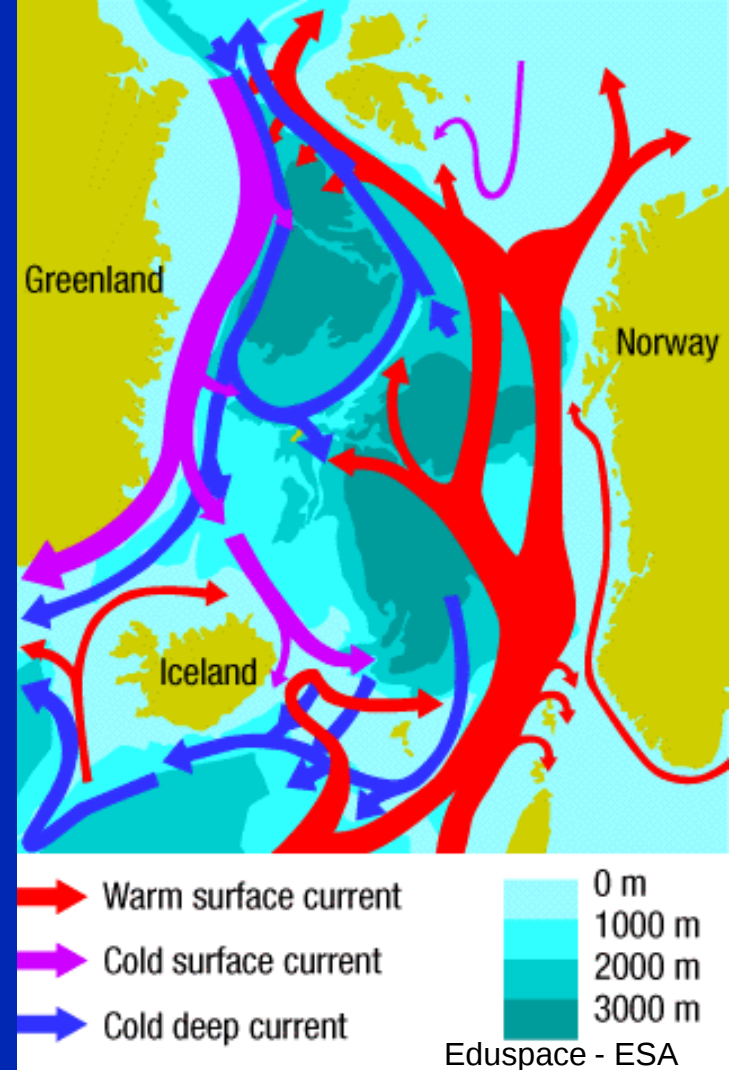
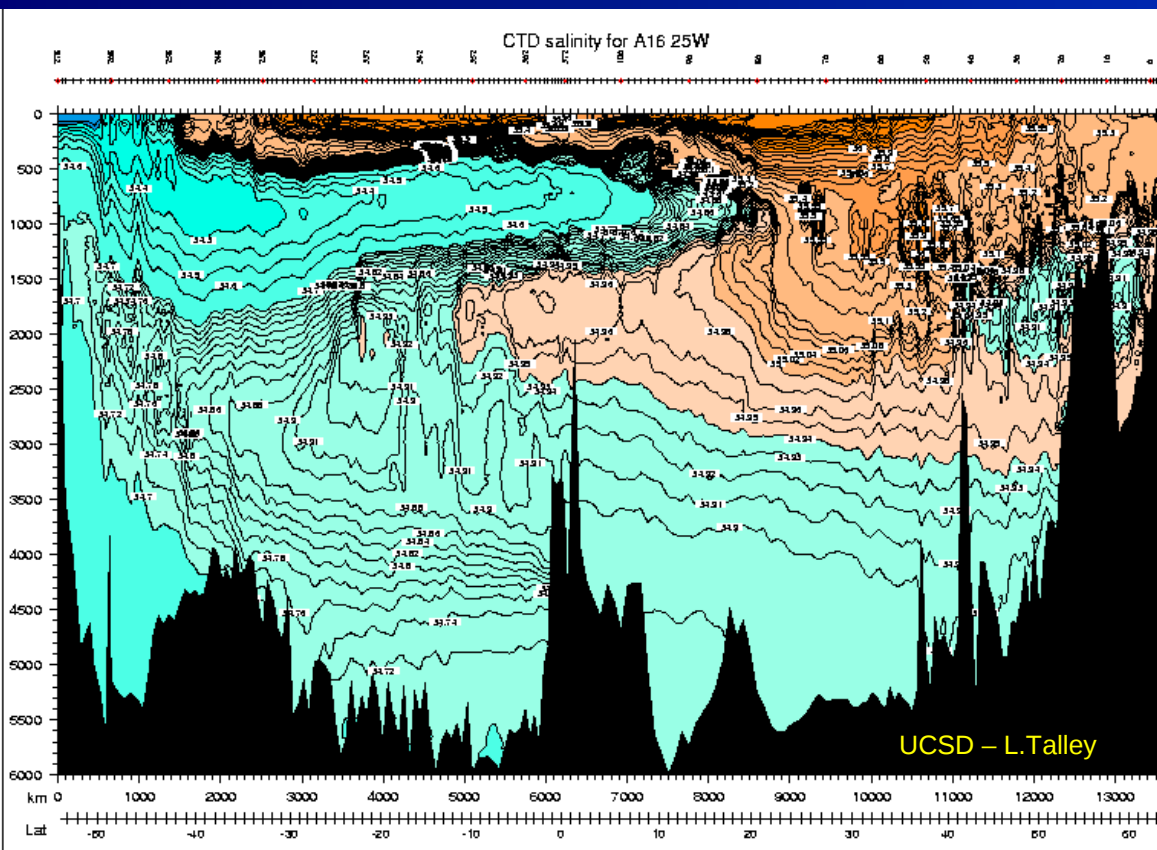
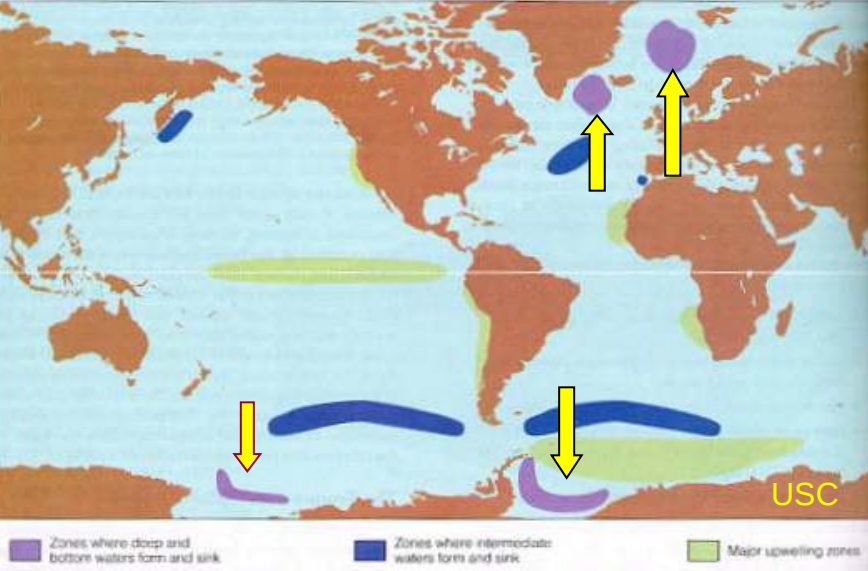
Alverson, Oldfield and Bradley eds.

Alley (2000) QSR, 19, 213-226.

After Taylor et al (1997) Science 278, 825-827.

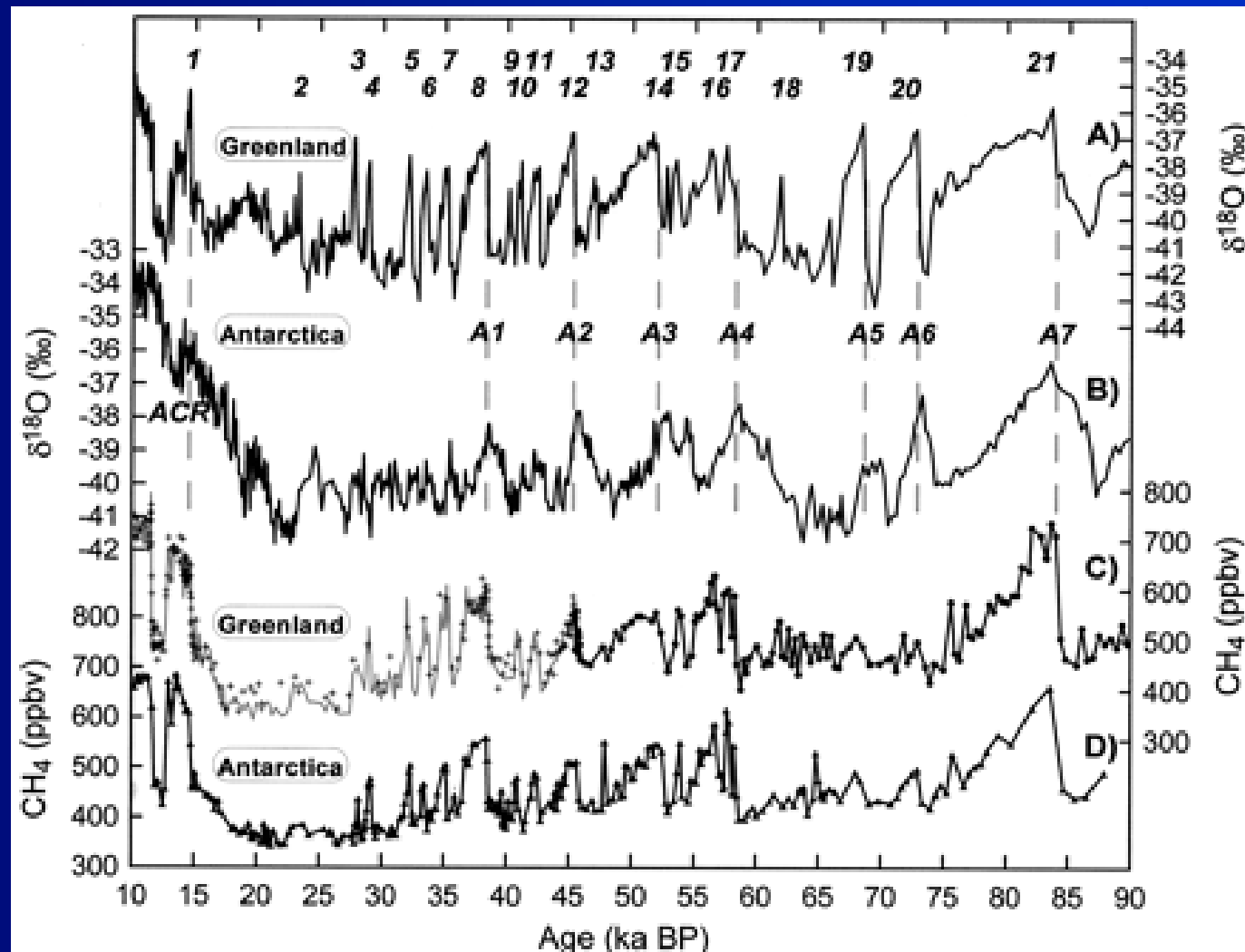
La circolazione oceanica termoalina e il “nastro trasportatore”



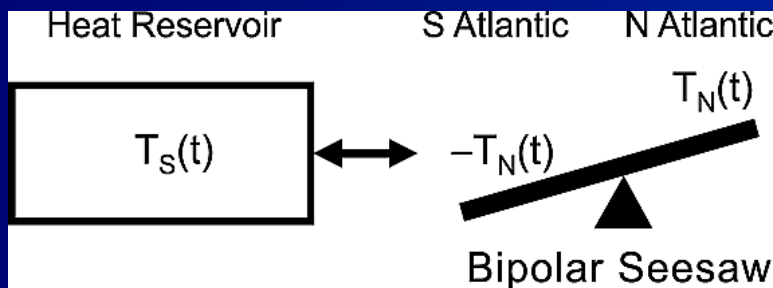


**DEEP WATER
FORMATION**

Curve isotopiche e del metano in Groenlandia e Antartide. L'instabilità climatica alla scala del millennio è presente ma attenuata nell'emisfero Sud



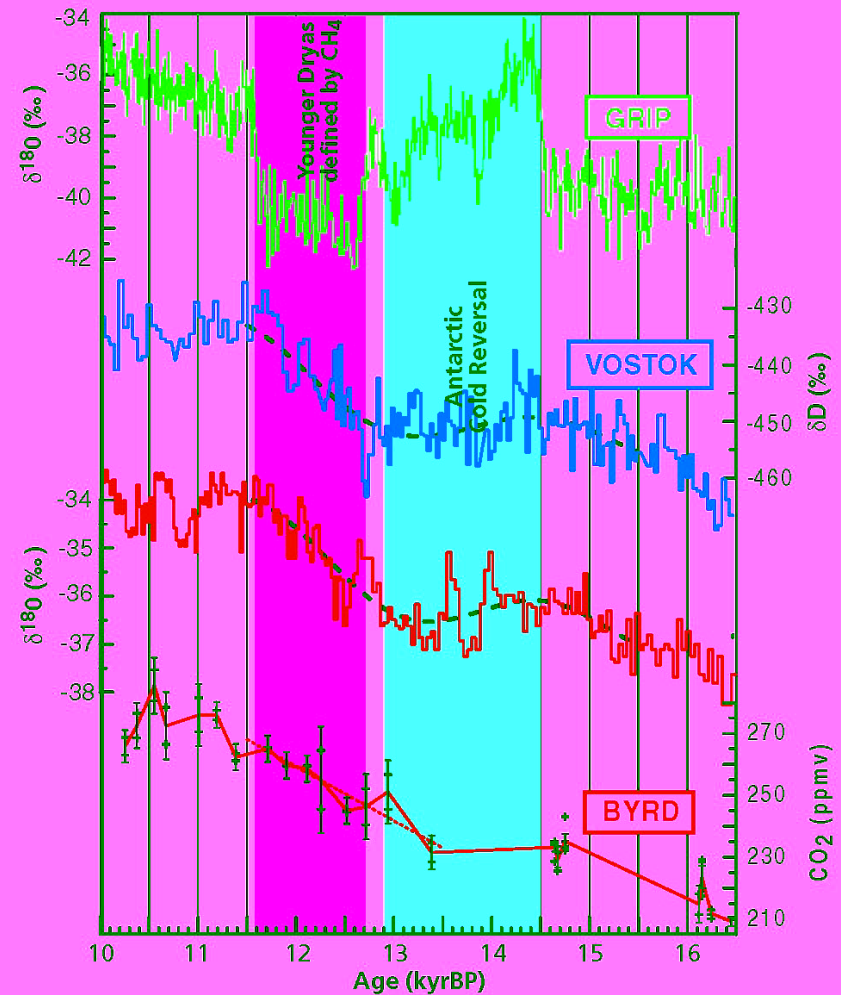
Le variazioni climatiche della durata del millennio non sono in fase nei due emisferi : il Sud anticipa il Nord di oltre un migliaio di anni.



altalena bipolare

(Stocker & Johnsen, 2003)

Interhemispheric Phasing of the Antarctic Cold Reversal and the Younger Dryas



Past Global Changes and Their Significance for the Future

Alverson, Oldfield and Bradley eds.

GLOBAL
CHANGE

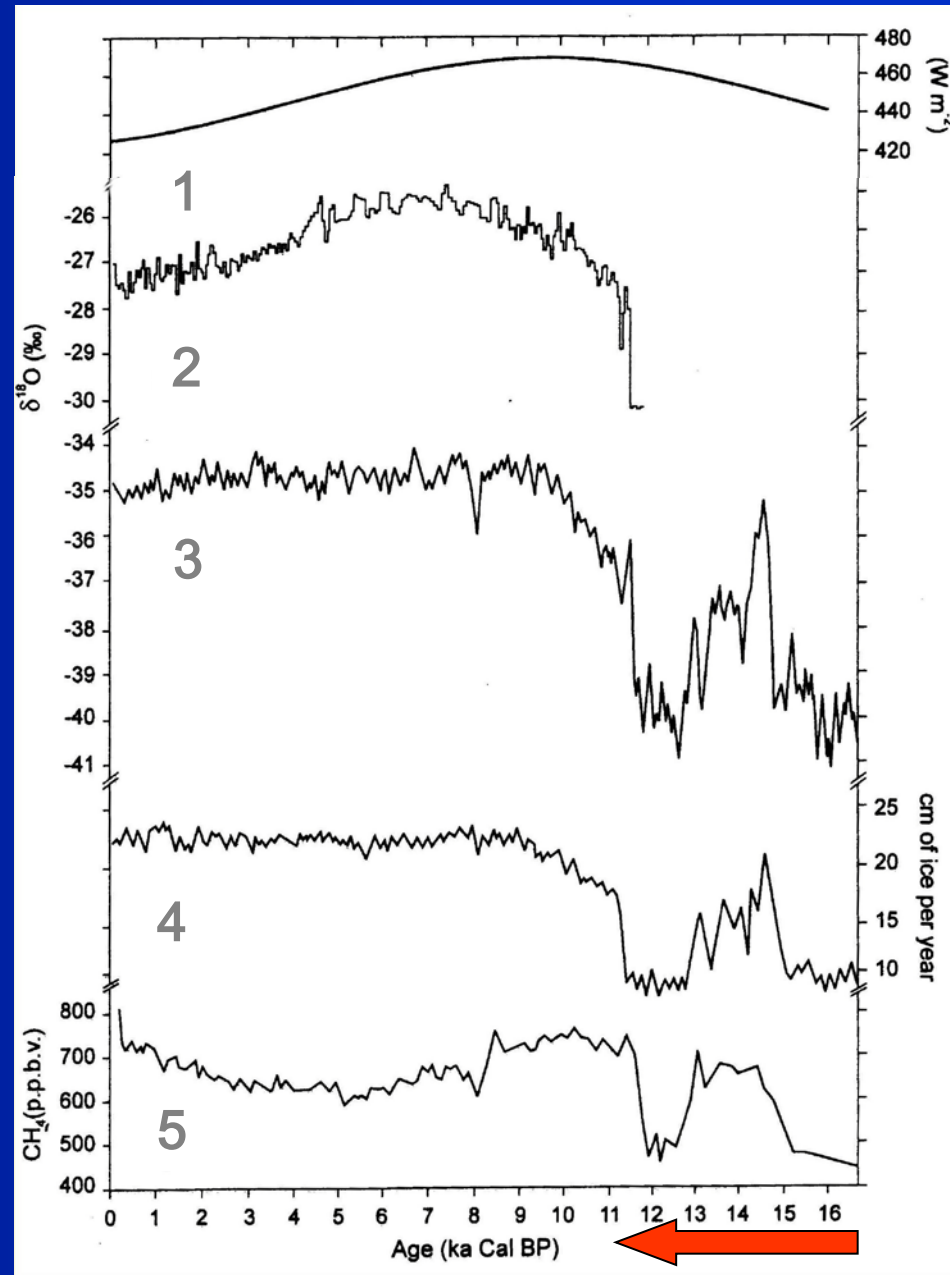
Raynaud et al. (2000) QSR, 19, 9-17

After Blunier et al. (1997) GRL, 24, 2683-2686

PAGES
PAST GLOBAL CHANGES

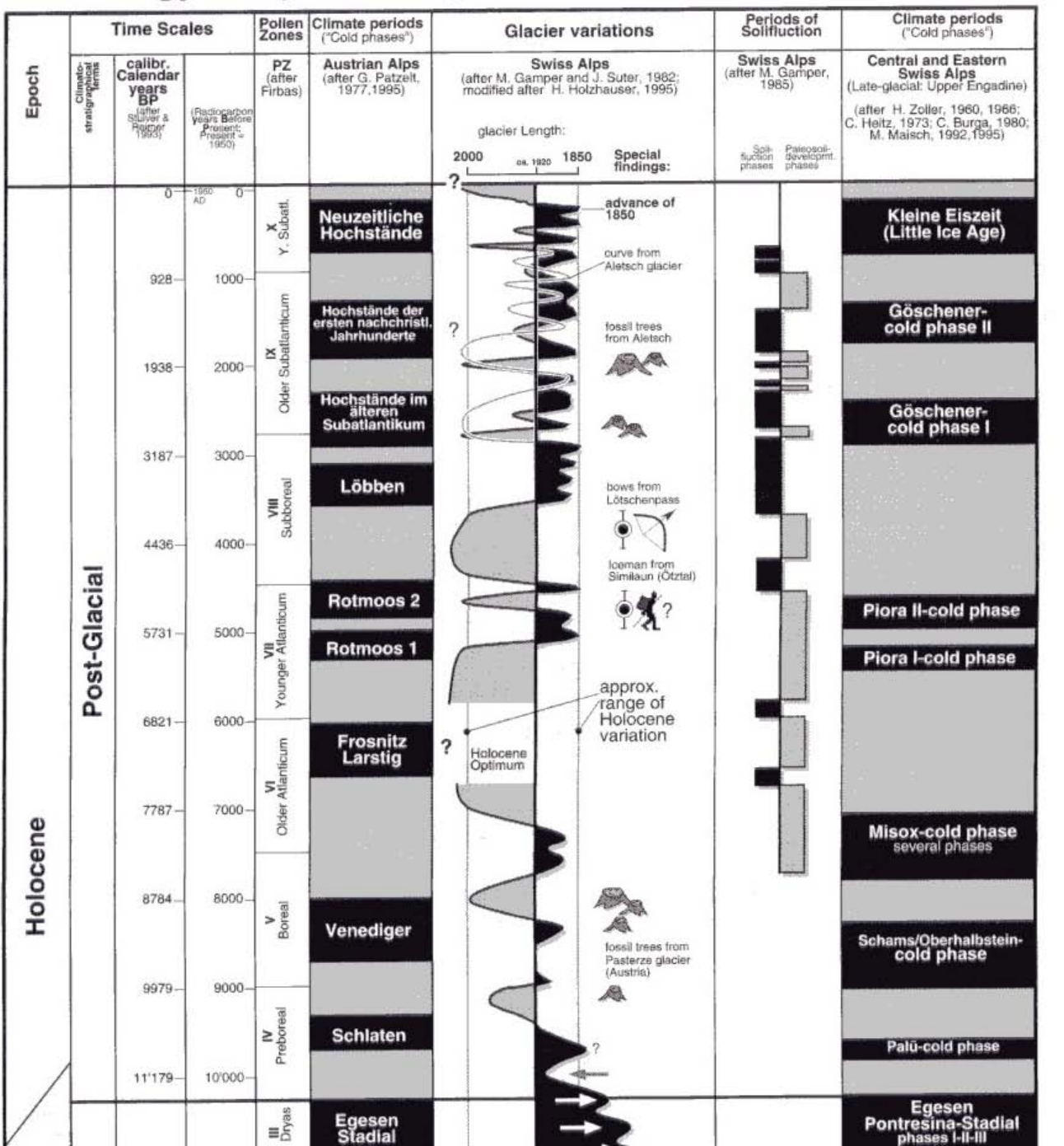
L'Olocene (ultimi 12.000 anni circa): la variabilità alla scala del millennio è presente ma con ampiezza molto attenuata

- 1 Insolazione mese di luglio a 65° N
- 2 $\delta^{18}\text{O}$ (Renland)
- 3 $\delta^{18}\text{O}$ (GISP2)
- 4 accumulo annuo (GISP2)
- 5 concentrazione metano (GRIP)



Fluttuazioni glaciali oloceniche nelle Alpi

Chronology of alpine Late glacial and Holocene climate history

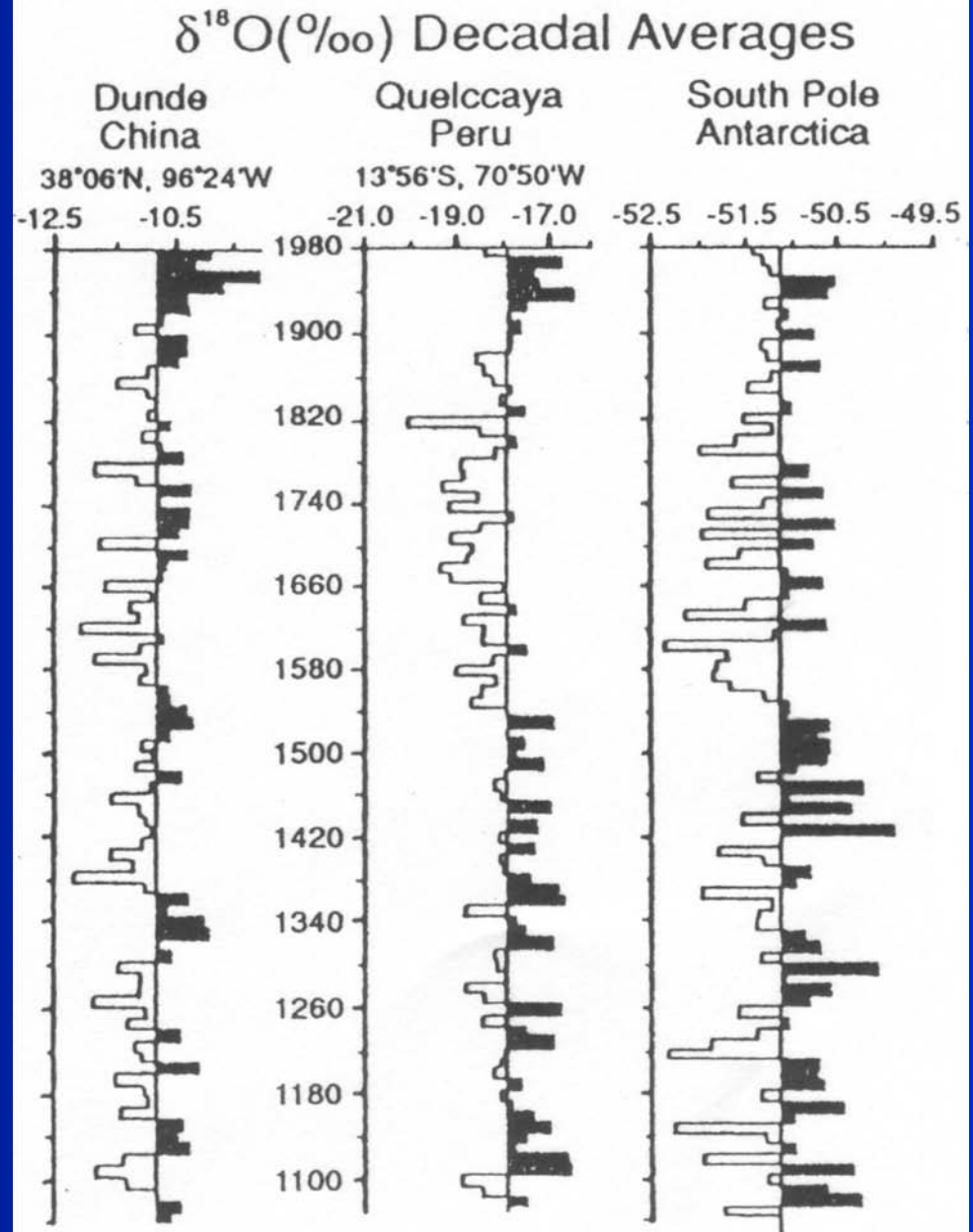


(Maisch, 2000)

La Piccola Età Glaciale XIV – XIX sec.

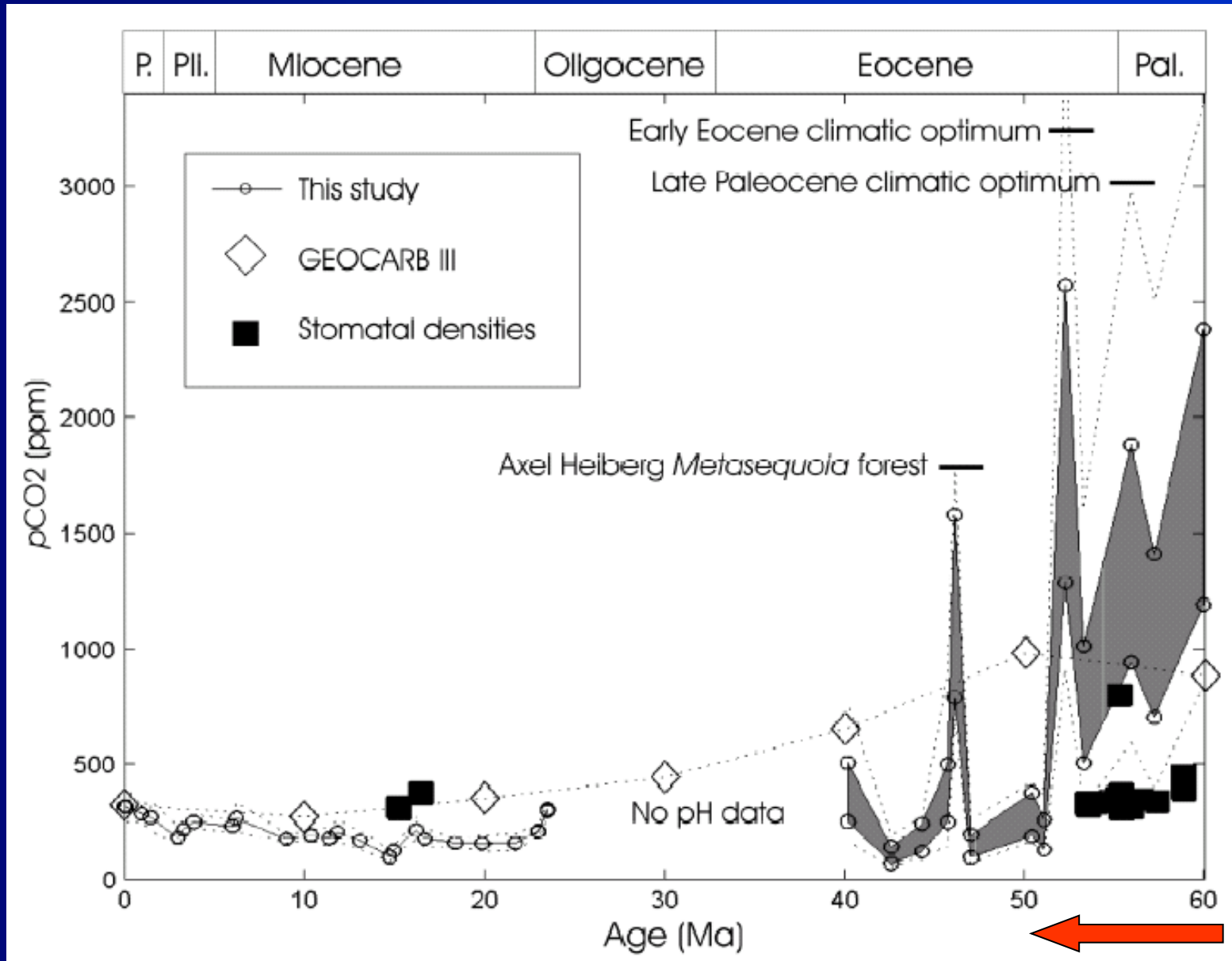


Unterer Grindelwald glacier, XVIII century



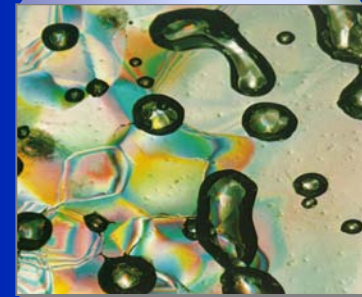
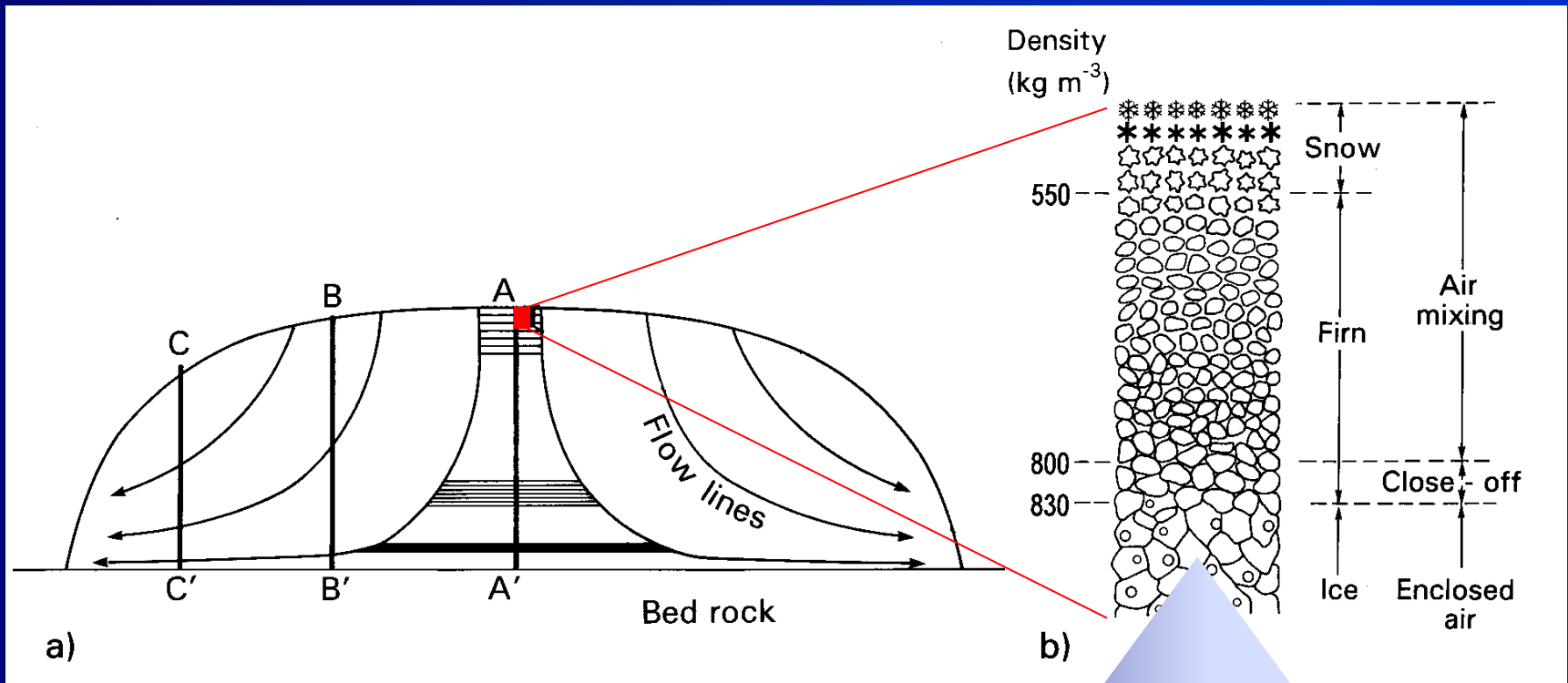
Mosley Thompson et al., 1993

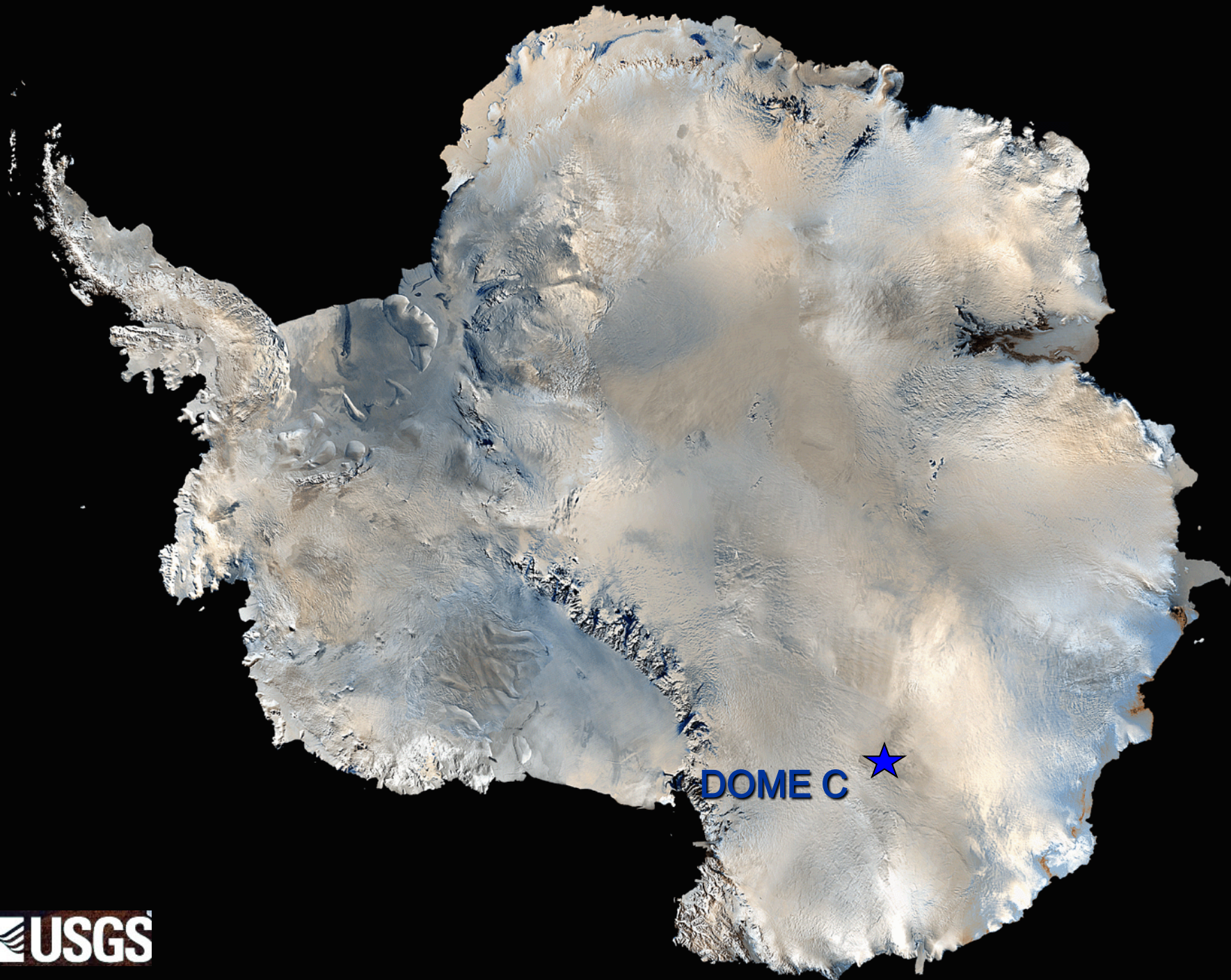
Ricostruzione del tenore della CO₂ (ppm) negli ultimi 60 milioni di anni



(Demicco et al, 2003)

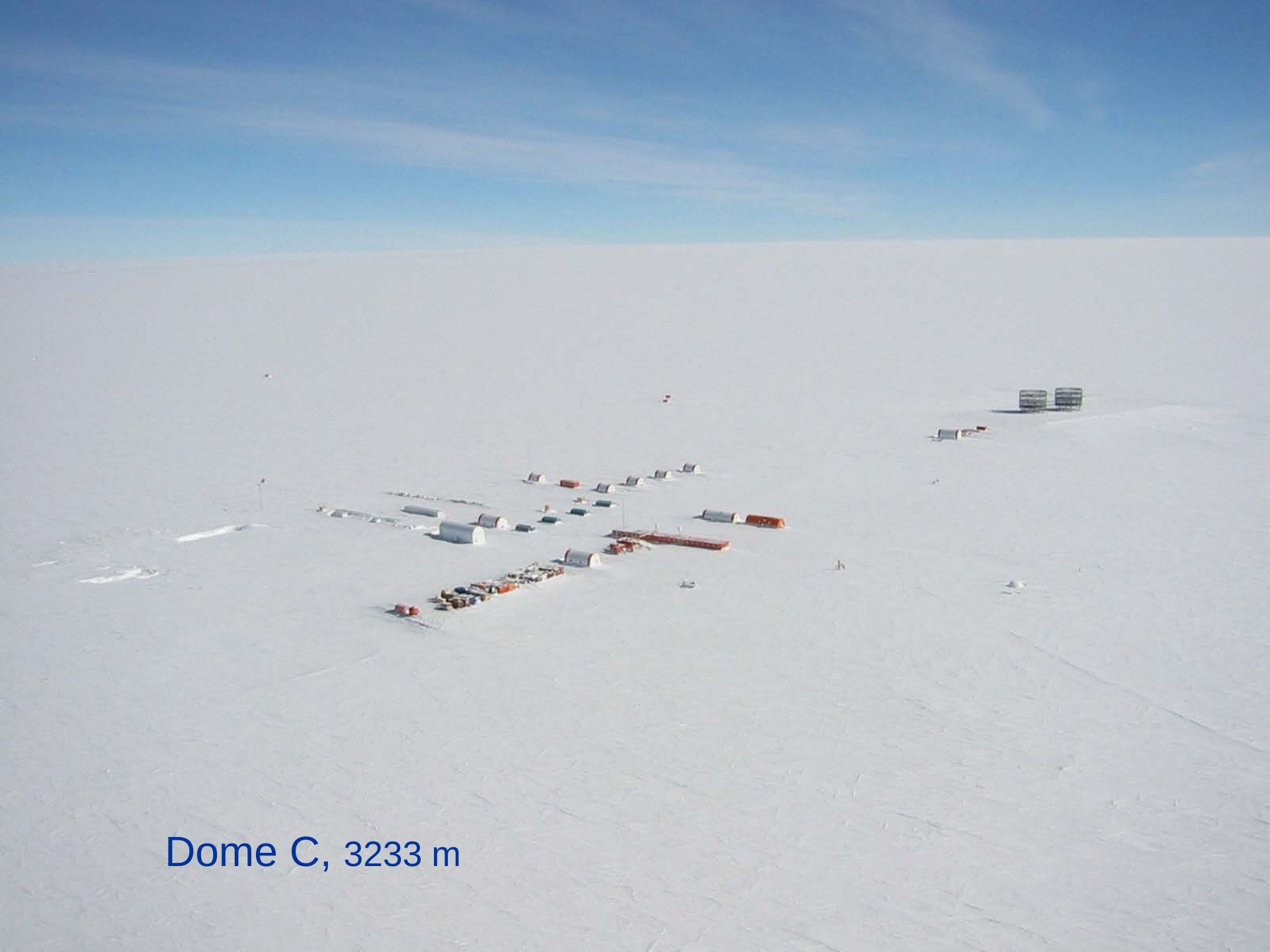
Schema di una calotta glaciale polare con linee di flusso divergenti dal centro alla periferia e meccanismo di intrappolamento delle bolle d'aria.





DOME C





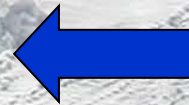
Dome C, 3233 m

Il campo estivo EPICA a Dome C, presso la Stazione Concordia

Tenda perforazione



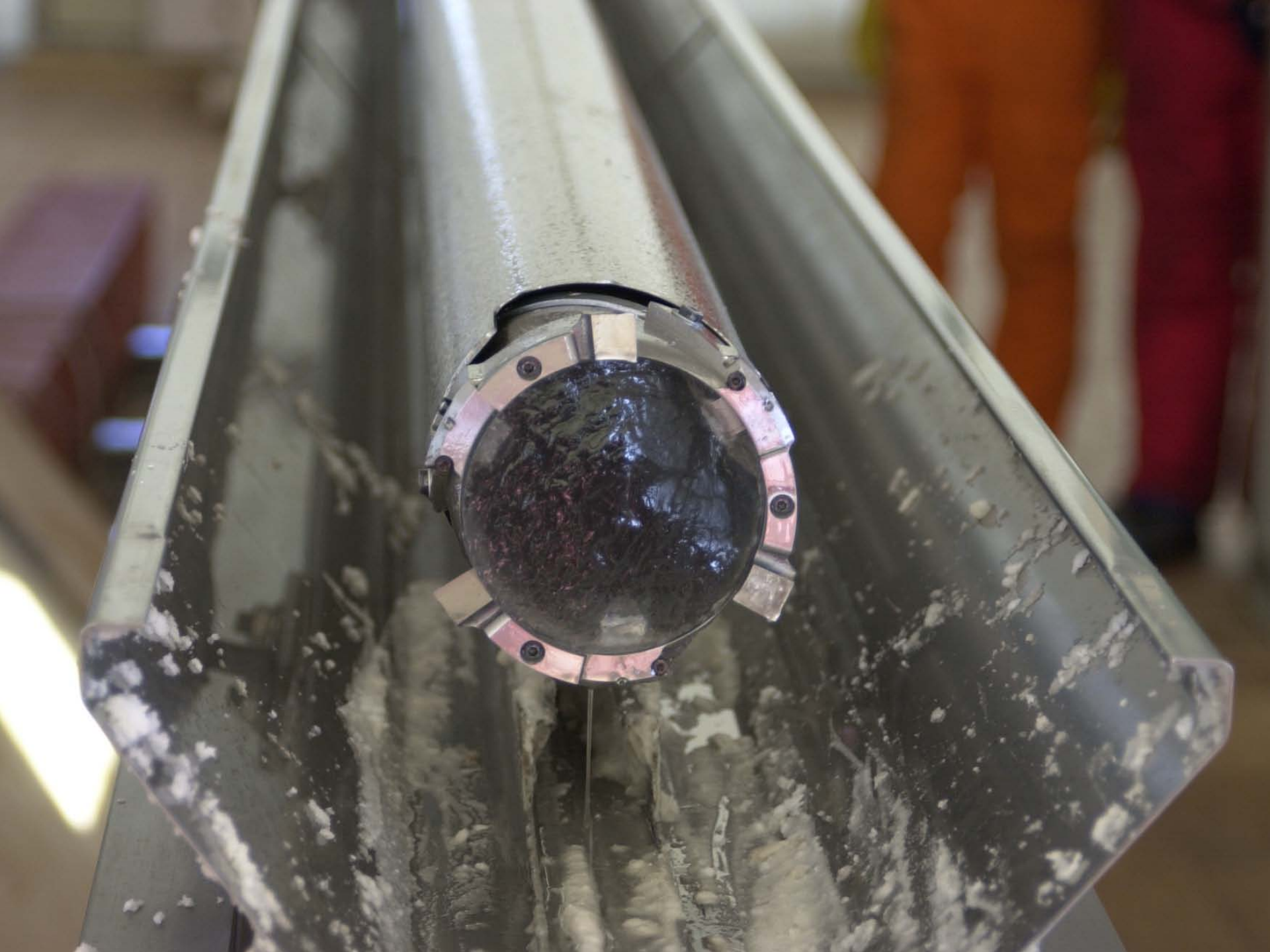
Laboratorio

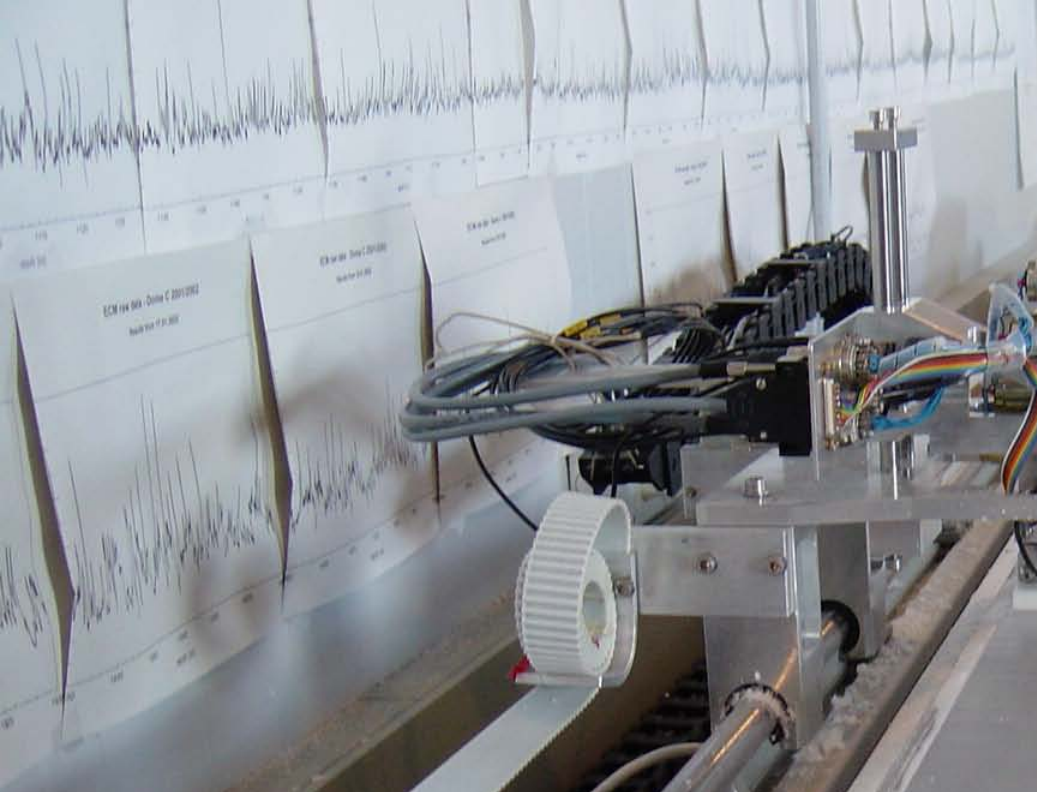


$T_{ma} - 54,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $T_{est} \sim -30\text{ }^{\circ}\text{C}$



Stazione Concordia





ECM 1000 - China C 2010000
Date: 11/11/2010

ECM 1000 - China C 2010000
Date: 11/11/2010

ECM 1000 - China C 2010000
Date: 11/11/2010

1 2:33

Vostok: gli ultimi quattro cicli climatici

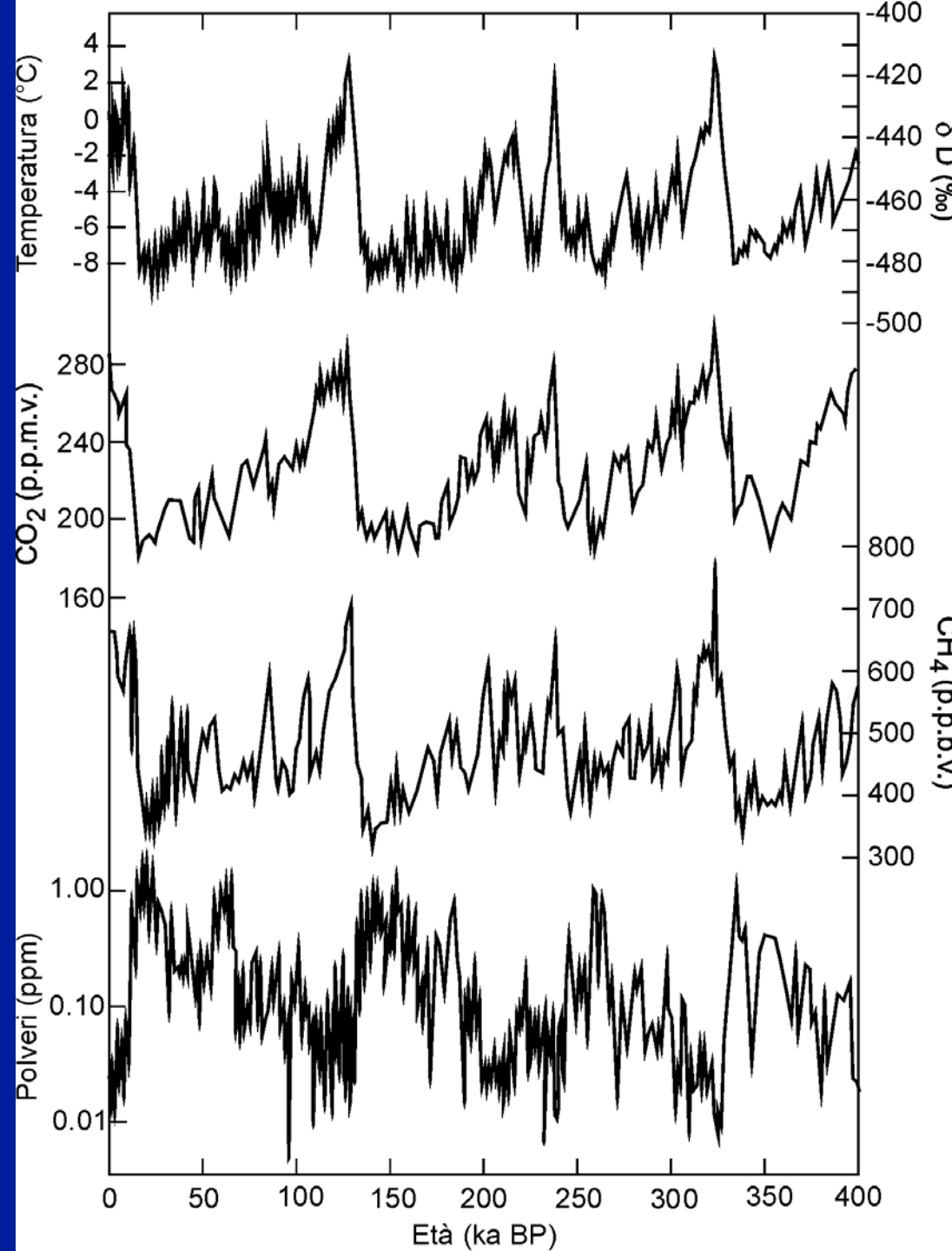
temperatura

CO_2

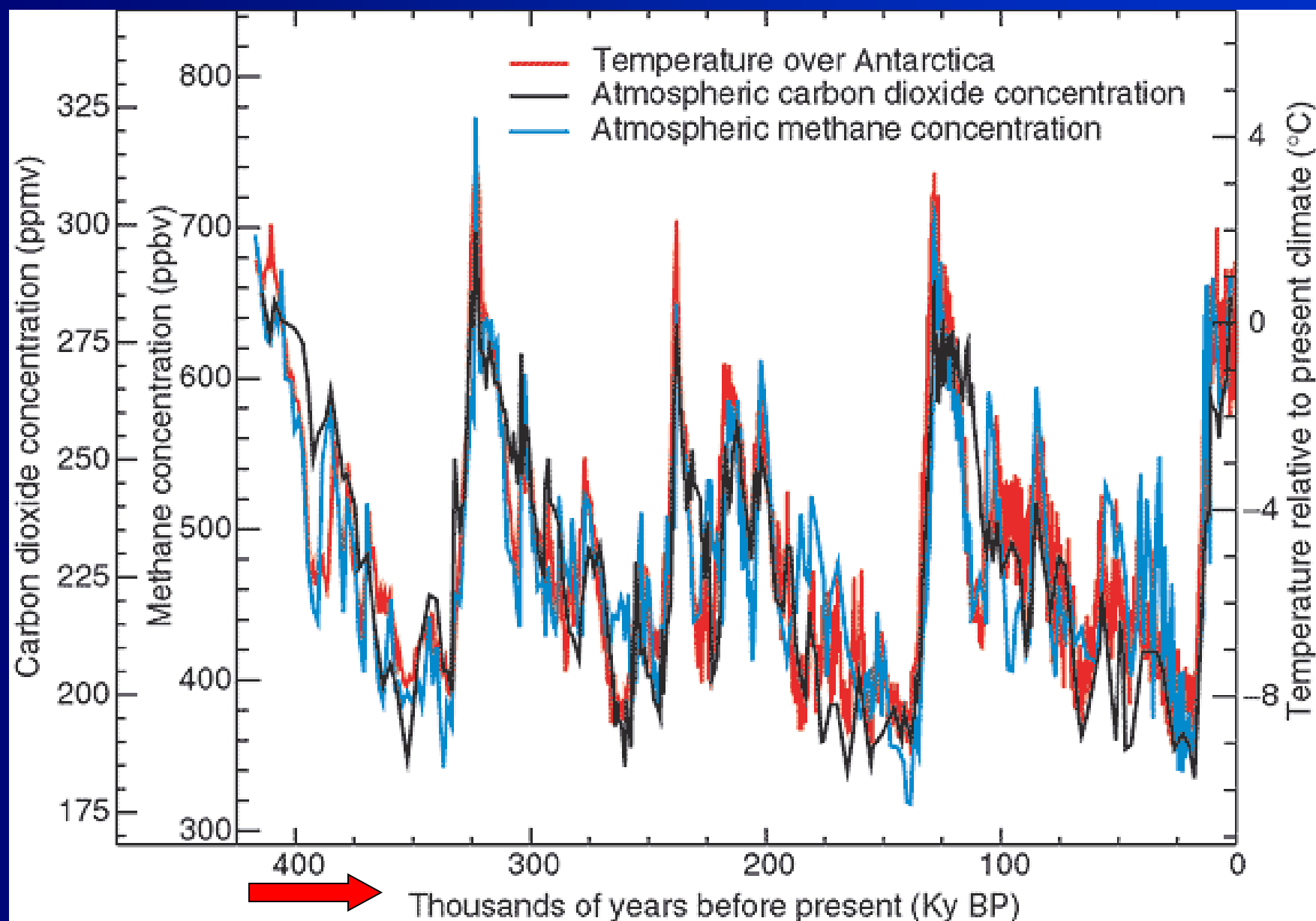
metano

polveri

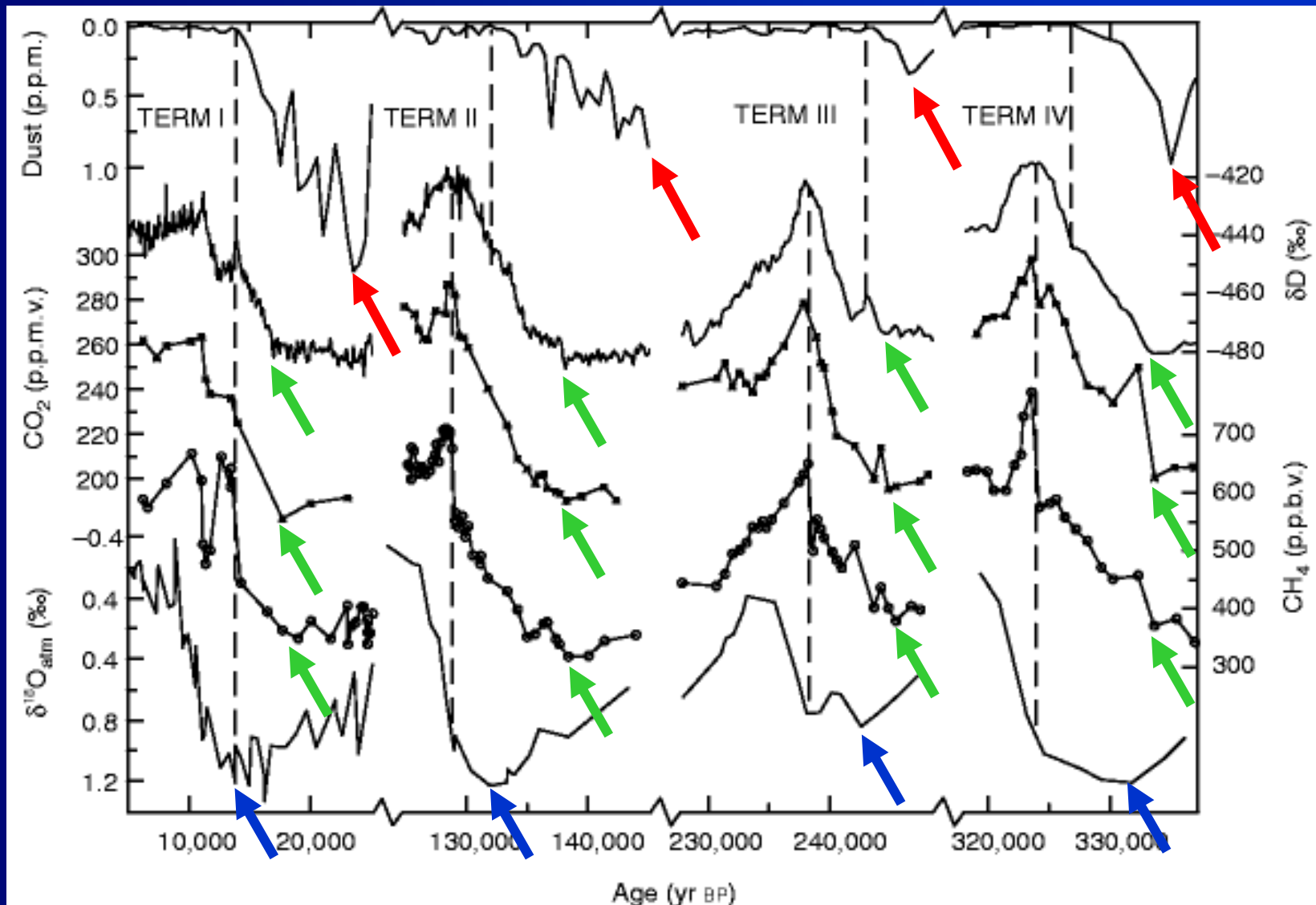
mod. da Petit et al., 1999



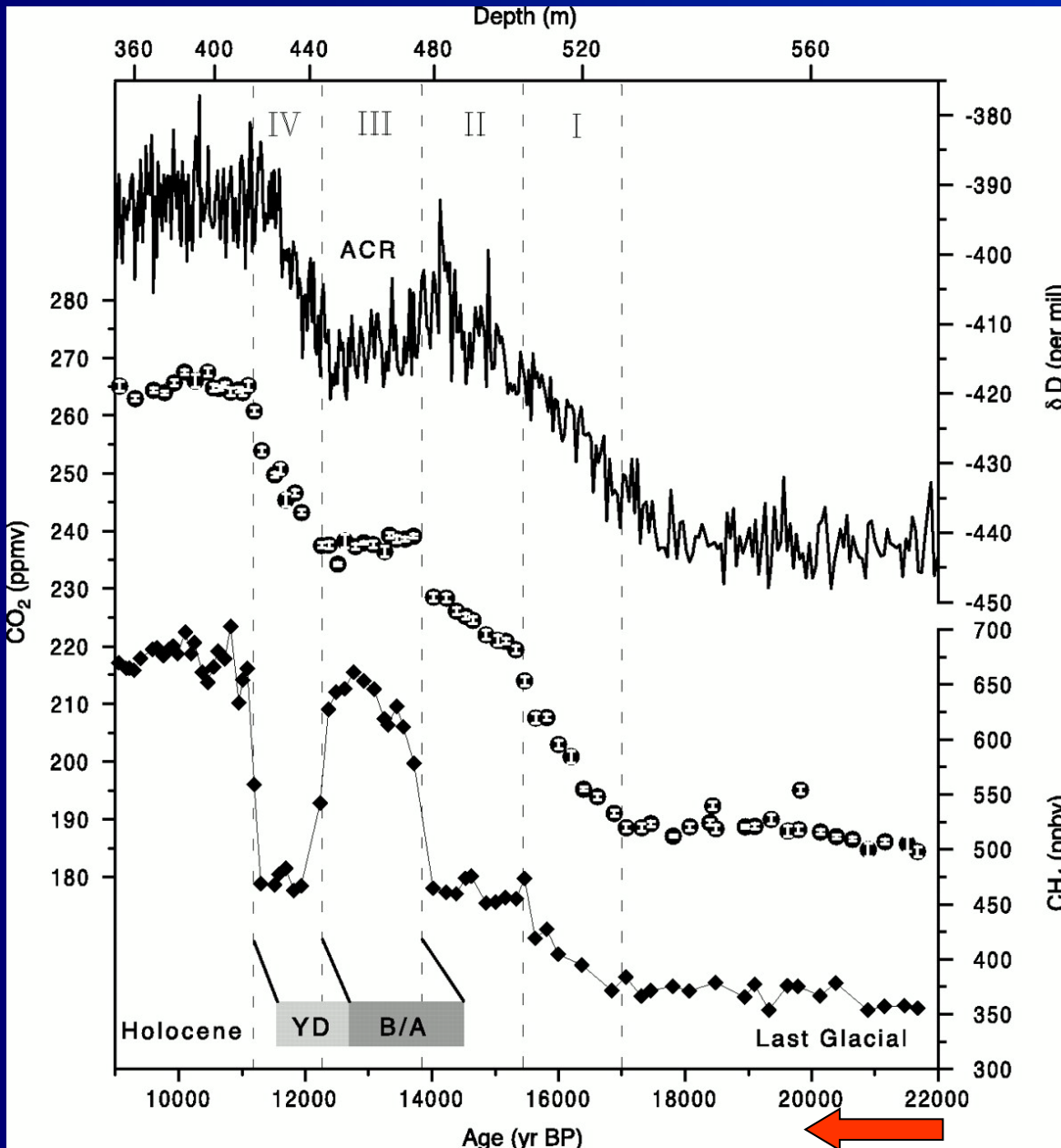
I gas serra (CO₂, metano) variano in fase con la temperatura



Le ultime quattro terminazioni nella carota di Vostok



Gas serra nell'ultima deglaciazione



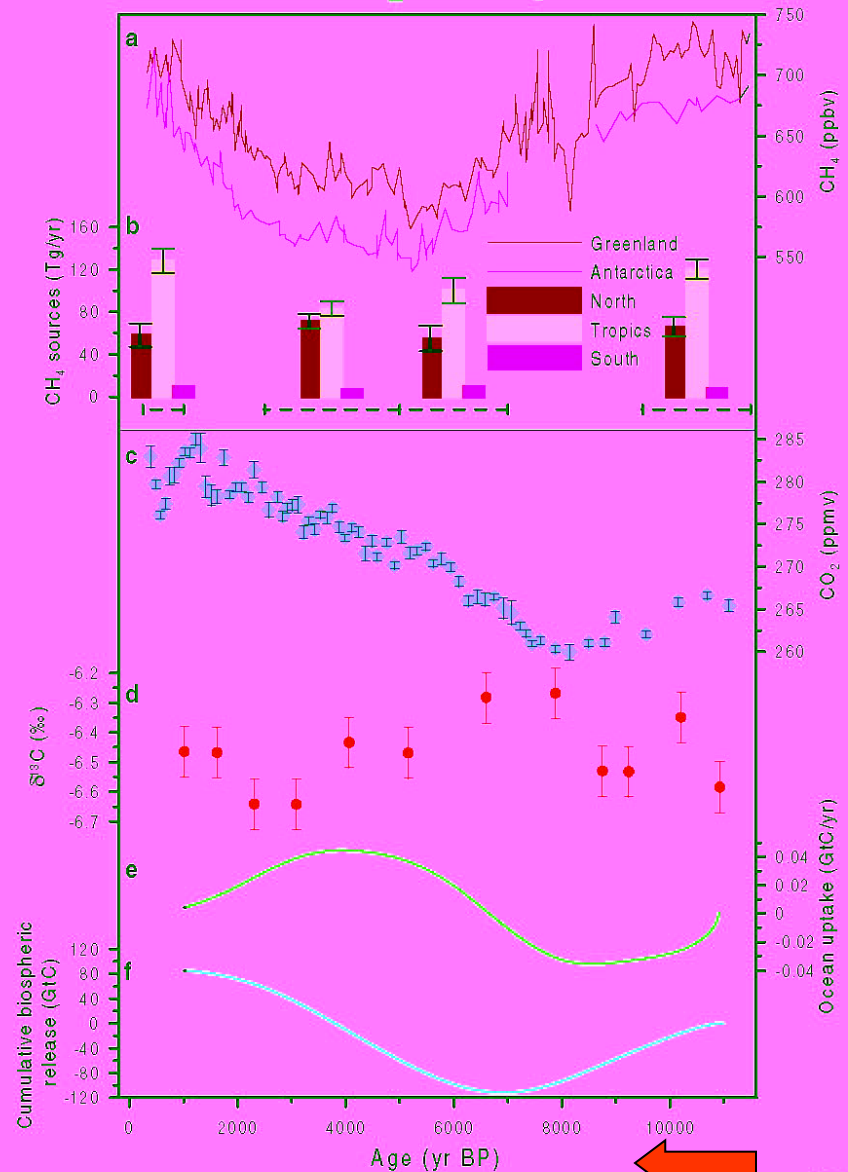
La CO₂ segue l'andamento della temperatura nell'emisfero meridionale (Oceano meridionale), il metano è invece influenzato dall'emisfero settentrionale (aree umide continentali)

Variazioni del metano (curva blu – Groenlandia, curva azzurra Antartide) e della CO₂ (punti verdi) negli ultimi 12.000 anni

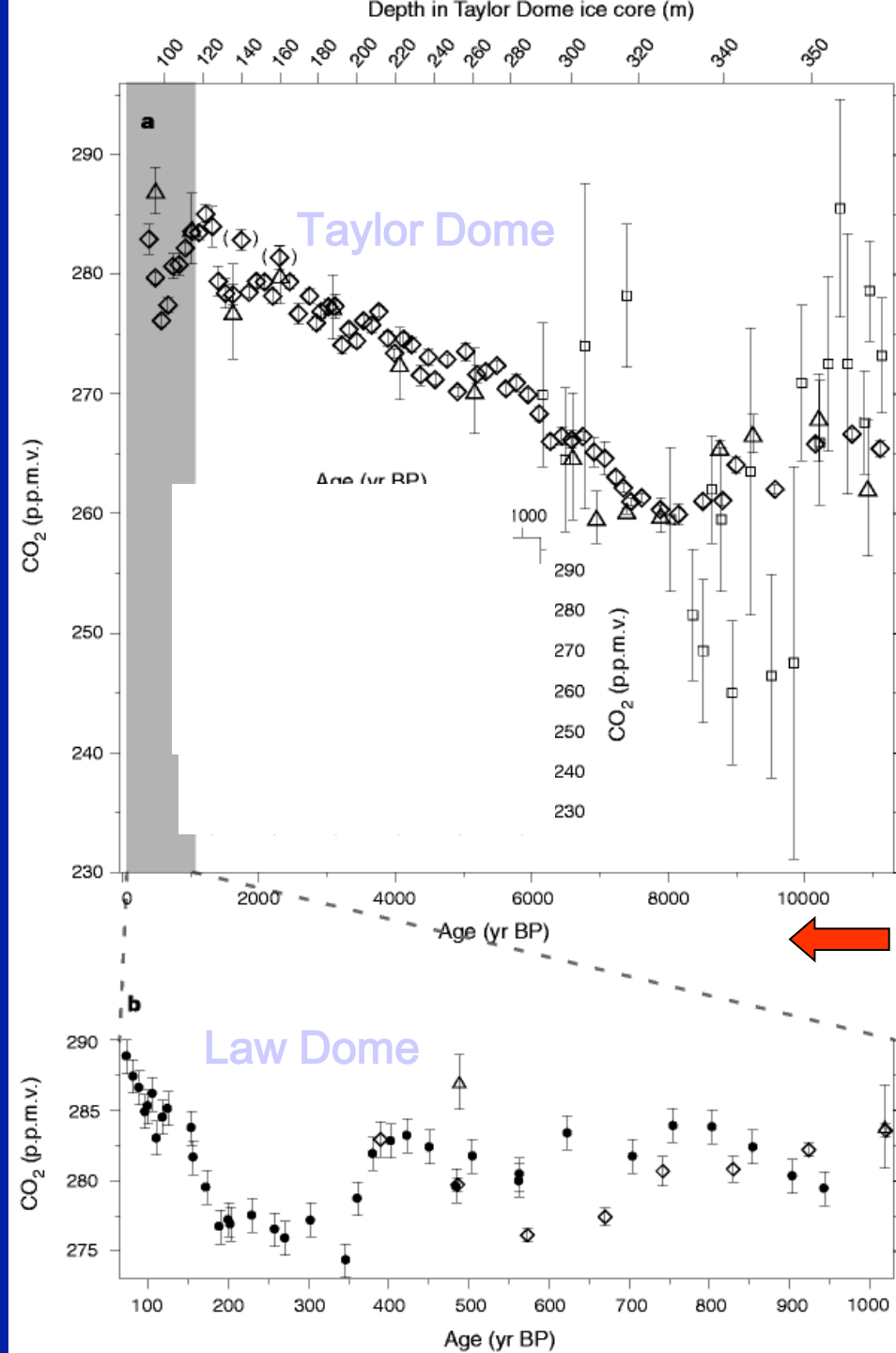
CO₂: + 20 ppm
in 8.000 anni

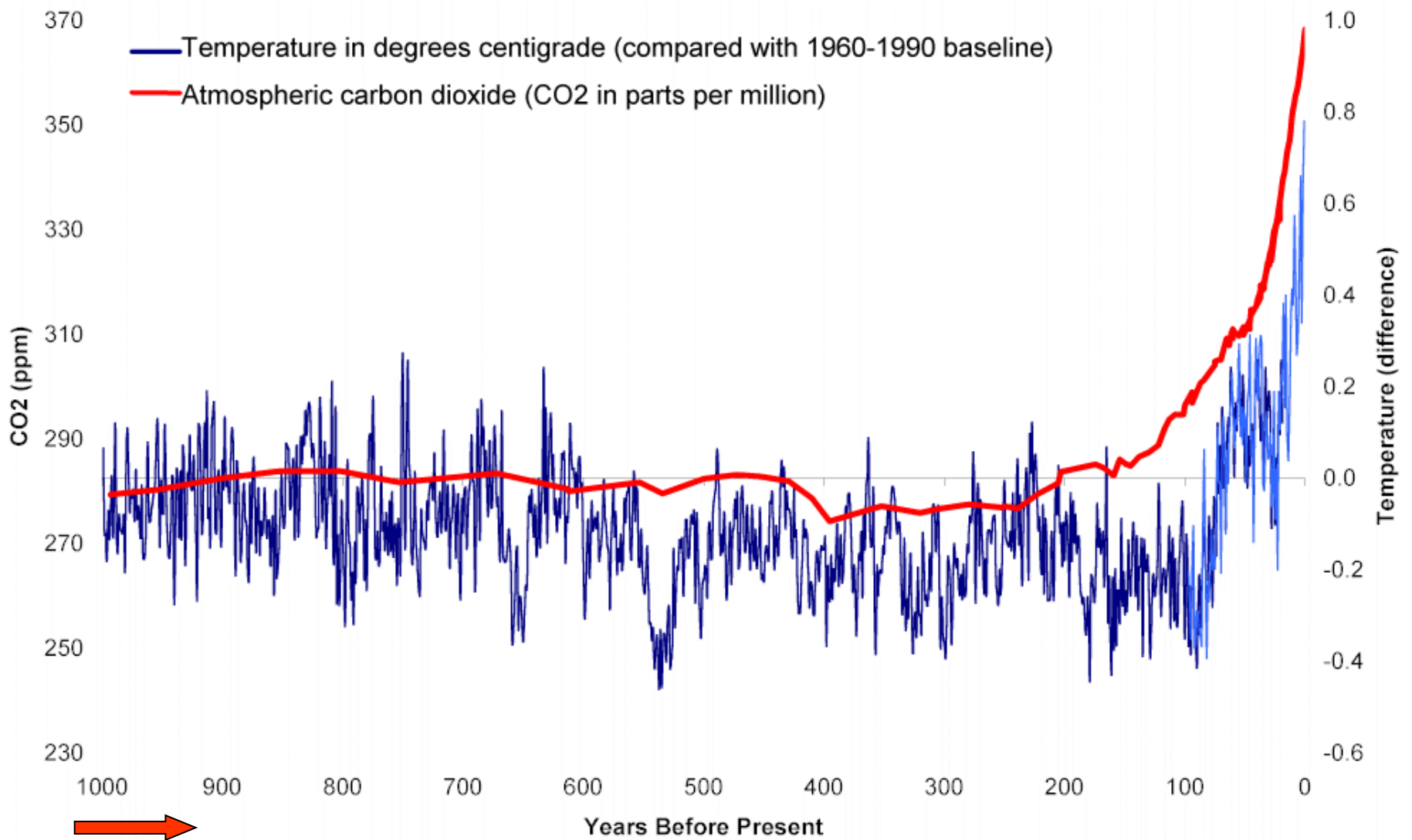
CH₄: + 150 ppb
in 5.000 anni

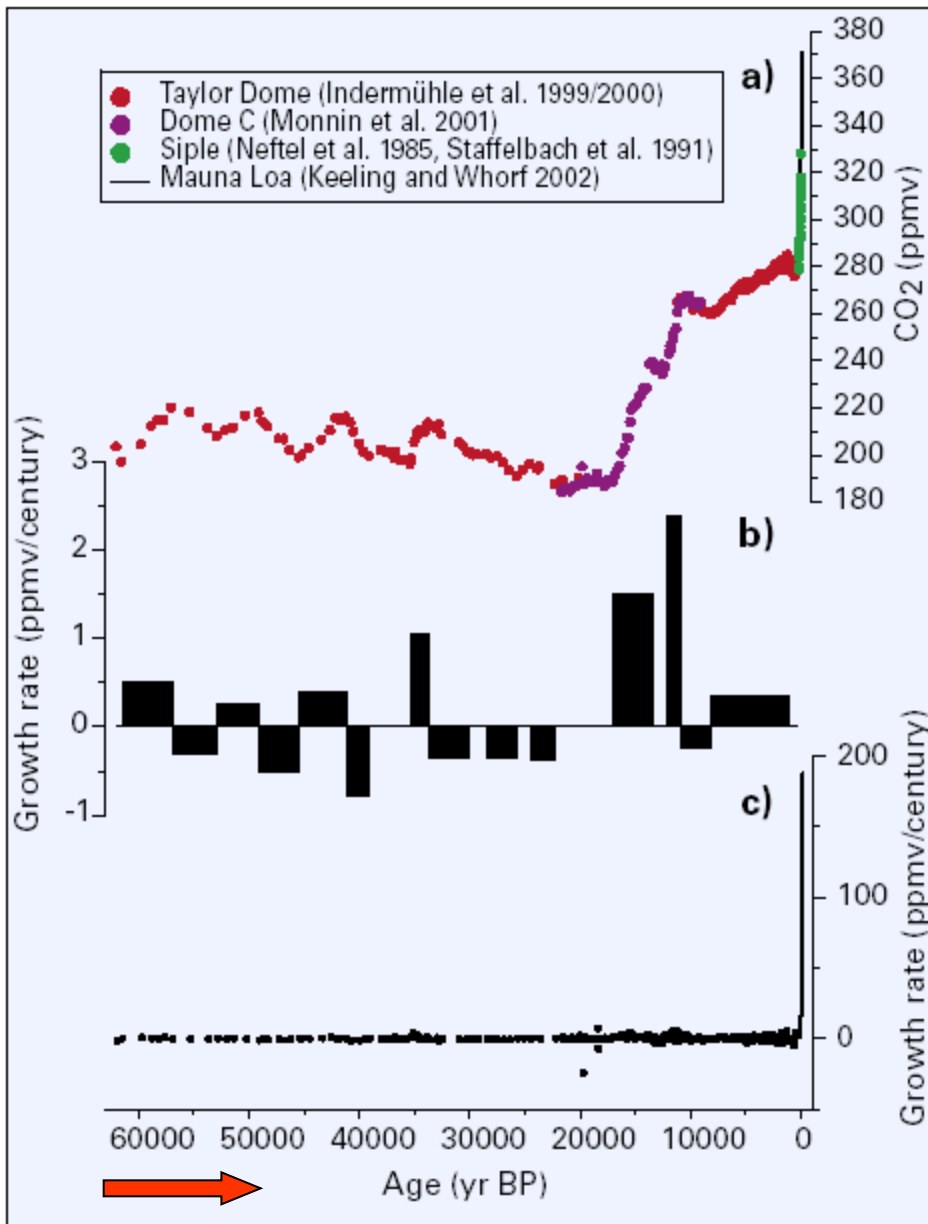
Methane and CO₂ during the Holocene



Variazione della CO_2 negli ultimi 10.000 anni (Taylor Dome) e negli ultimi 1.000 anni (Law Dome)







- (a) Variazione della CO₂ negli ultimi 60.000 anni
- (b) Tassi di variazione della CO₂ in parti per milione al secolo.
- (c) Il tasso di crescita della CO₂ negli ultimi 250 anni è circa 100 volte maggiore del più alto tasso conosciuto negli ultimi 60.000 anni.

LA PERTURBAZIONE UMANA NEL CICLO DEL CARBONIO

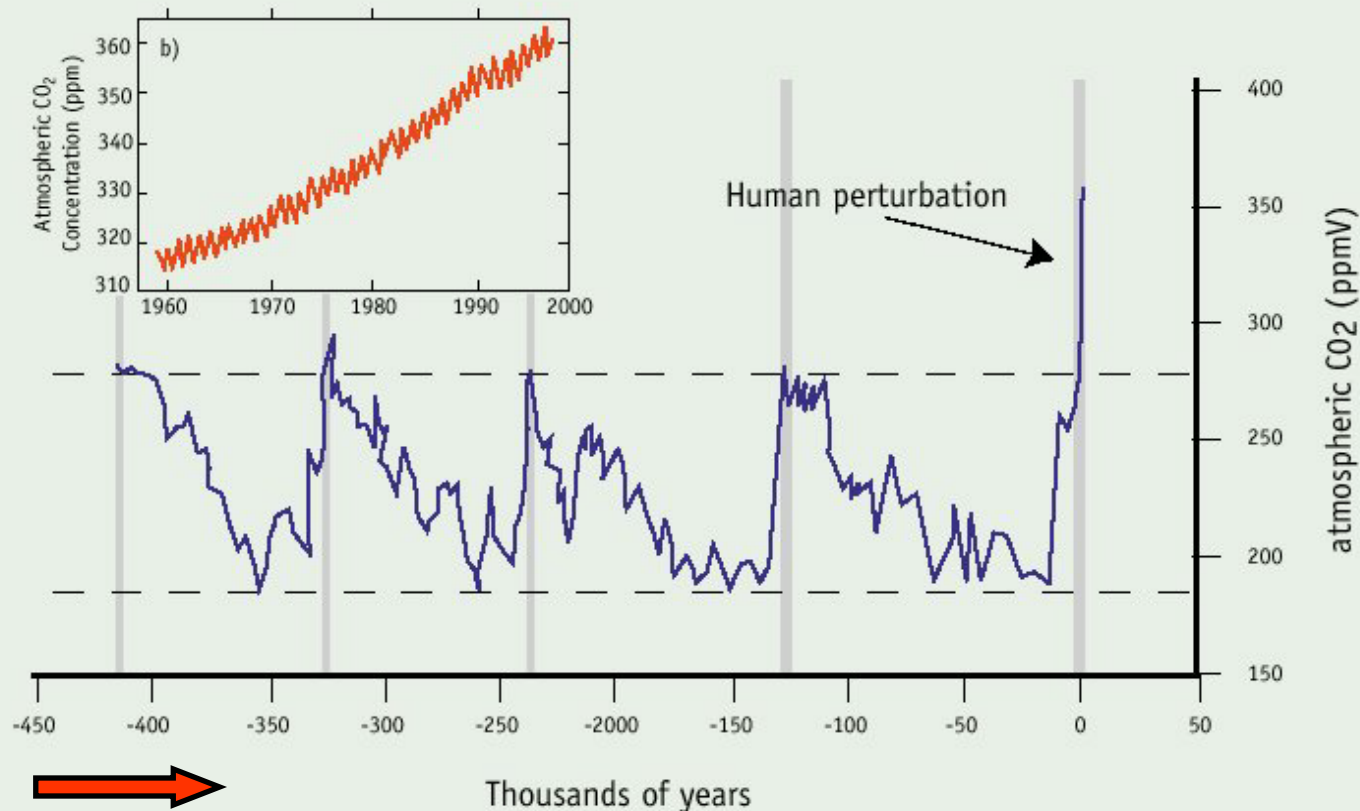
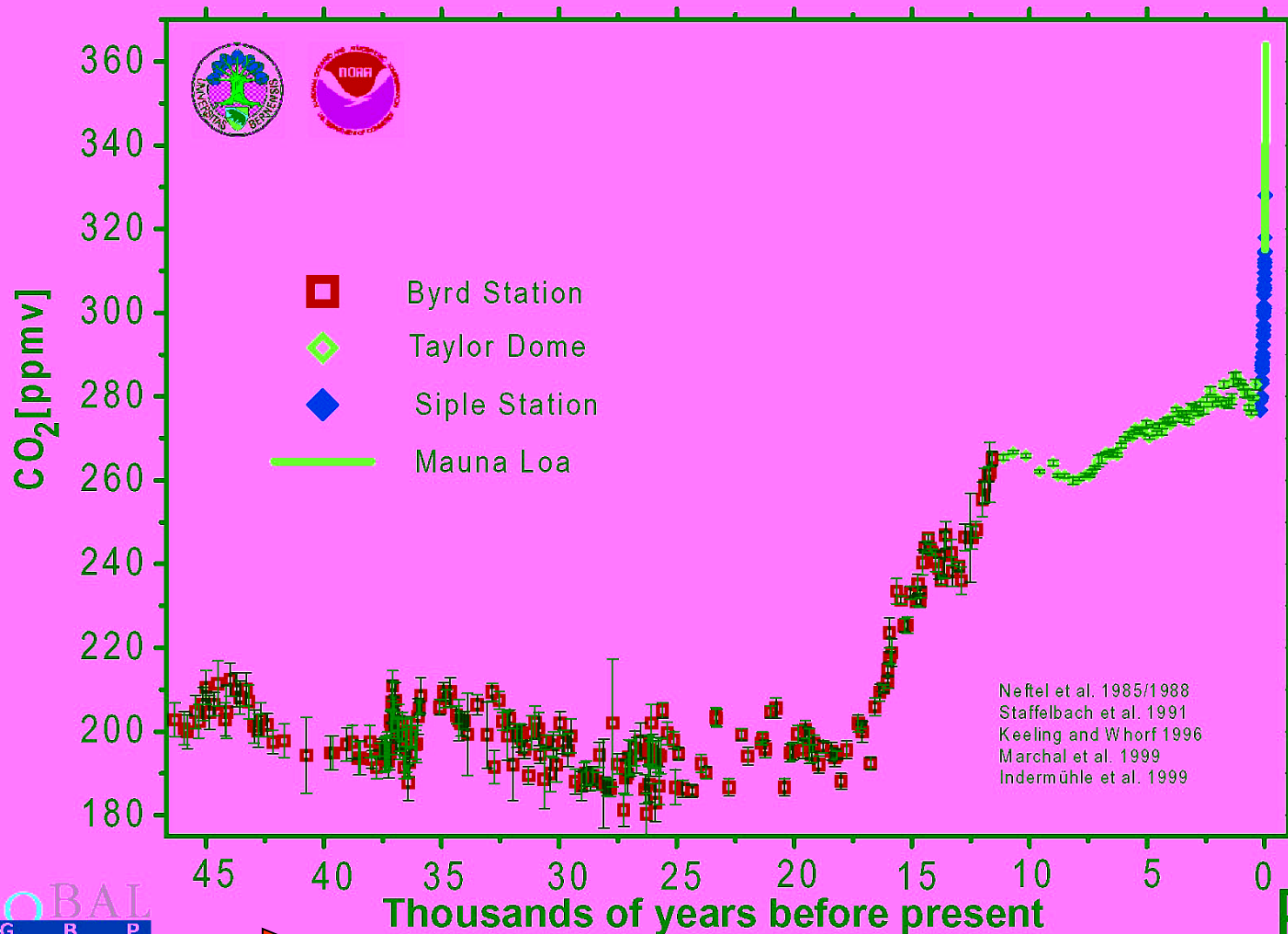


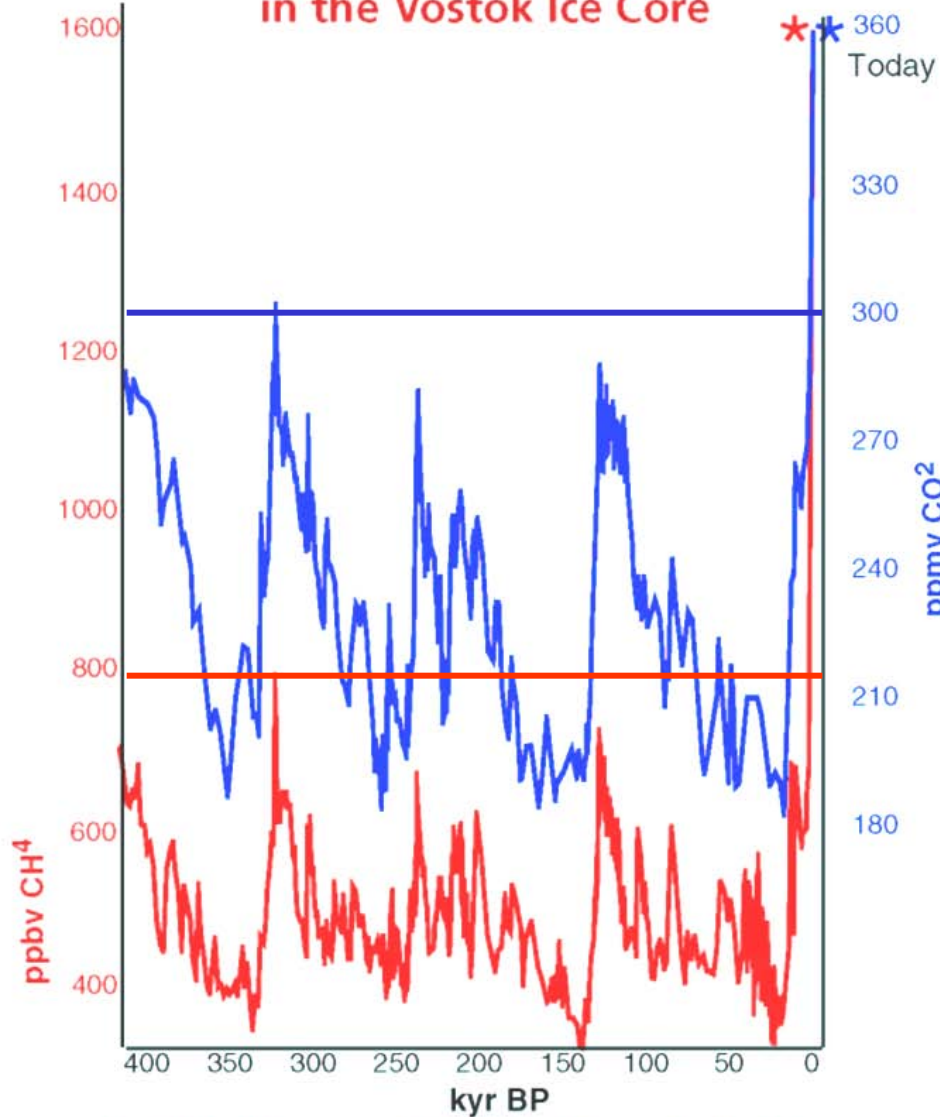
Figure 2 Atmospheric CO₂ concentration from the Vostok ice core record with the recent human perturbation superimposed. The inset shows the observed contemporary increase in atmospheric CO₂ concentration from the Mauna Loa (Hawaii) Observatory.

Sources: Petit et al. (1999) *Nature* 399, 429-436 and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA

Variazione della concentrazione della CO₂ negli ultimi 45.000 anni



Greenhouse Gases Recorded in the Vostok Ice Core



Past Global Changes and Their Significance for the Future

Alverson, Oldfield and Bradley eds.

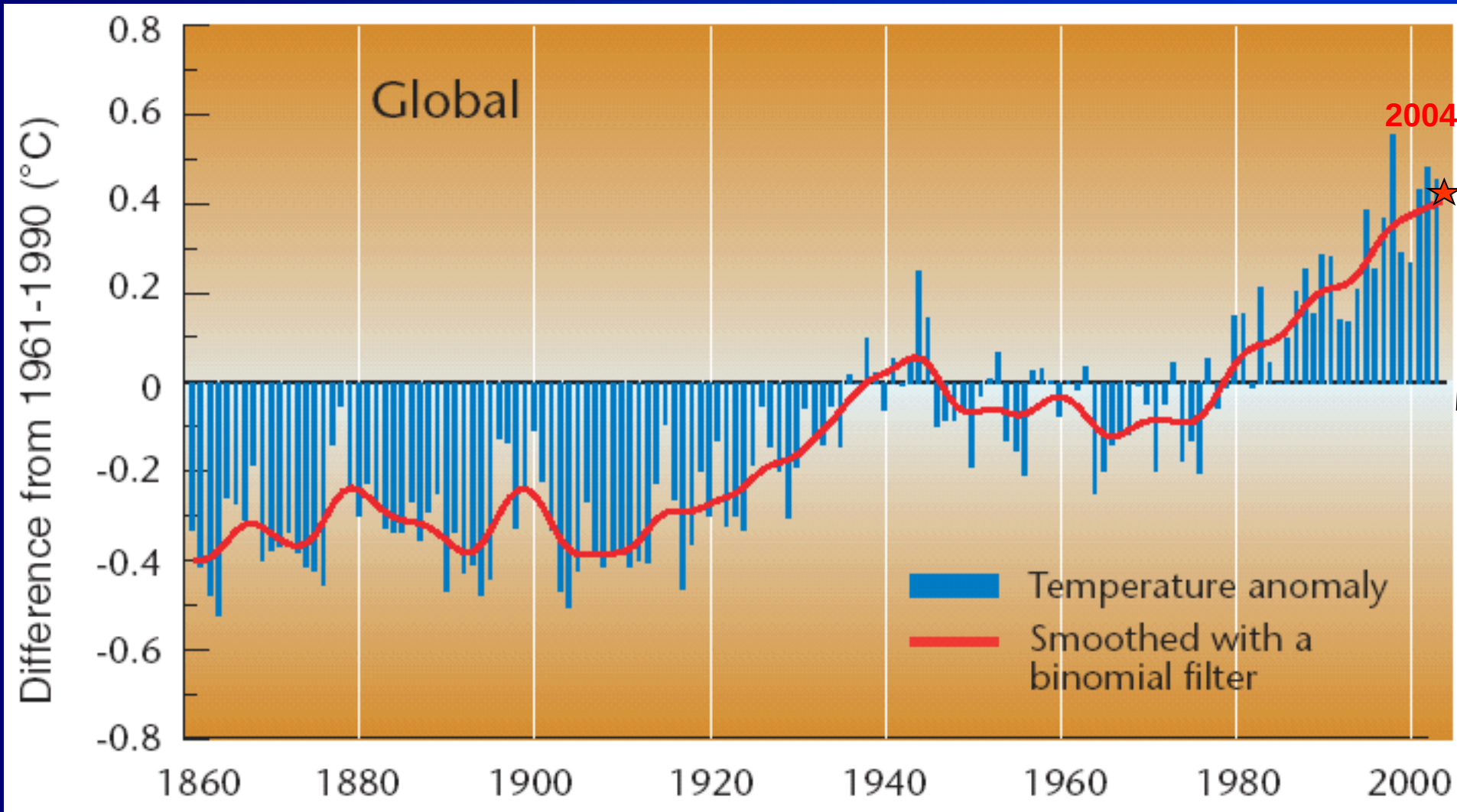
Raynaud et al. (2000) QSR, 19, 9-17

After Petit et al. (1999) Nature, 399, 429-436

PAGES
PAST GLOBAL CHANGES

LA PERTURBAZIONE UMANA NEL CICLO DEL CARBONIO

Variazioni temperatura media globale dal 1861 al 2004 rispetto alla media 1961-1990

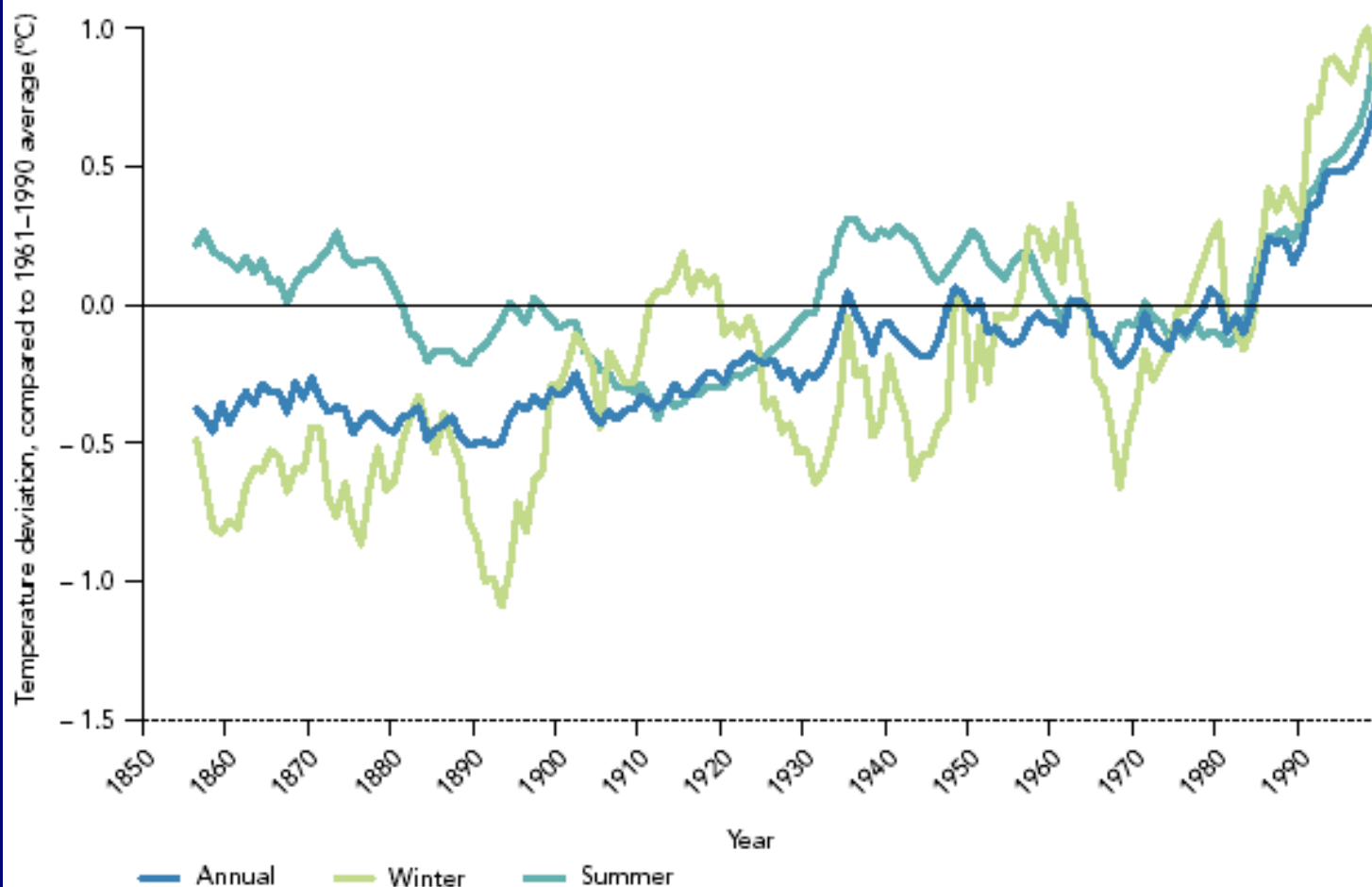


Il 2004 è stato il 4° anno più caldo dal 1861

I 10 ultimi anni (tranne uno) sono stati i più caldi dal 1861

WMO, 2003, 2004

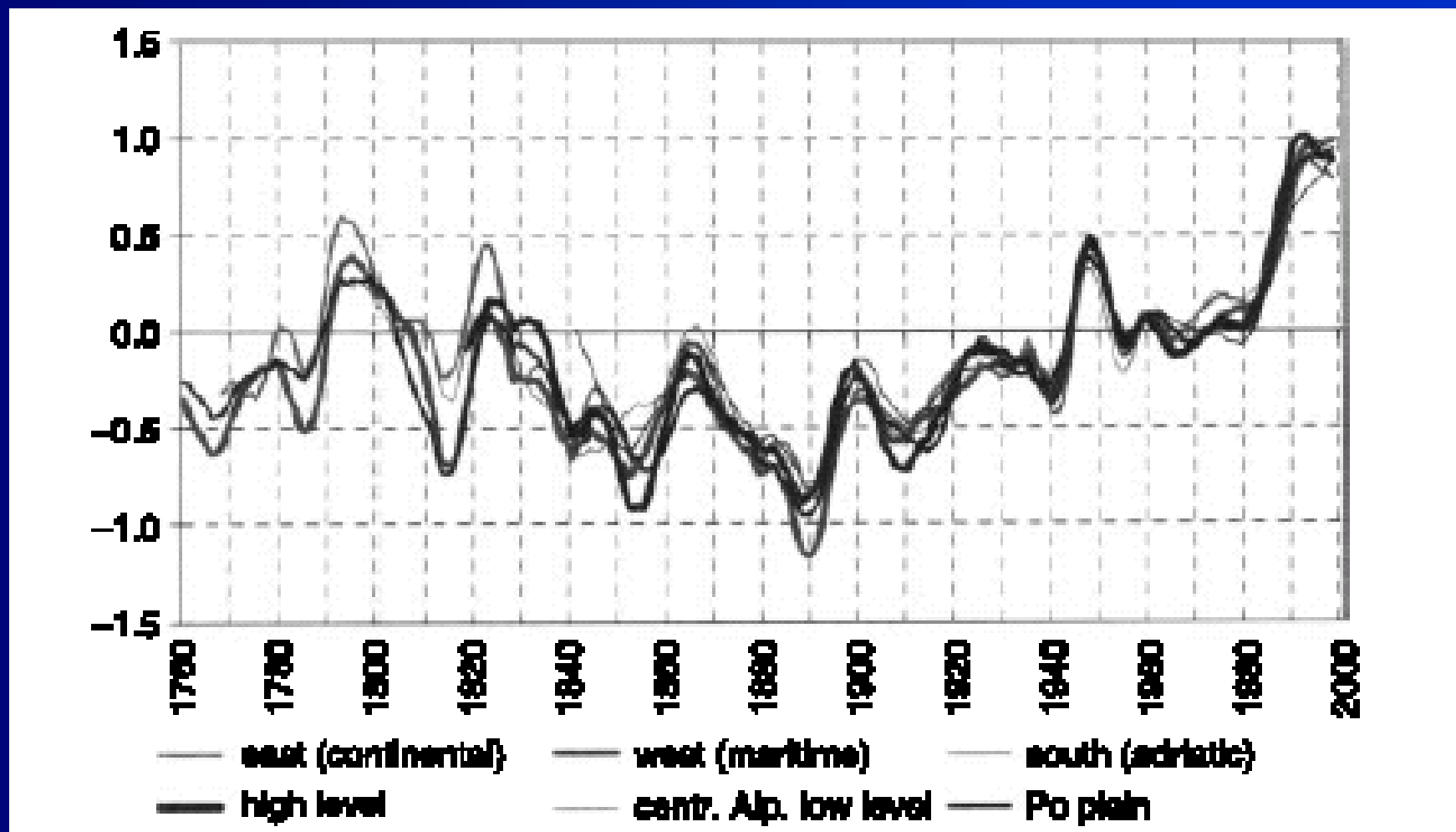
Figure 3.3 Observed annual, winter and summer temperature deviations in Europe



Source: CRU, 2003; Jones and Moberg, 2003.

La temperatura media annua in Europa è cresciuta di $0,95^{\circ}\text{C}$ dal 1900
(European Environmental Agency, 2004)

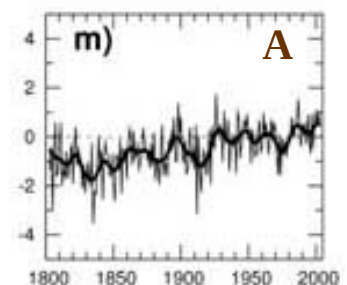
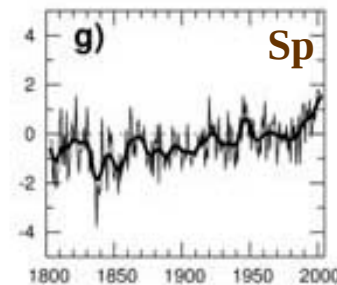
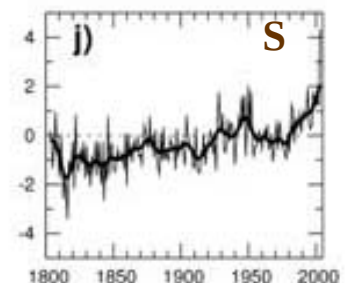
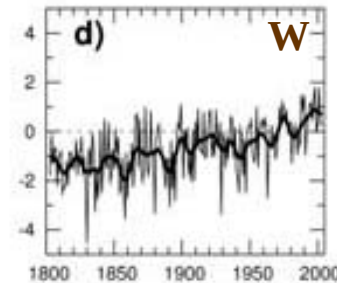
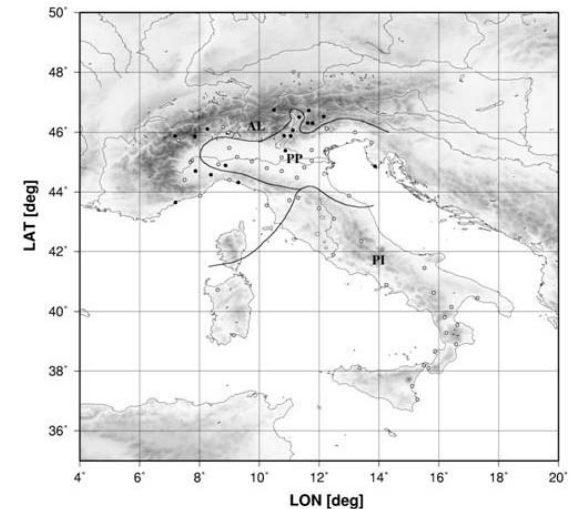
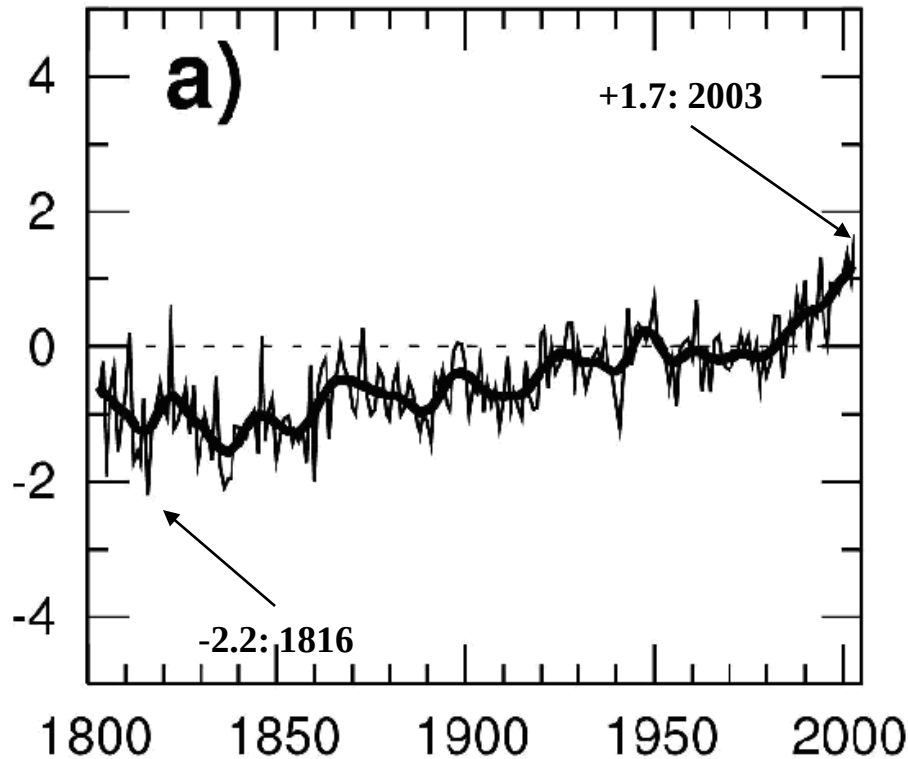
Deviazioni temperatura media annua nelle Alpi negli ultimi 240 anni



Alcuni risultati: le temperature

REGIONALIZZAZIONE (Principal Component Analysis)

ANDAMENTI: ANNO E STAGIONI



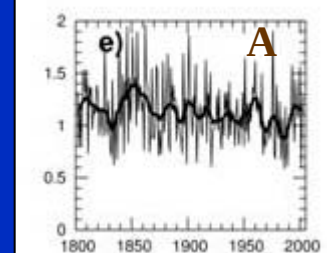
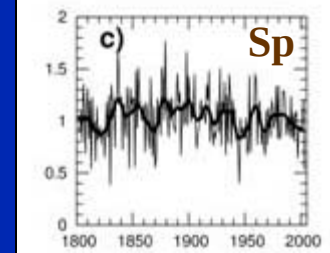
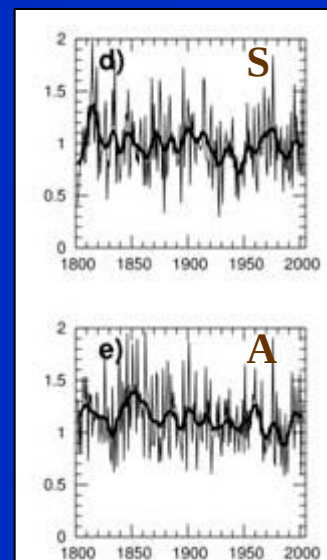
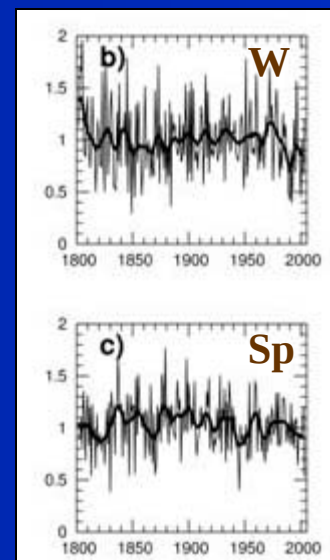
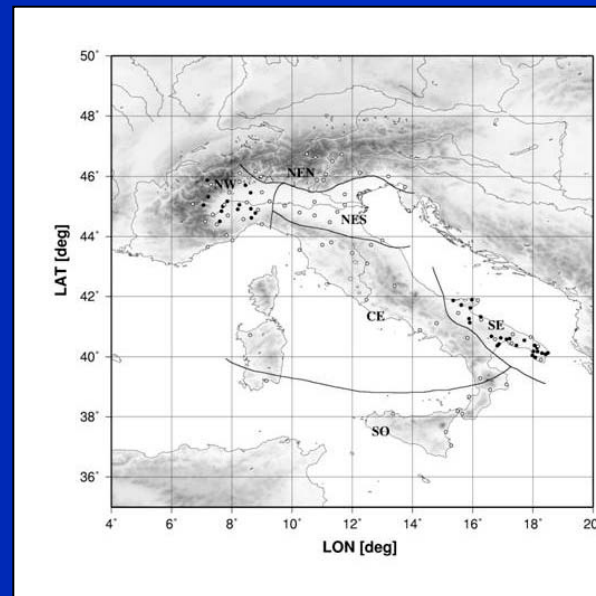
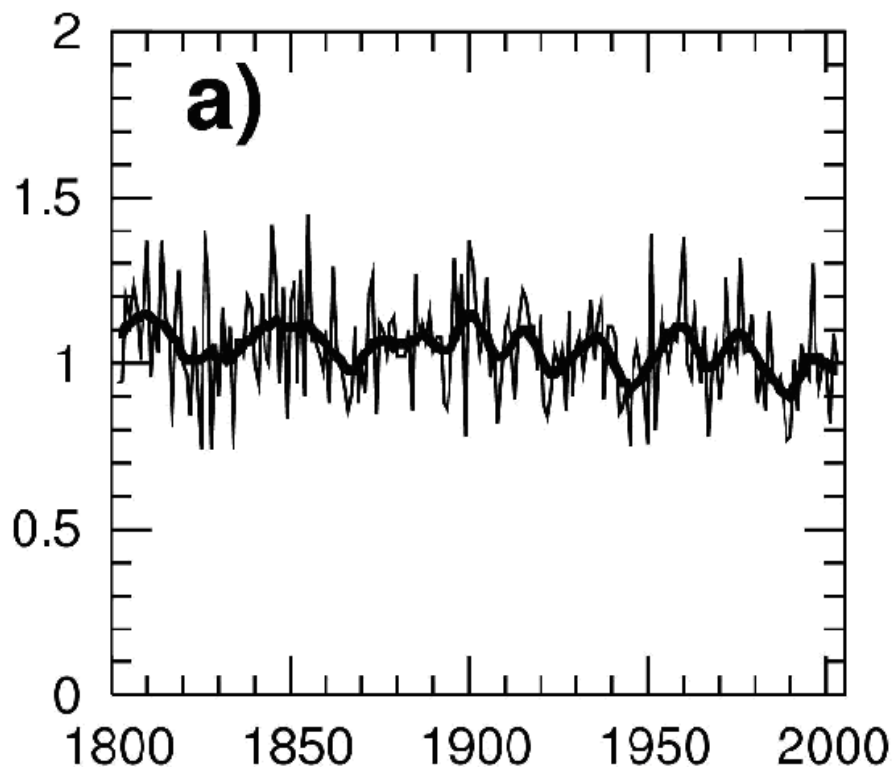
Brunetti M, Maugeri M, Monti F, Nanni T. 2005. *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series.*

Int. J. Climatol. (submitted)

Alcuni risultati: le precipitazioni

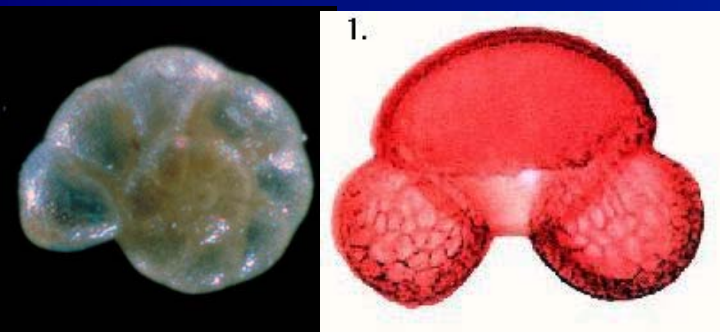
REGIONALIZZAZIONE (Principal Component Analysis)

ANDAMENTI ANNUALE E STAGIONALE



Brunetti M, Maugeri M, Monti F, Nanni T. 2005. *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series.*

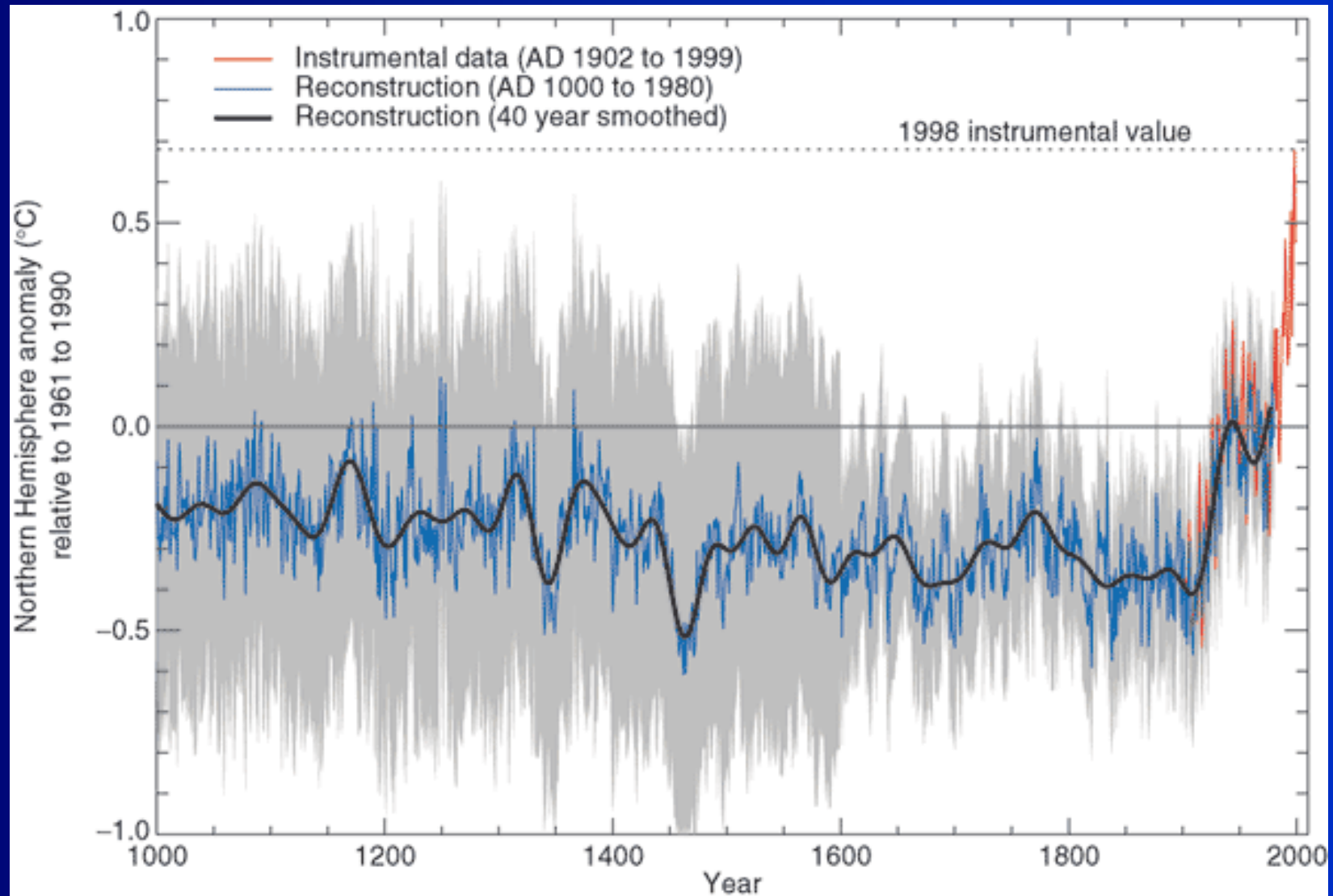
Int. J. Climatol. (submitted)

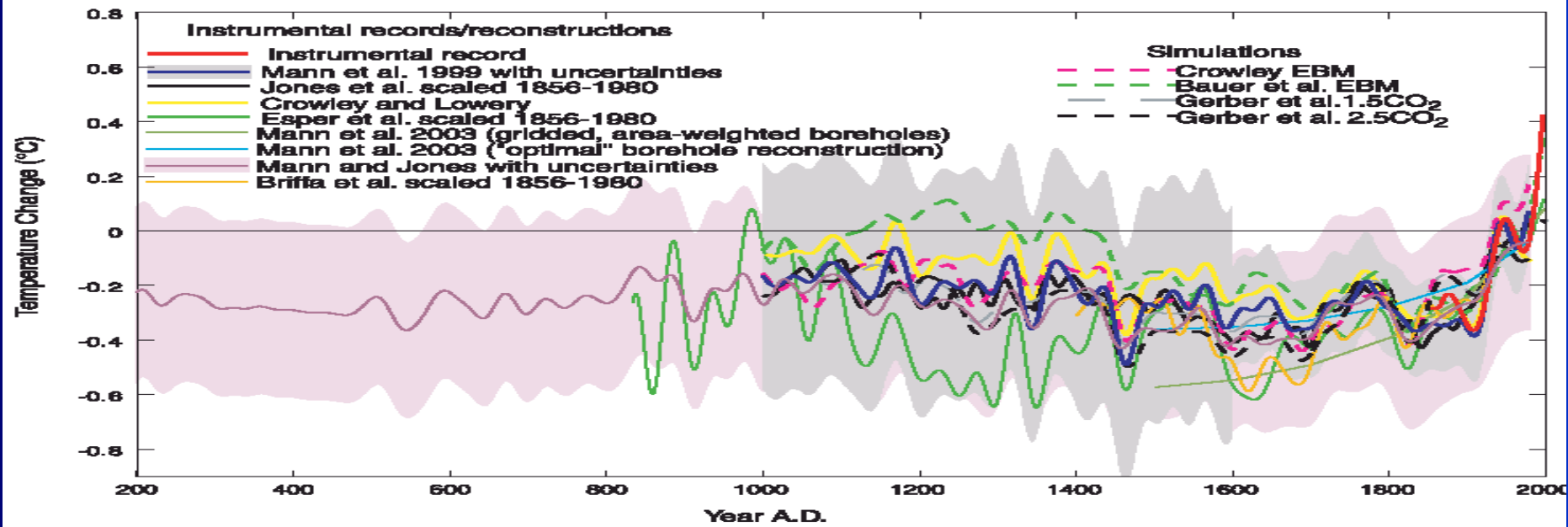


Archivi naturali
del clima

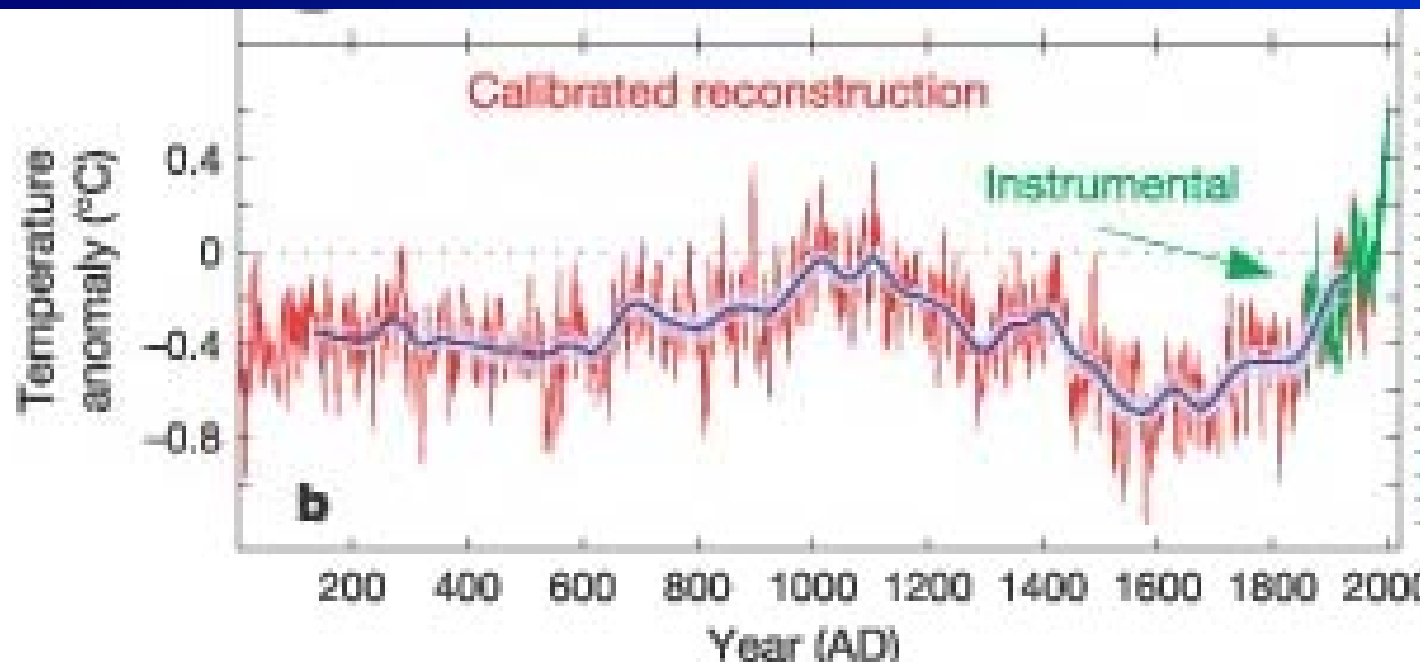


Variazioni temperatura media annua emisfero Nord: anelli degli alberi, coralli, carote di ghiaccio, documenti storici (blu) e dati strumentali (rosso) ultimi 1000 anni. Media mobile (nero), intervallo di confidenza 2σ (grigio).

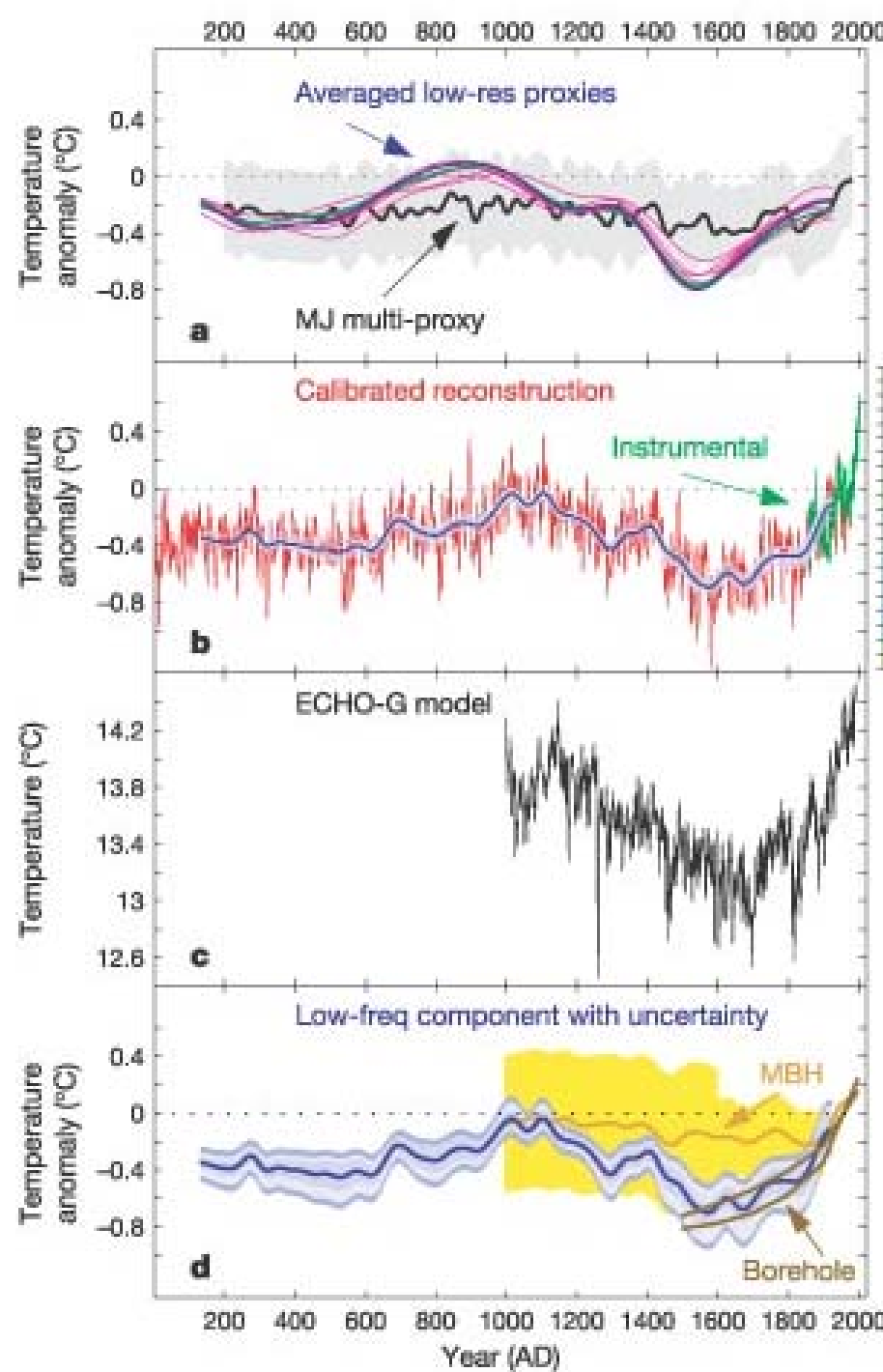




Variabilità secolare negli ultimi 2000 anni *Mann et al., 2003*



Moberg et al., 2005



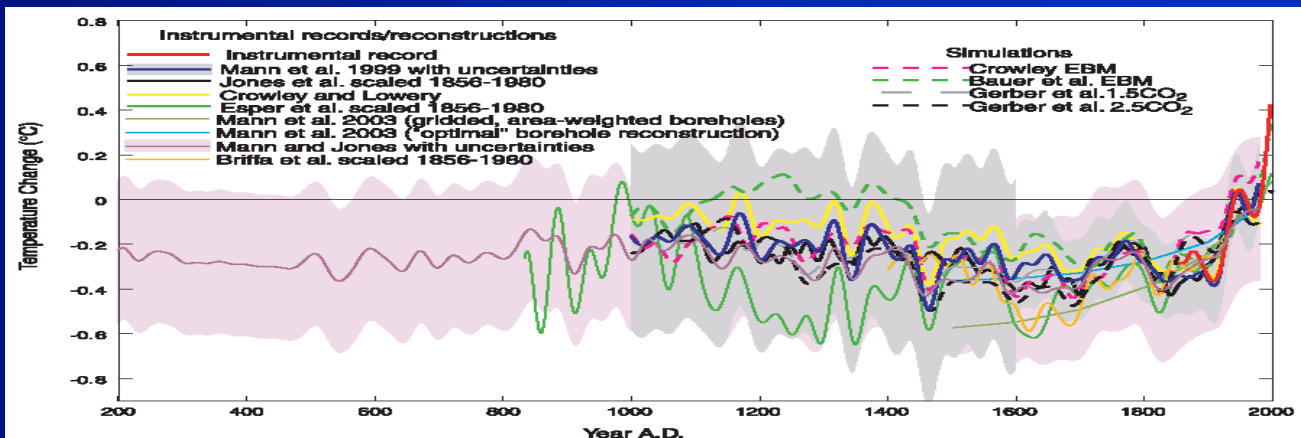
Temperature
anomaly (°C)

Calibrated reconstruction

Instrumental

b

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000
Year (AD)

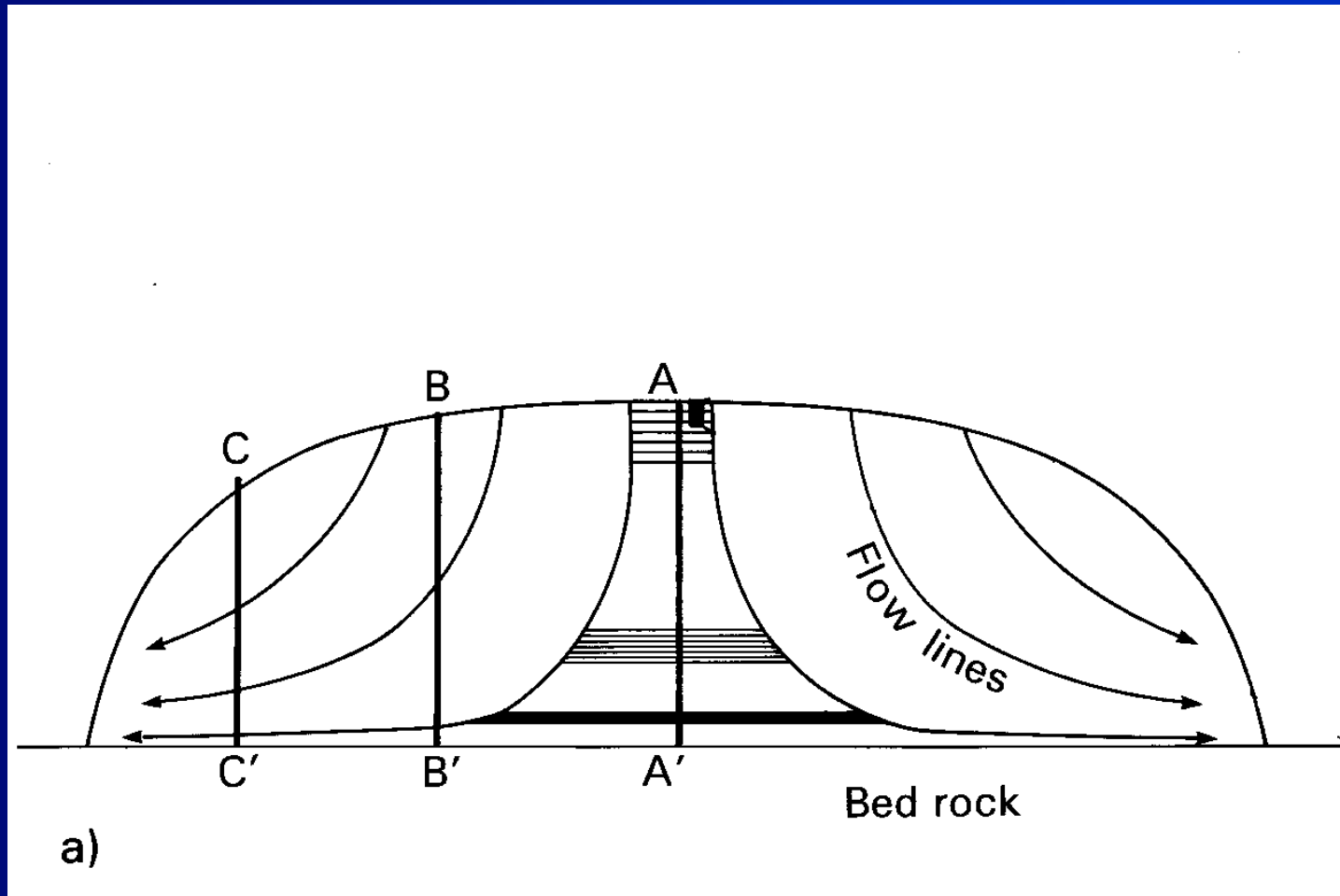


Ghiacciai polari



Ghiacciai montani

Schema di una calotta glaciale polare con linee di flusso divergenti dal centro alla periferia.



Carotaggi profondi in ghiaccio GROENLANDIA



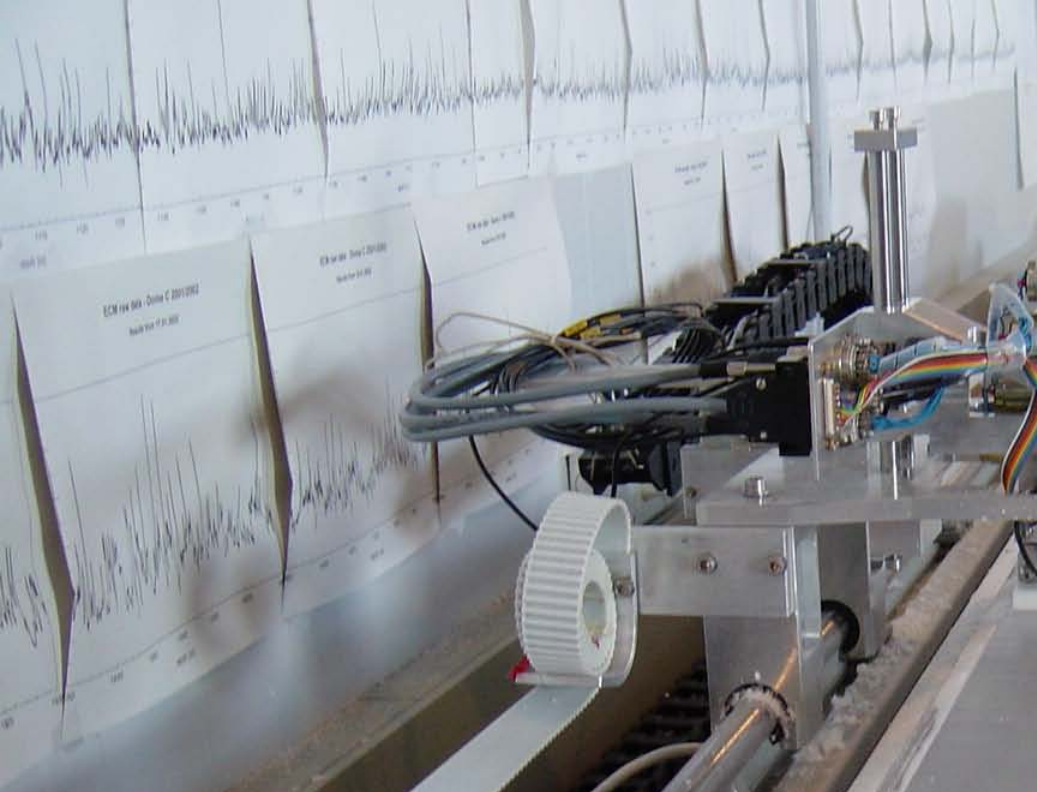
Carotaggi profondi in ghiaccio ANTARTIDE





Il campo estivo di EPICA/DC presso la Stazione Concordia

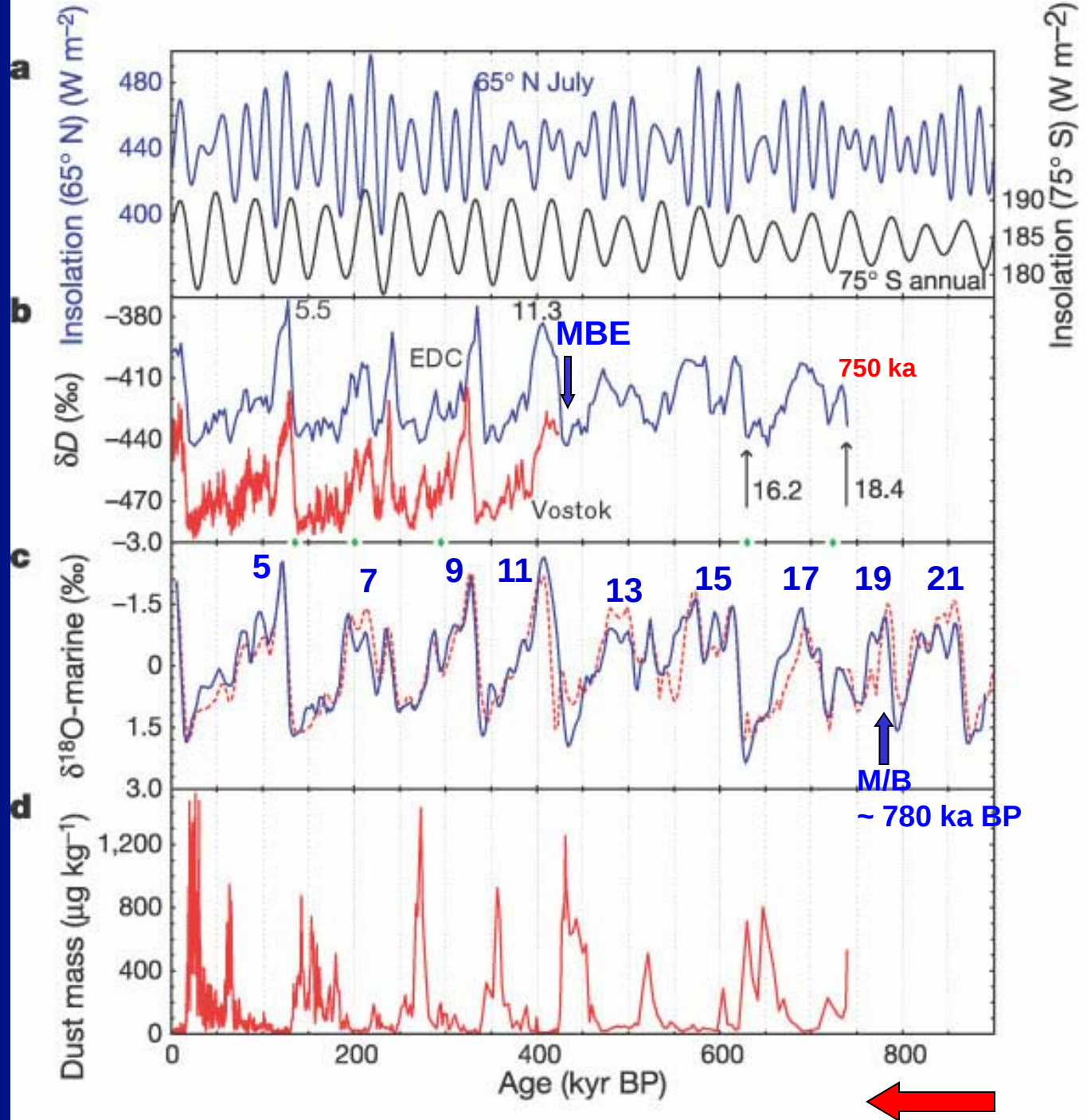




1 2:33

EPICA DC

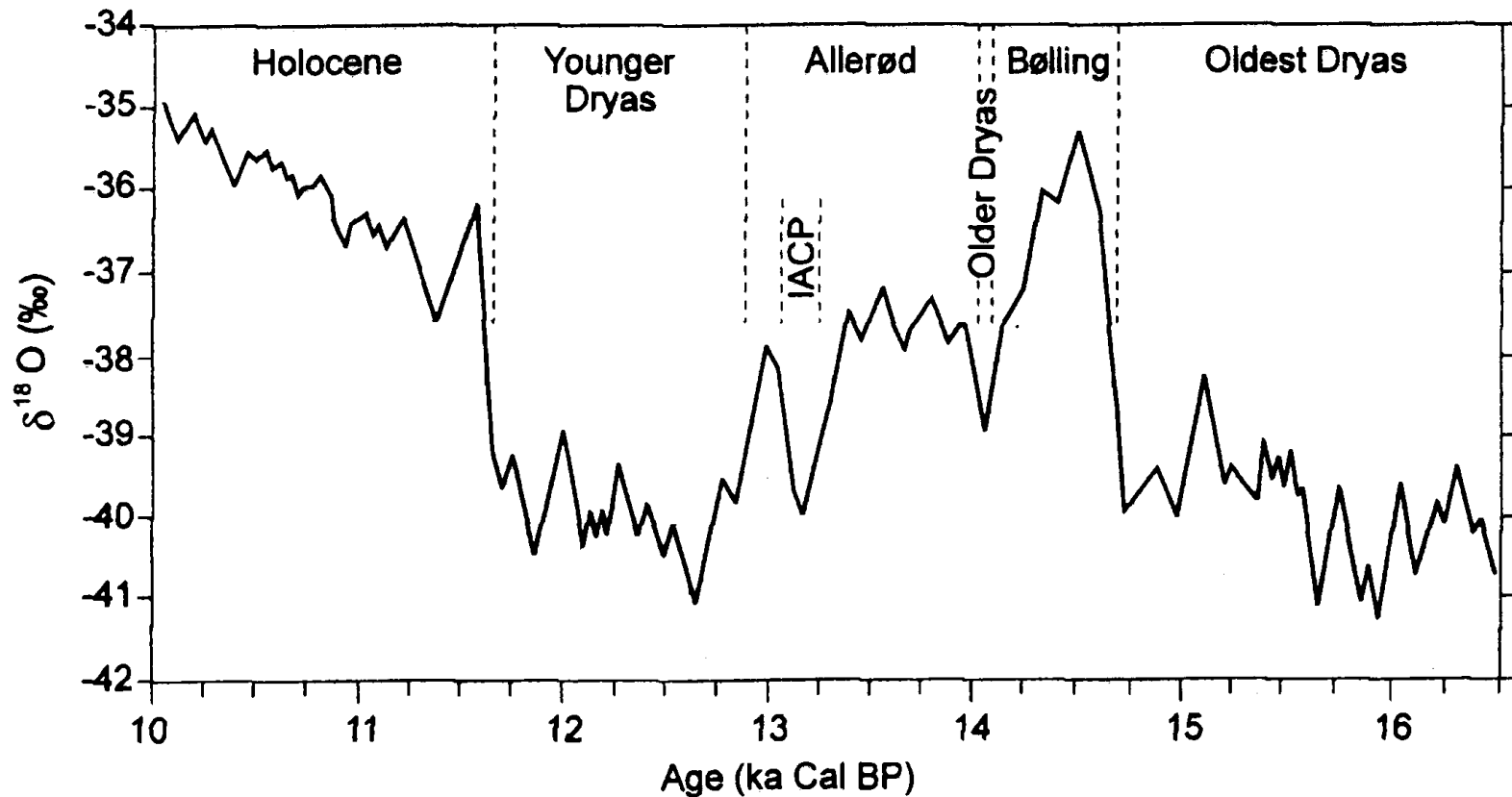
Confronto
curve
isotopiche e
polveri EPICA,
con curve
isotopiche
Vostok e
“marina” e con
curve
insolazione



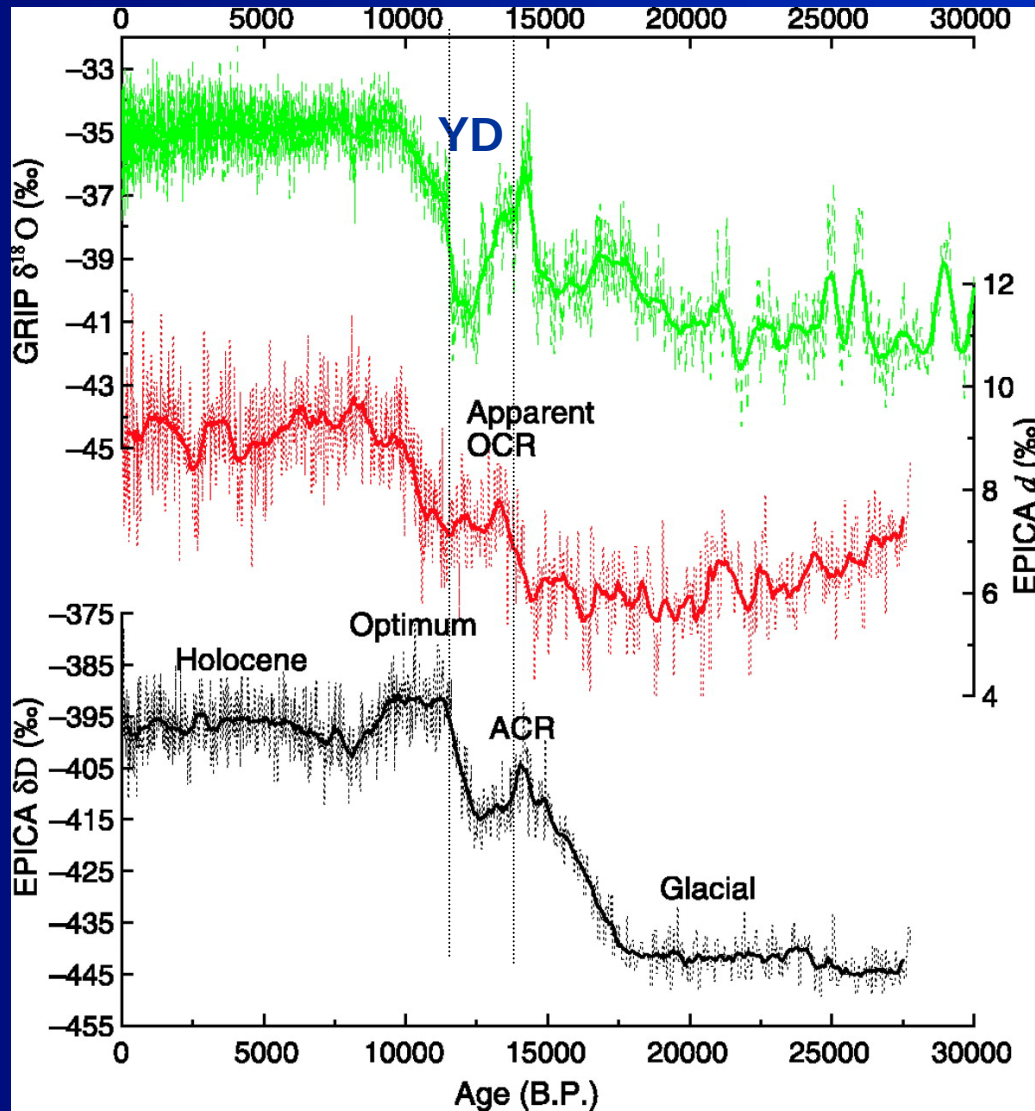
*EPICA community
members, 2004*

Ultima deglaciazione: curva d¹⁸O (GISP2)

Esempi di radicali cambiamenti climatici repentini (pochi decenni)

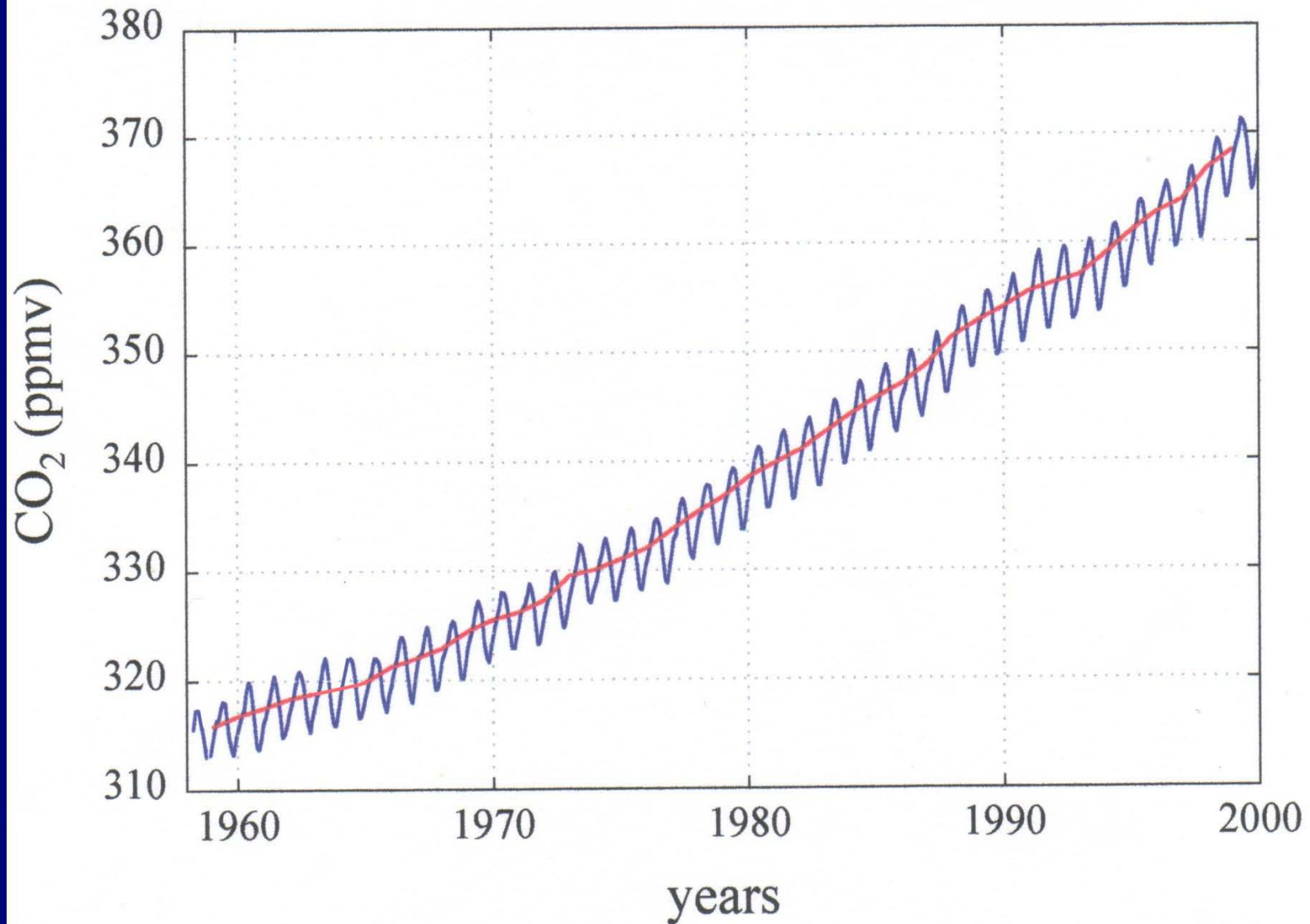


Le variazioni climatiche della durata del millennio non sono in fase nei due emisferi

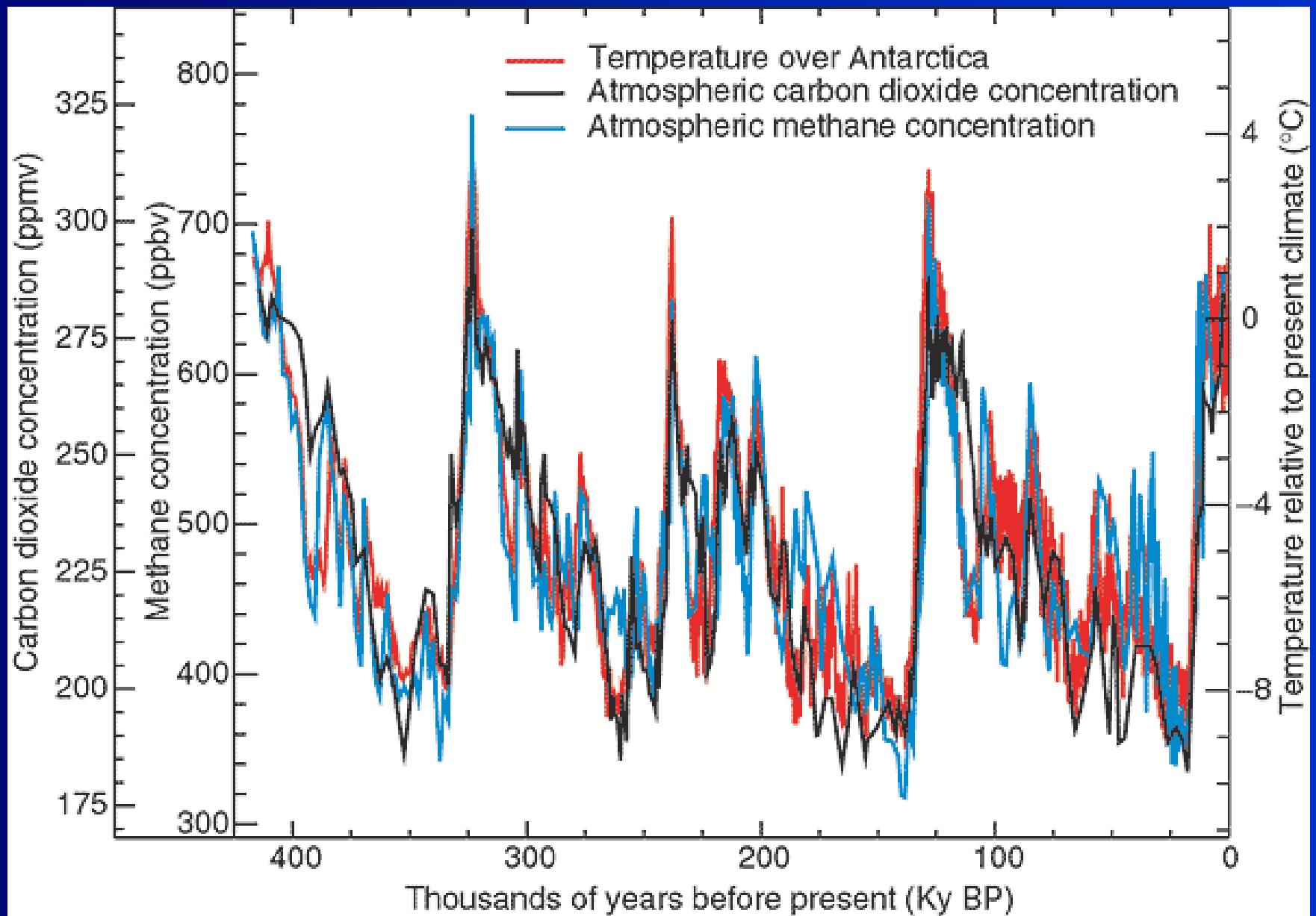


da Stenni et al., 2001

Mauna Loa CO₂ record

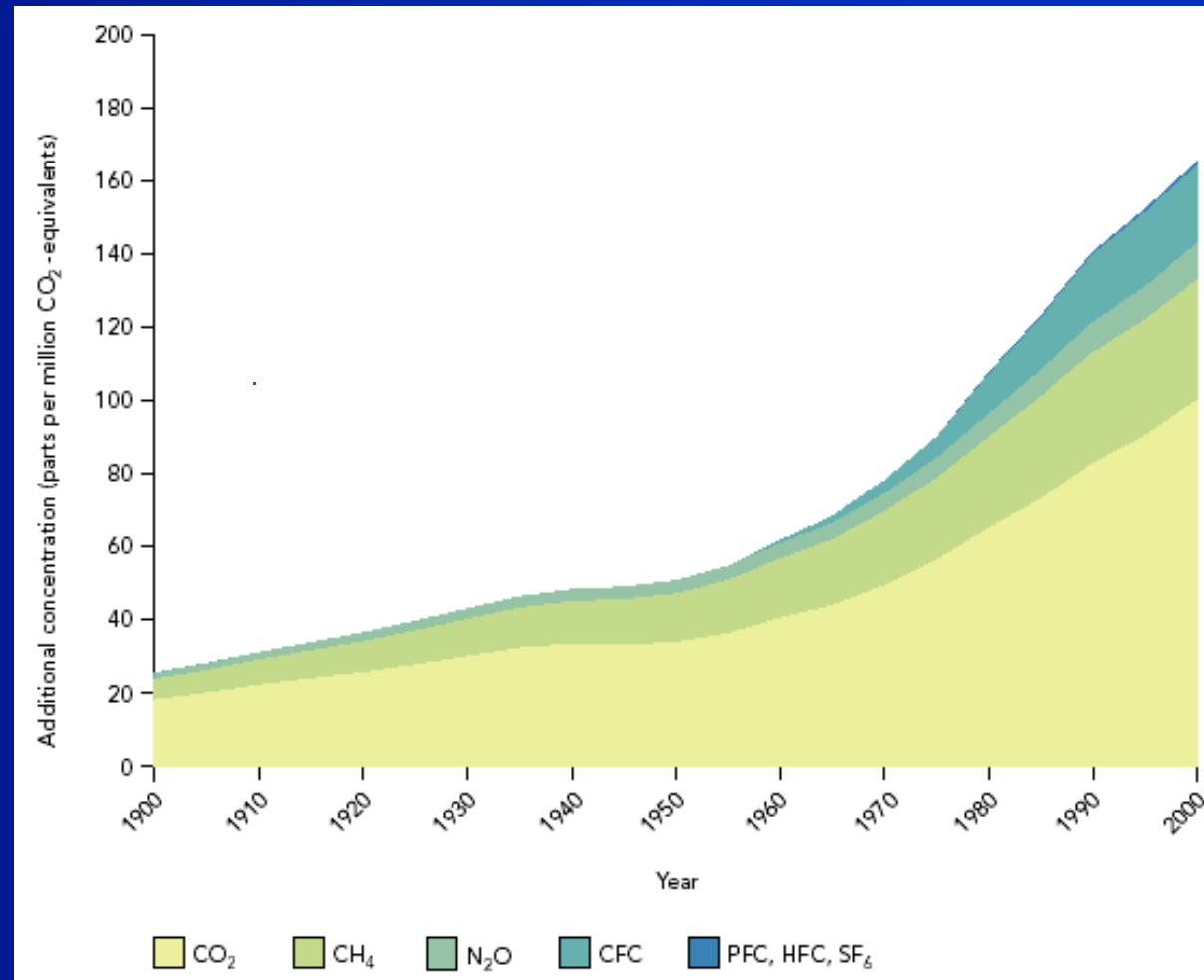


I gas serra (CO₂, metano) variano in fase con la temperatura

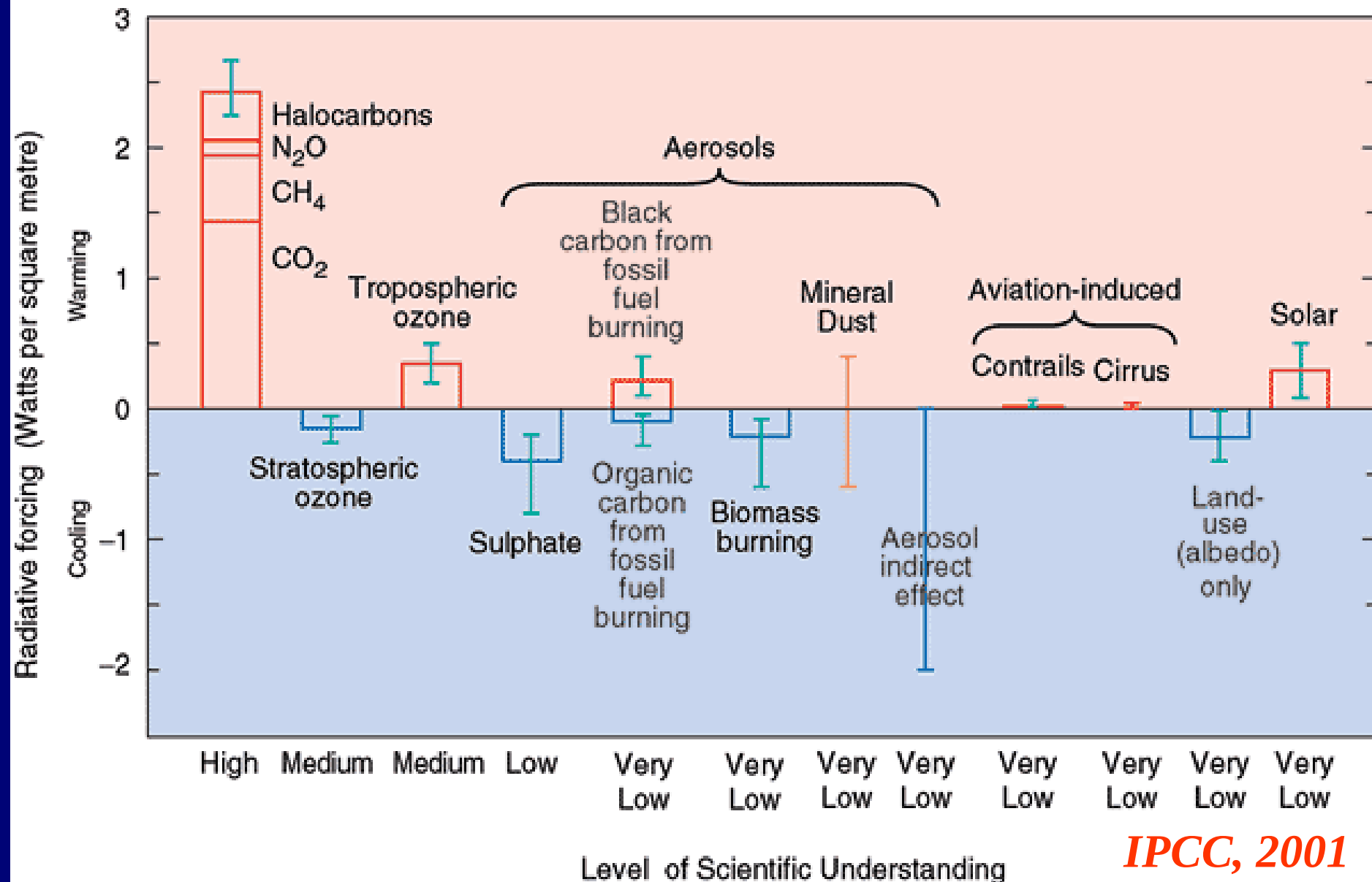


L'aumento dei gas ad effetto serra nell'ultimo secolo
A seguito delle attività umane la concentrazione della CO₂
è aumentata del 34%, con un'accelerazione a partire dal 1950.
Dall'epoca preindustriale (1750)

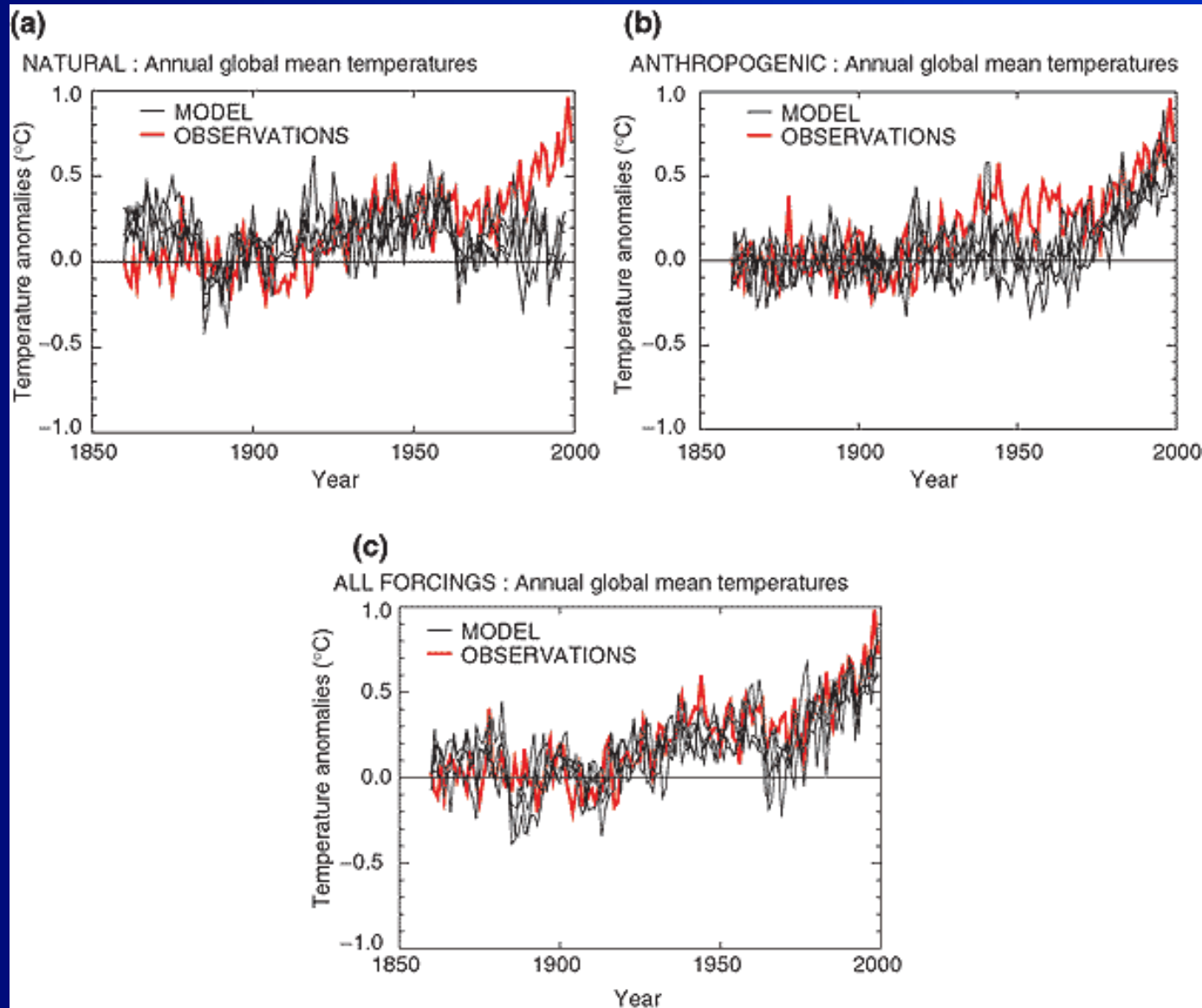
l'aumento totale dei
gas-serra equivale
ad un aumento
di 170 ppm di CO₂
(61% CO₂, 19 % metano,
13 % CFC/HCFC, 6% No_x)



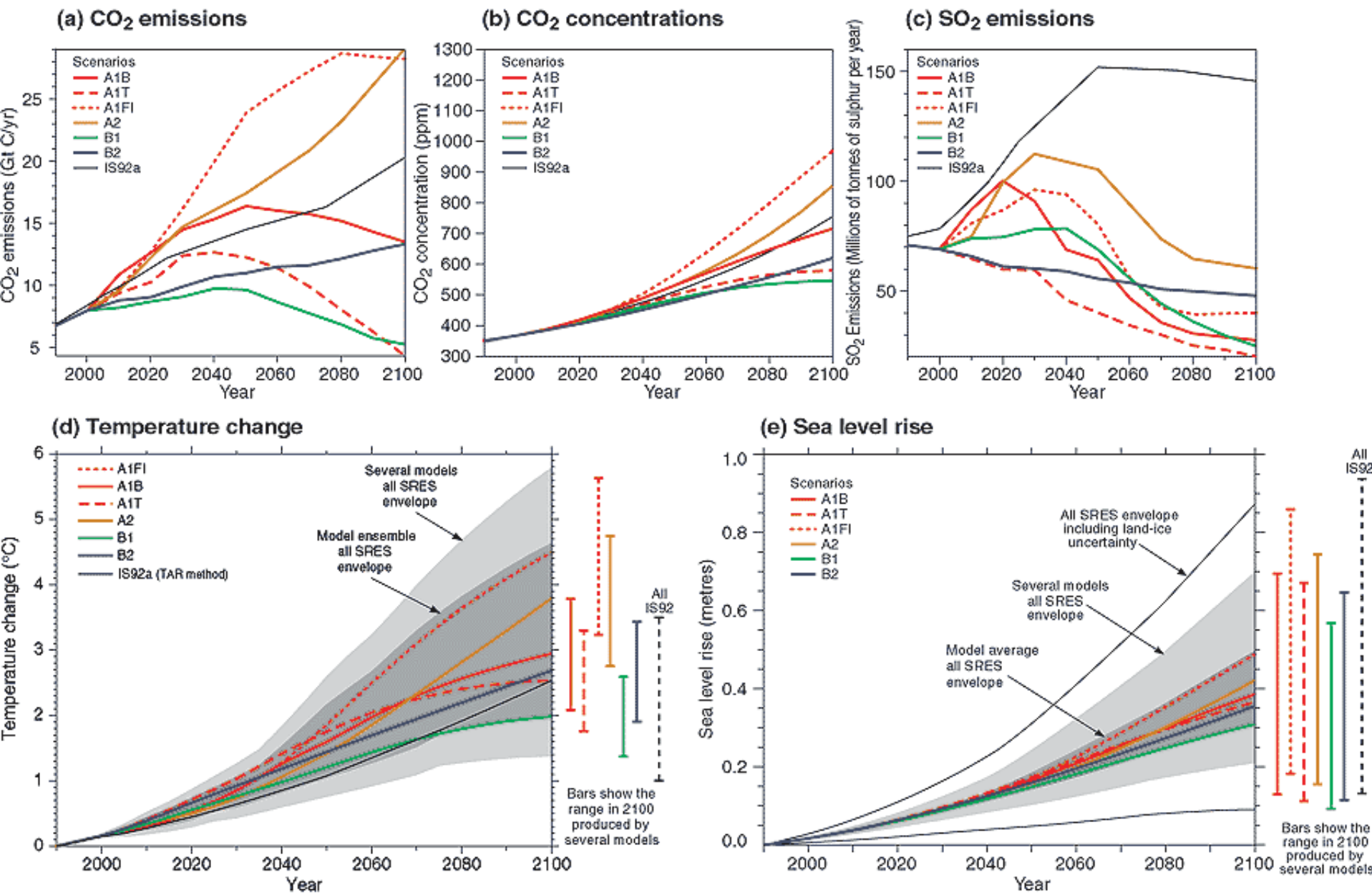
The global mean radiative forcing of the climate system for the year 2000, relative to 1750



Simulazioni temperature medie annue globali vs dati osservati



Scenari climatici per il XXI secolo (IPCC, 2001)



Cambiamenti osservati seconda metà XX sec. (attendibilità)	Cambiamenti climatici <i>IPCC, 2001</i>	Cambiamenti previsti XXI sec. (probabilità)
Attendibile	Temperature massime più elevate e maggior numero di giorni torridi	Molto probabile (90-99%)
Molto attendibile	Temperature minime più elevate e minor numero di giorni di gelo	Molto probabile (90-99%)
Molto attendibile	Escursione termica diurna più ridotta	Molto probabile (90-99%)
Attendibile	Aumento dell'indice di calore	Molto probabile (90-99%)
Attendibile medie/alte latitudini emisfero Nord	Precipitazioni intense più frequenti	Molto probabile (90-99%) in molte aree
Attendibile in alcune aree	Aumento periodi siccitosi estivi	Probabile (66-90%) in molte aree continentali interne medie latitudini
Non osservato nelle analisi disponibili	Aumento intensità del vento nei cicloni tropicali	Probabile (66-90%) in alcune aree
Dati insufficienti	Aumento intensità precipitazioni cicloni tropicali	Probabile (66-90%) in alcune aree

Cambiamenti climatici	Effetti previsti (alcuni esempi) <i>IPCC, 2001</i>
Temperature massime più elevate e maggior numero di giorni torridi (<i>Molto probabile</i>) Aumento dell'indice di calore (<i>Molto probabile</i>)	Aumento mortalità negli anziani/indigenti nelle città Aumento stress termico nel bestiame di allevamento Cambiamenti nei flussi turistici Aumento consumi energia elettrica per condizionatori e rischi connessi
Temperature minime più elevate e minor numero di giorni di gelo (<i>Molto probabile</i>)	Diminuzione morbidità e mortalità umana dovuta al freddo Ampliamento delle aree endemiche di vettori di malattie infettive Riduzione domanda energetica per riscaldamento
Precipitazioni intense più frequenti (<i>Molto probabile</i>)	Aumento frequenza alluvioni, frane, valanghe Aumento erosione del suolo Possibile rimpinguamento falde acquifere Maggior pressione sui sistemi assicurativi pubblici e privati
Aumento periodi siccitosi estivi (<i>probabile</i>)	Diminuzione produzione agricola Riduzione quantità/qualità risorse idriche Aumento rischio incendi boschivi
Aumento intensità del vento/ precipitazioni nei cicloni tropicali (<i>probabile</i>)	Aumento rischi perdita vite umane, epidemie infettive Aumento erosione costiera e danni a edifici e infrastrutture Aumento danni a ecosistemi costieri (scogliere coralline, mangrovie)

La geologia, attraverso l'analisi delle informazioni contenute negli archivi naturali del clima, ci consente di conoscere la variabilità climatica e il funzionamento del sistema climatico nel tempo

Il riscaldamento climatico del XX secolo: effetti sul Ghiacciaio dei Forni



circa 1890

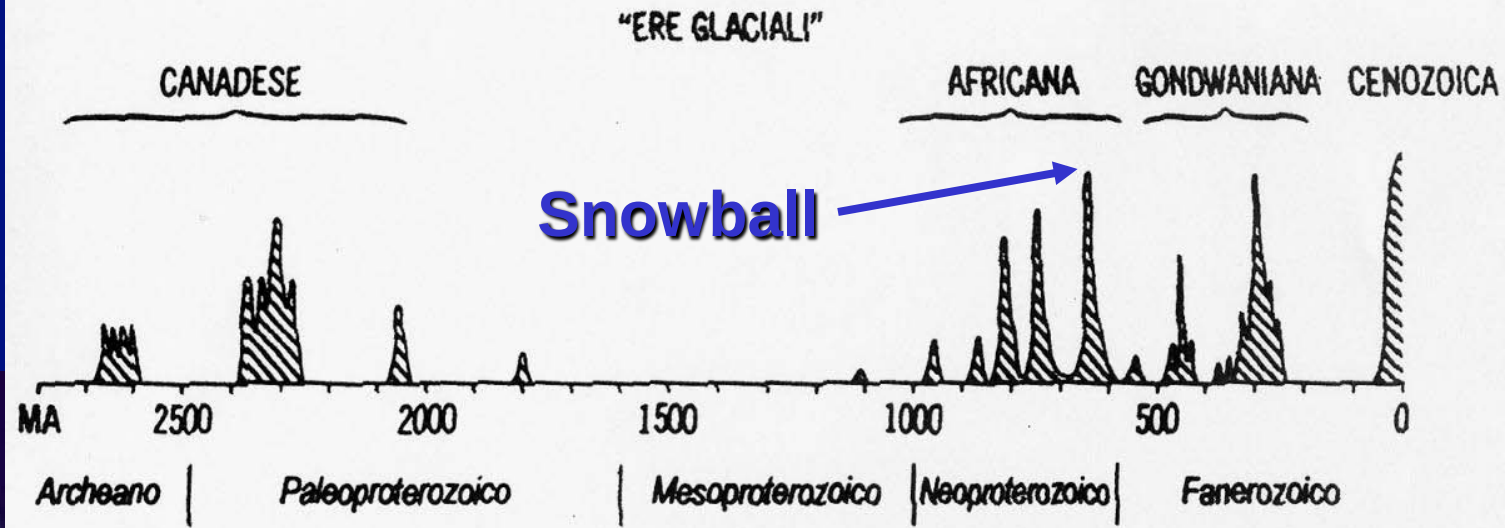


Foto Folladori

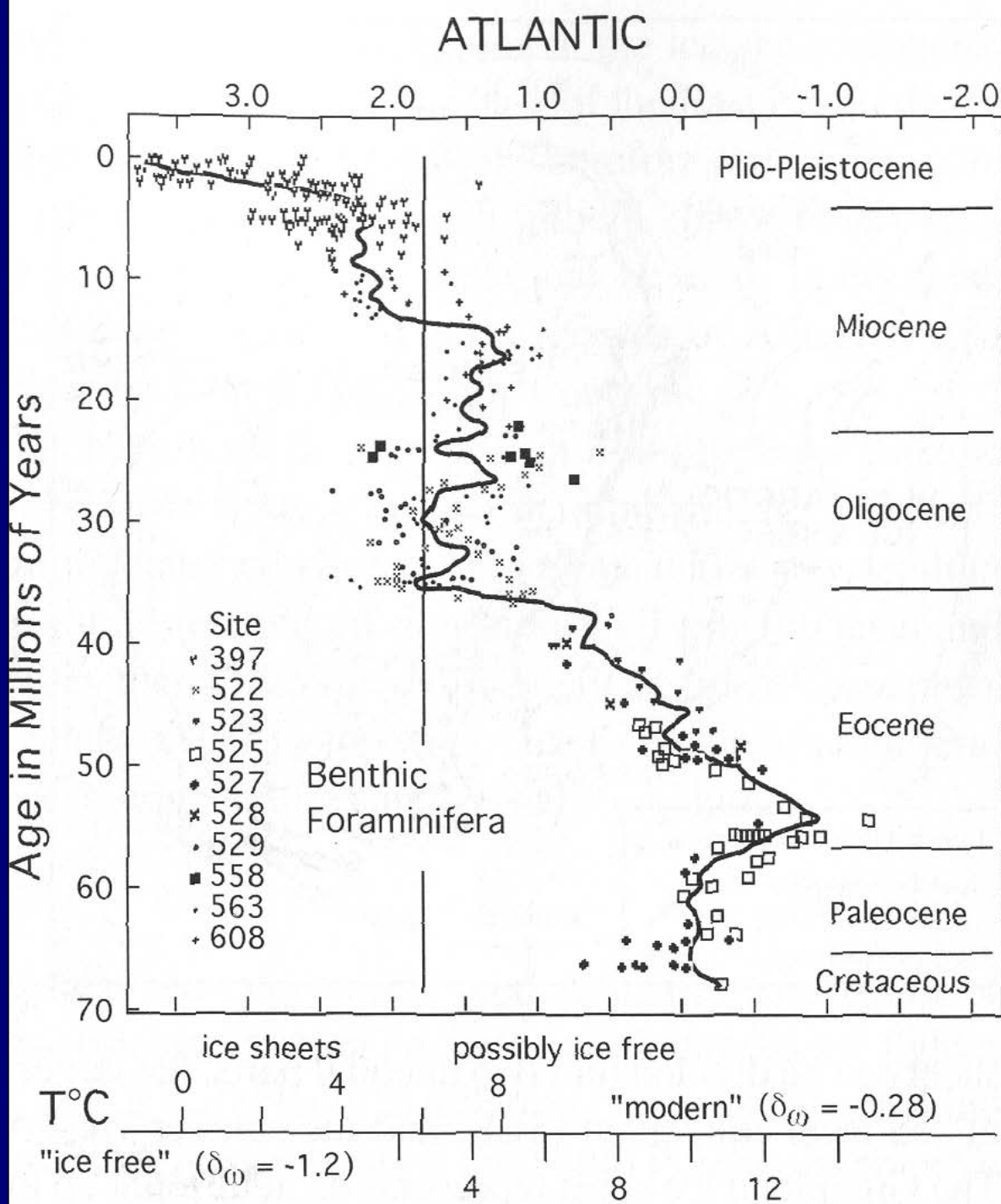
1998



140 m



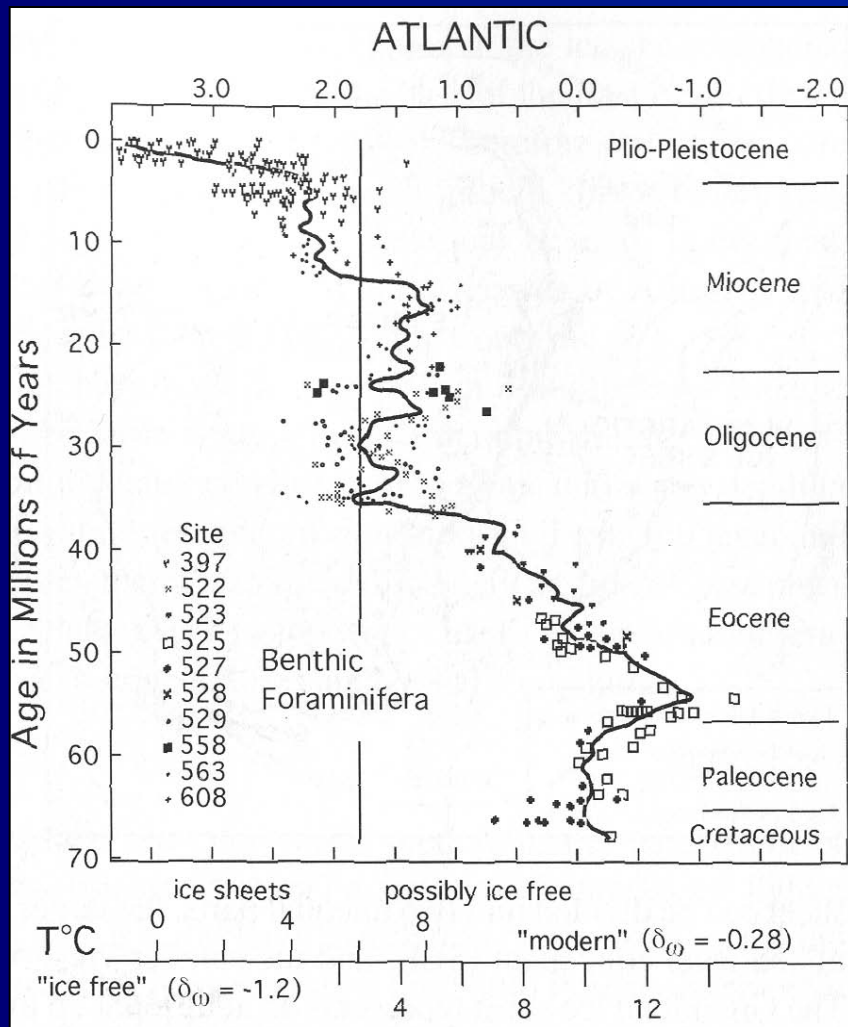
Successione schematica in Ma delle ere glaciali dall'Archeano al presente. I massimi picchi indicano glaciazioni diffuse a scala globale, quelli minori attività glaciale a scala locale (da Hambrey, 1999)



**Curva isotopica dei
Foraminiferi bentonici
dal Cretaceo terminale
al presente**

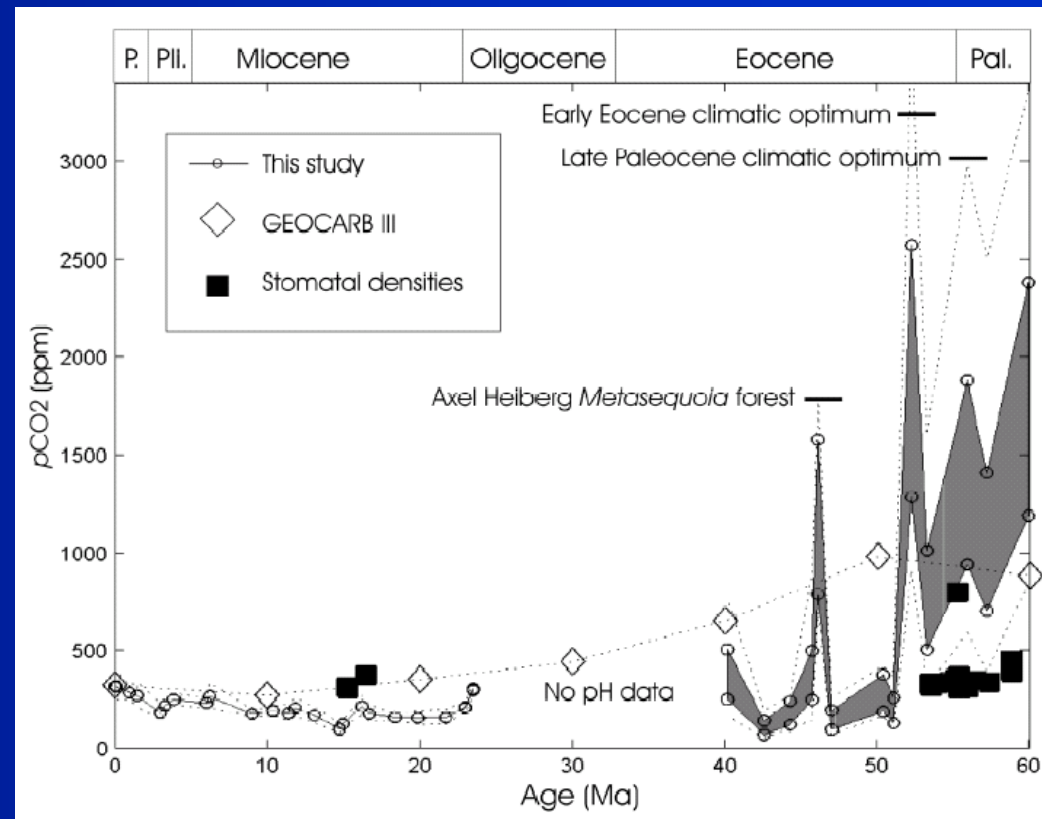
(Flower, 1999)

Curva isotopica foraminiferi bentonici dal Cretaceo terminale



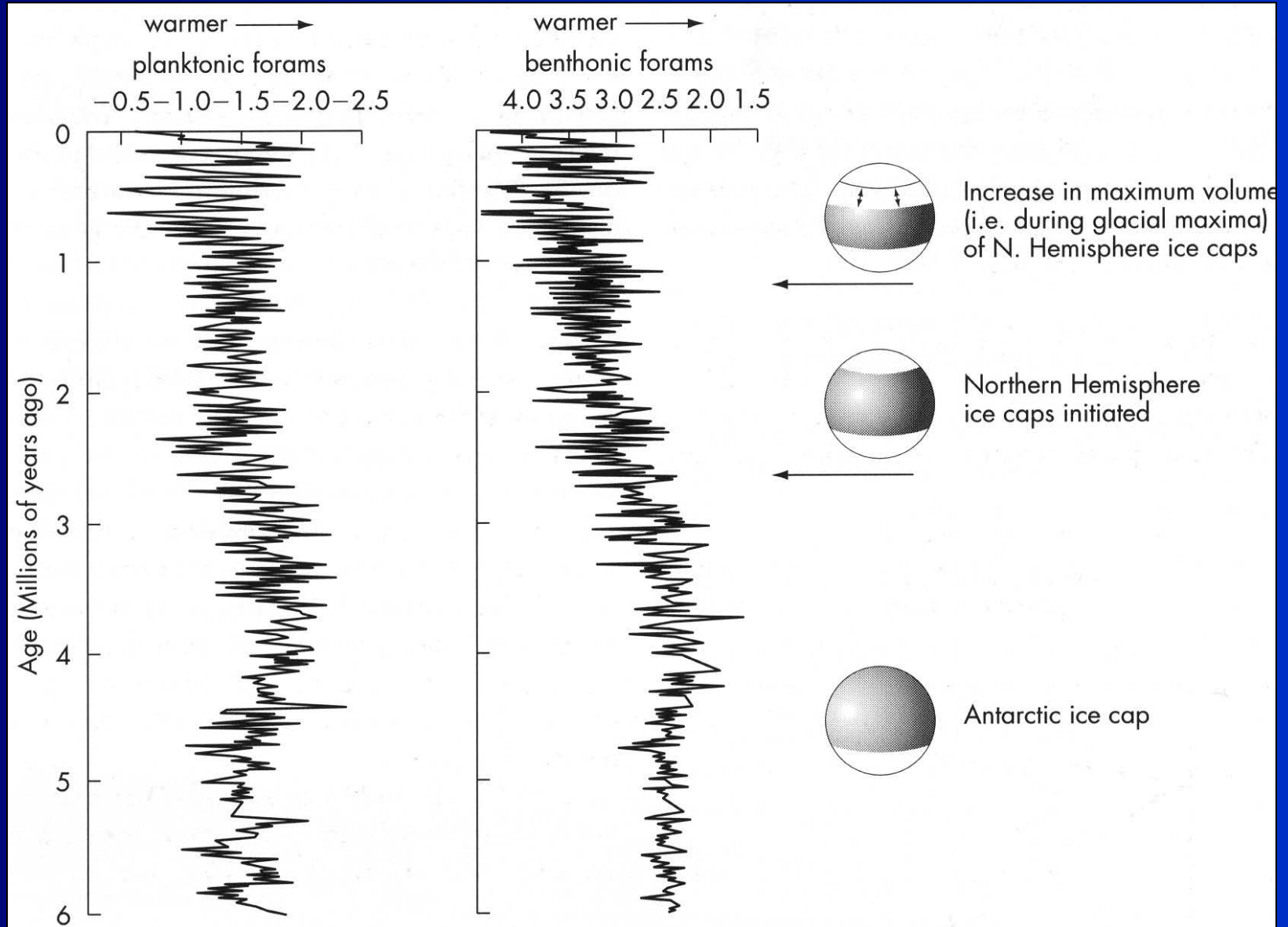
(Flower, 1999)

Ricostruzione del tenore della CO₂ (ppm) negli ultimi 60 milioni di anni

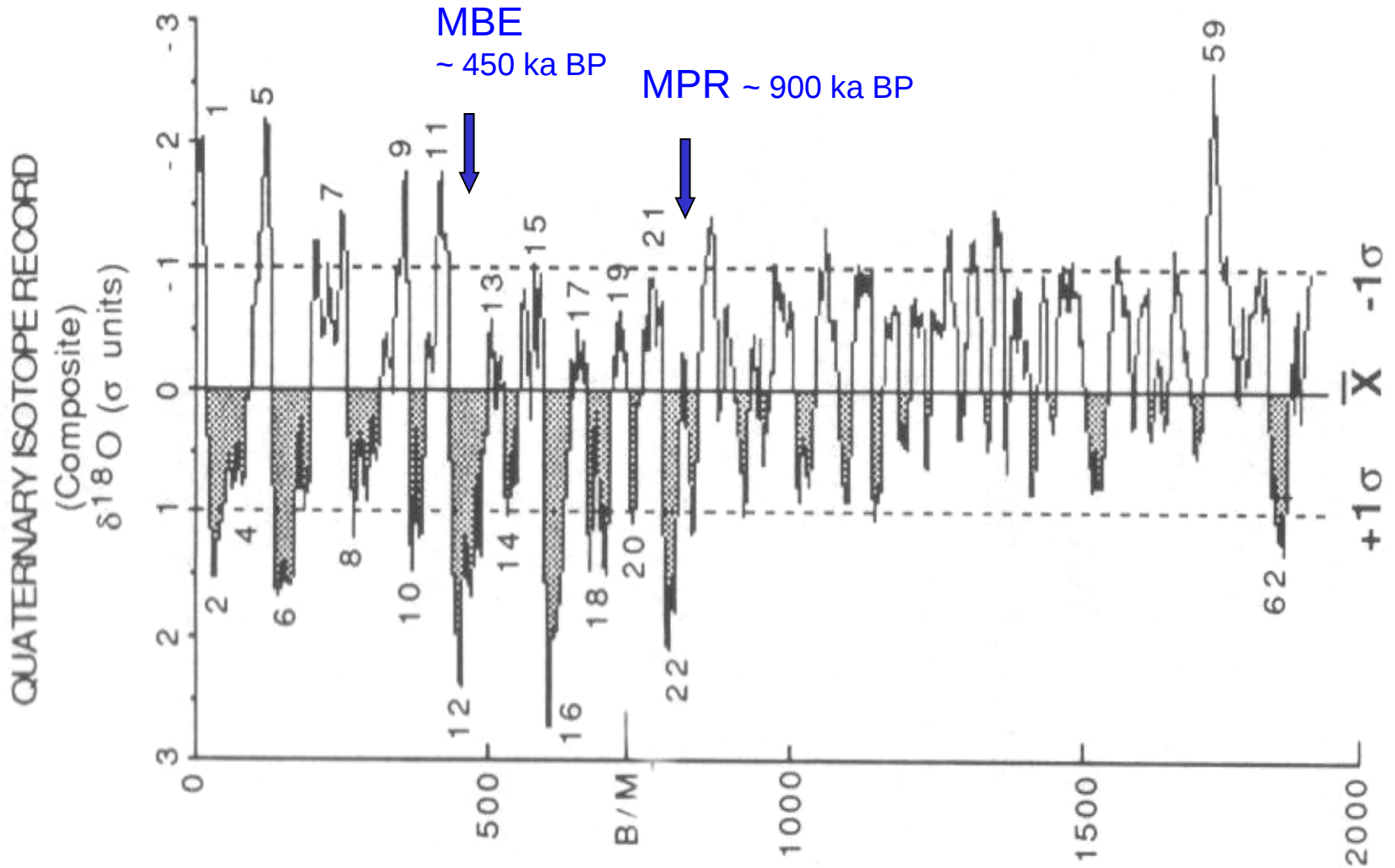


(Demicco et al, 2003)

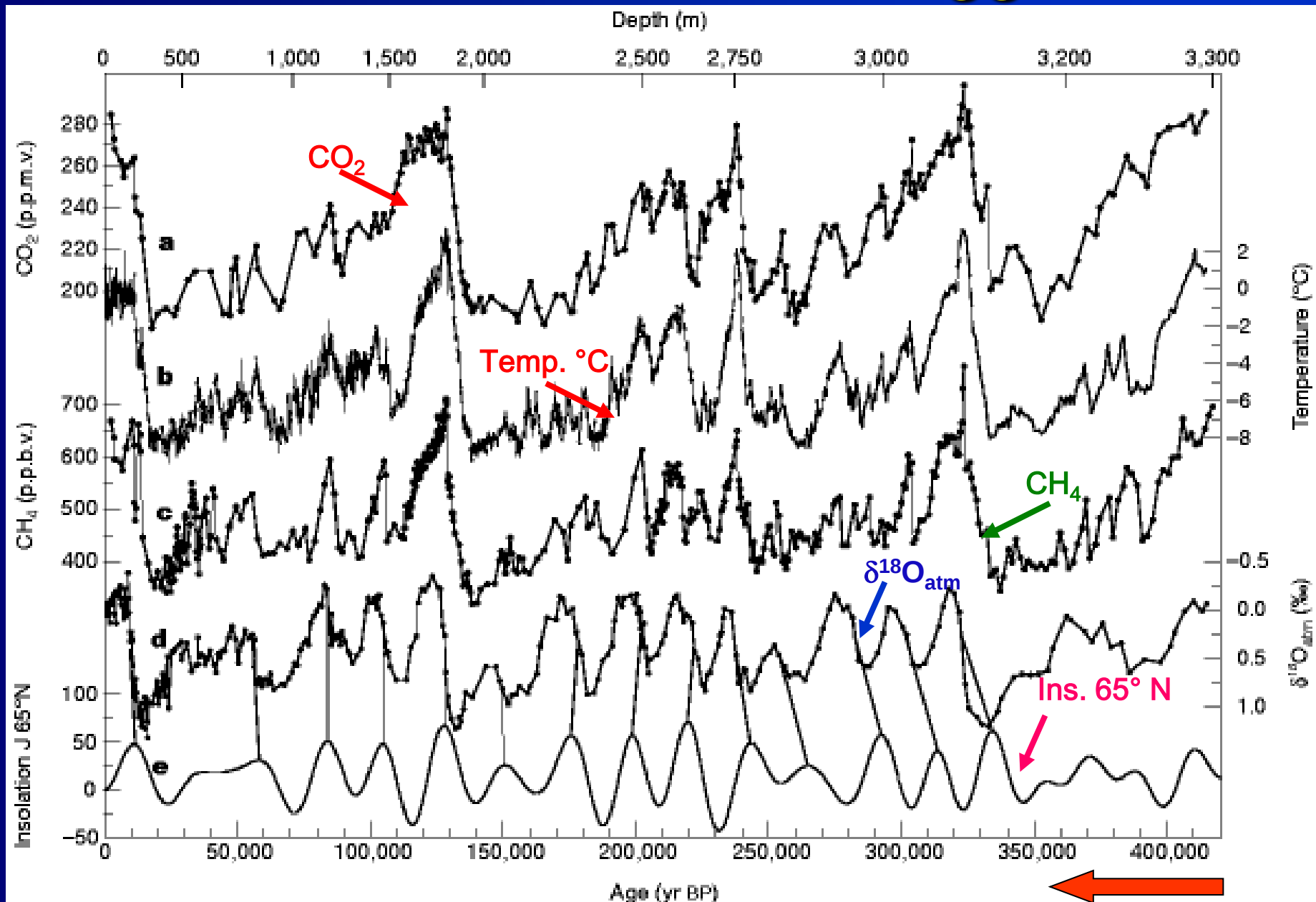
Curve isotopiche foraminiferi planctonici e bentonici dal Miocene terminale



Quaternario: curva isotopica composita



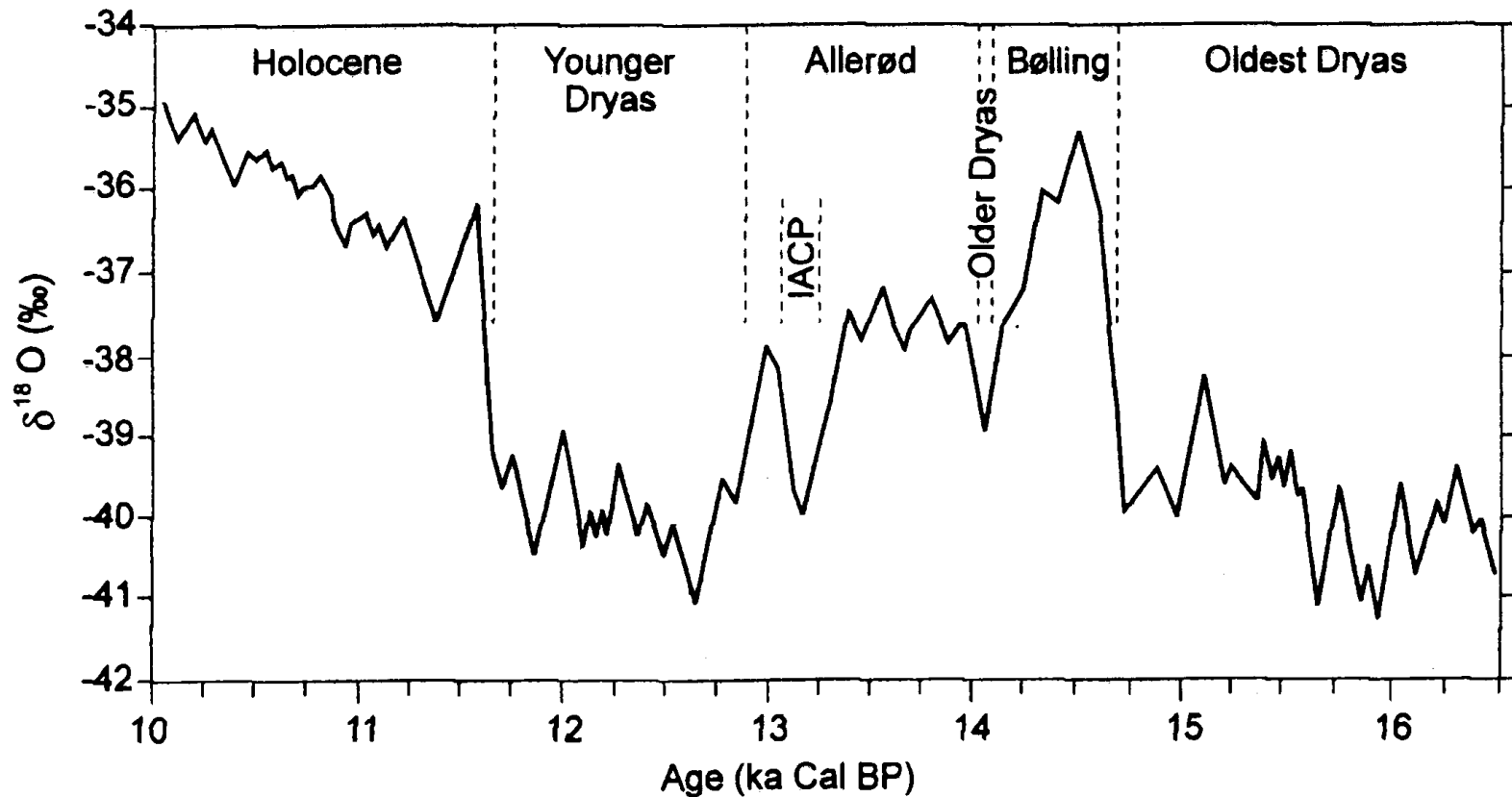
Vostok: cicli climatici maggiori

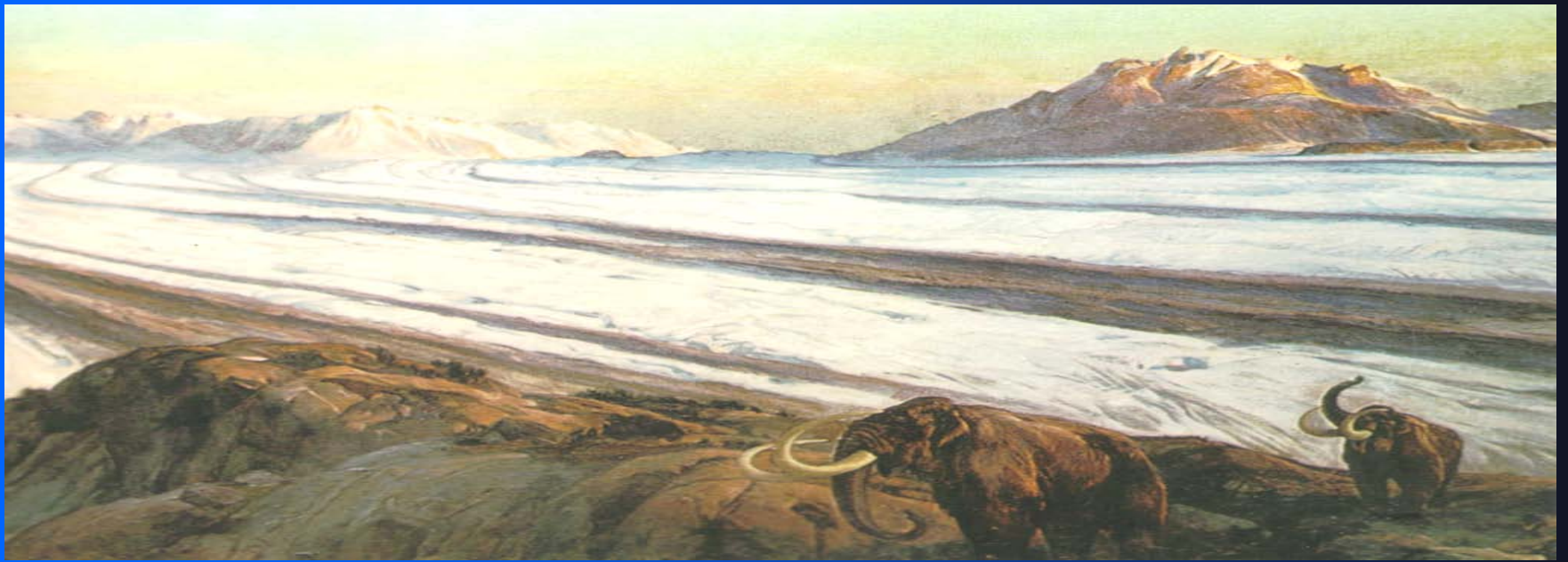


Petit et al., 1999

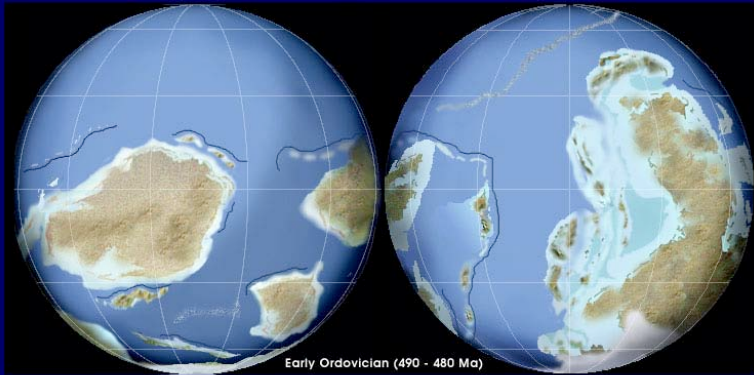
Ultima deglaciazione: curva d¹⁸O (GISP2)

Esempi di radicali cambiamenti climatici repentini (pochi decenni)

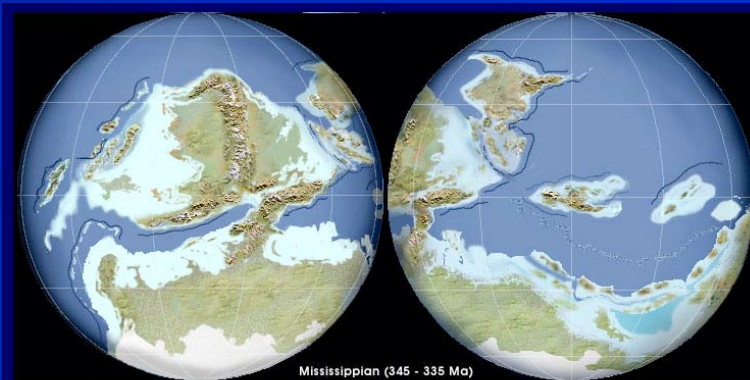




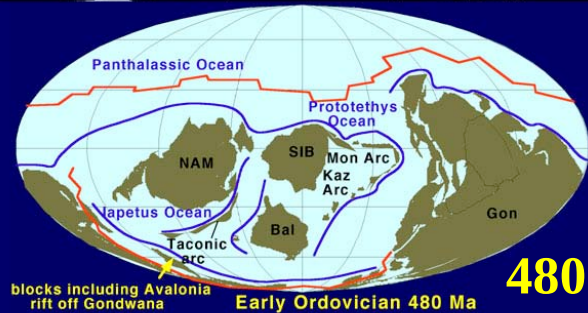
Glacier garden Luzern



Early Ordovician (490 - 480 Ma)



Mississippian (345 - 335 Ma)



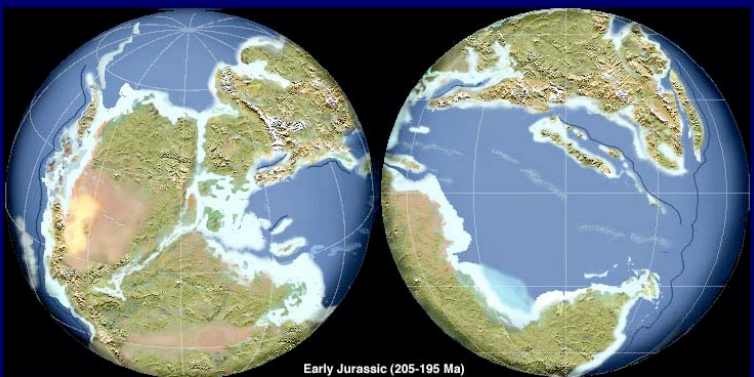
480 Ma

Early Ordovician 480 Ma

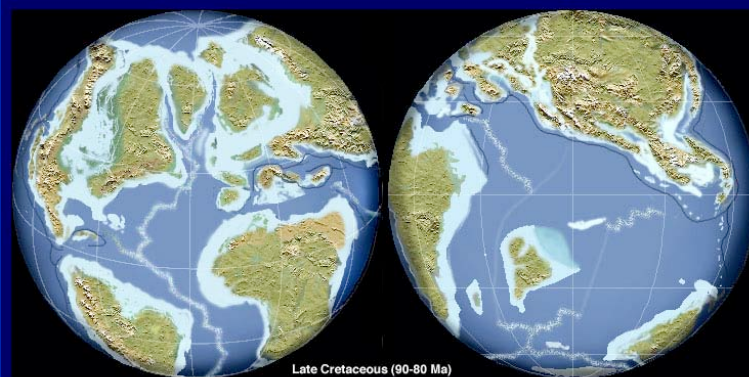


340 Ma

Early Mississippian 340 Ma



Early Jurassic (205-195 Ma)



Late Cretaceous (90-80 Ma)



200 Ma

Early Jurassic 200 Ma

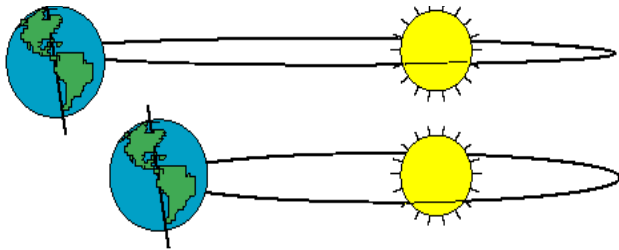


80 Ma

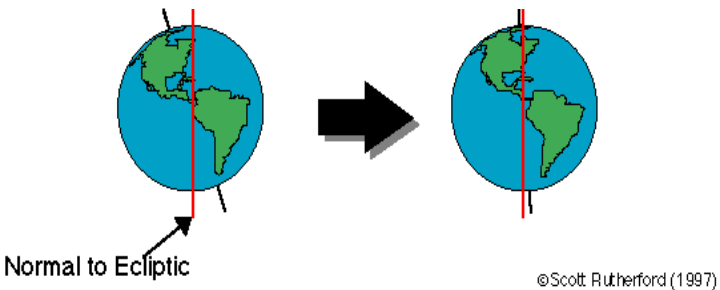
Late Cretaceous 80 Ma

Cause astronomiche: cicli di Milankovitch

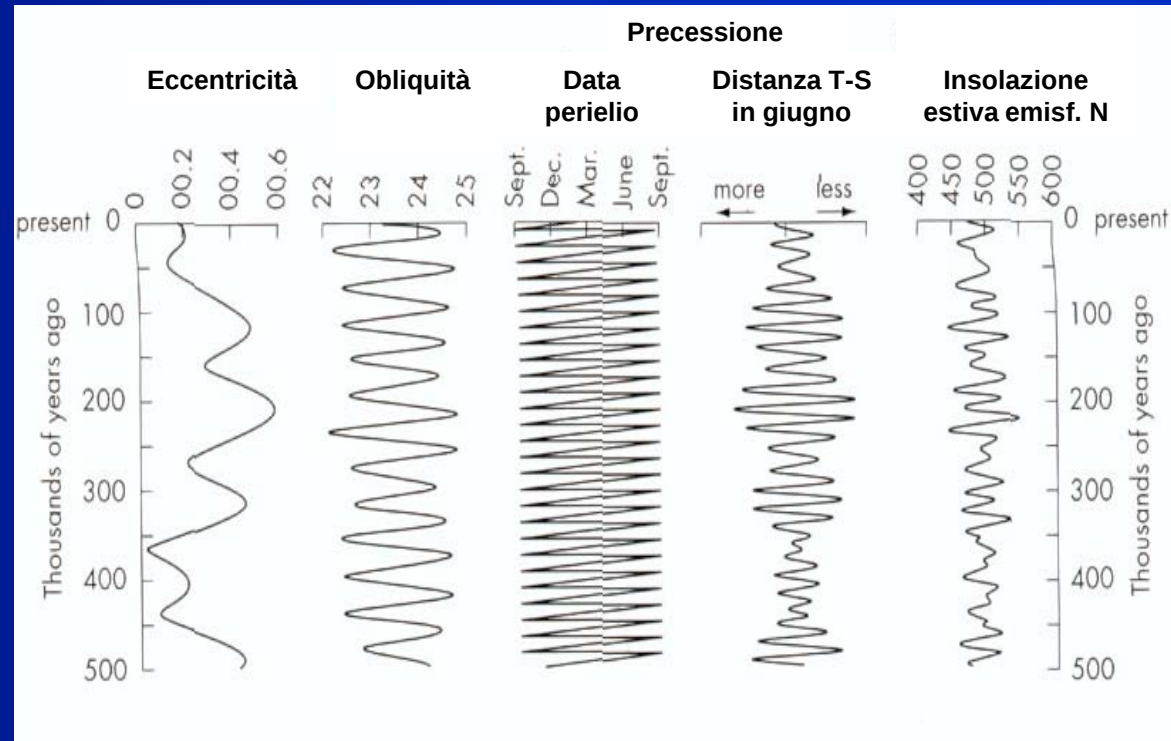
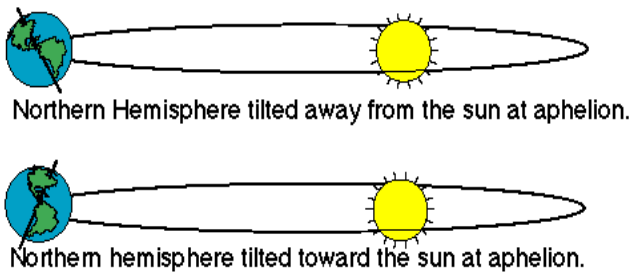
Eccentricità 100 ka



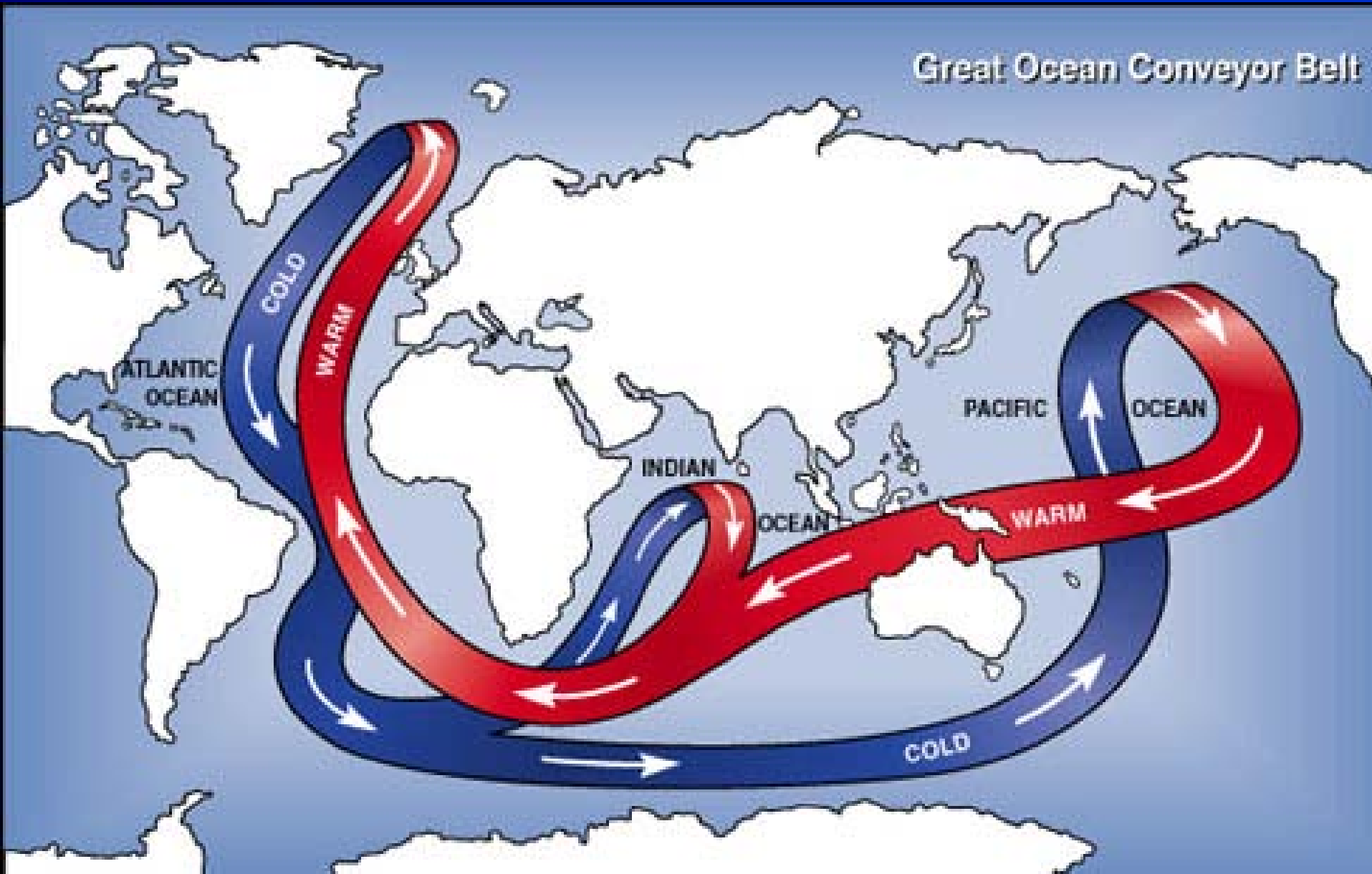
Obliquità 41 ka



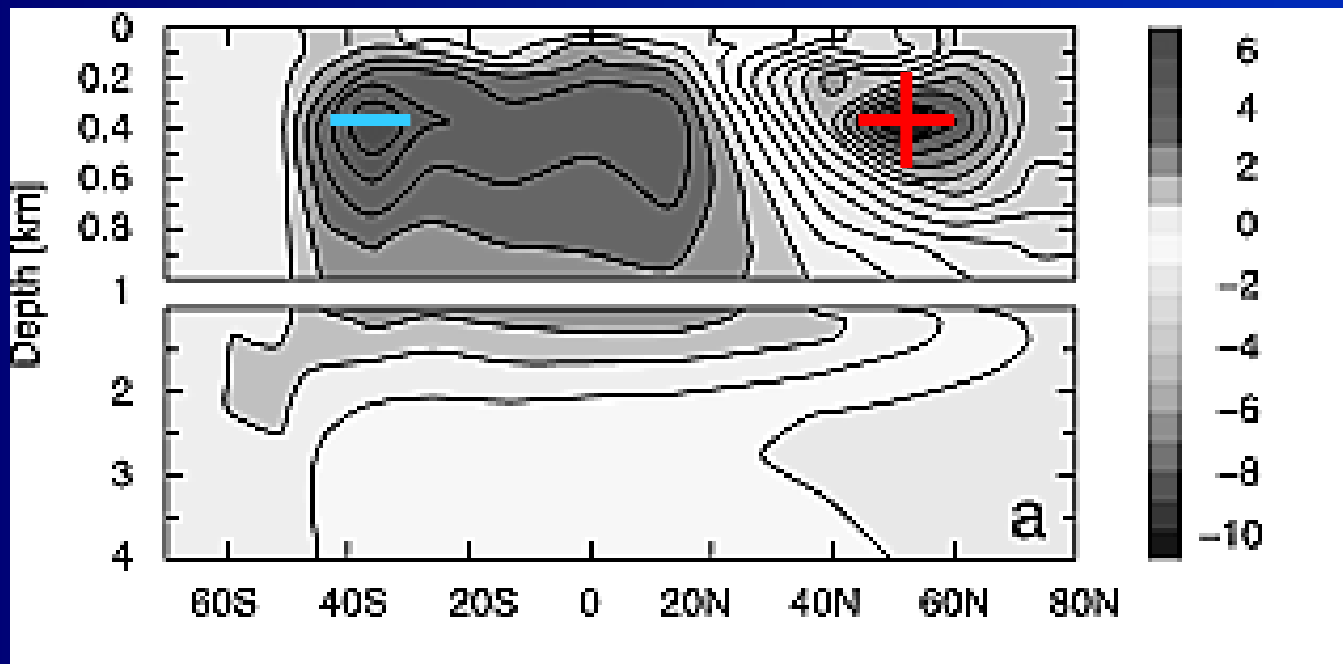
Precessione equinozi 19/23 ka



La circolazione oceanica termoalina e il “nastro trasportatore”



Modello termodinamico dell' “altalena bipolare”



Heat Reservoir

S Atlantic

N Atlantic

$T_S(t)$



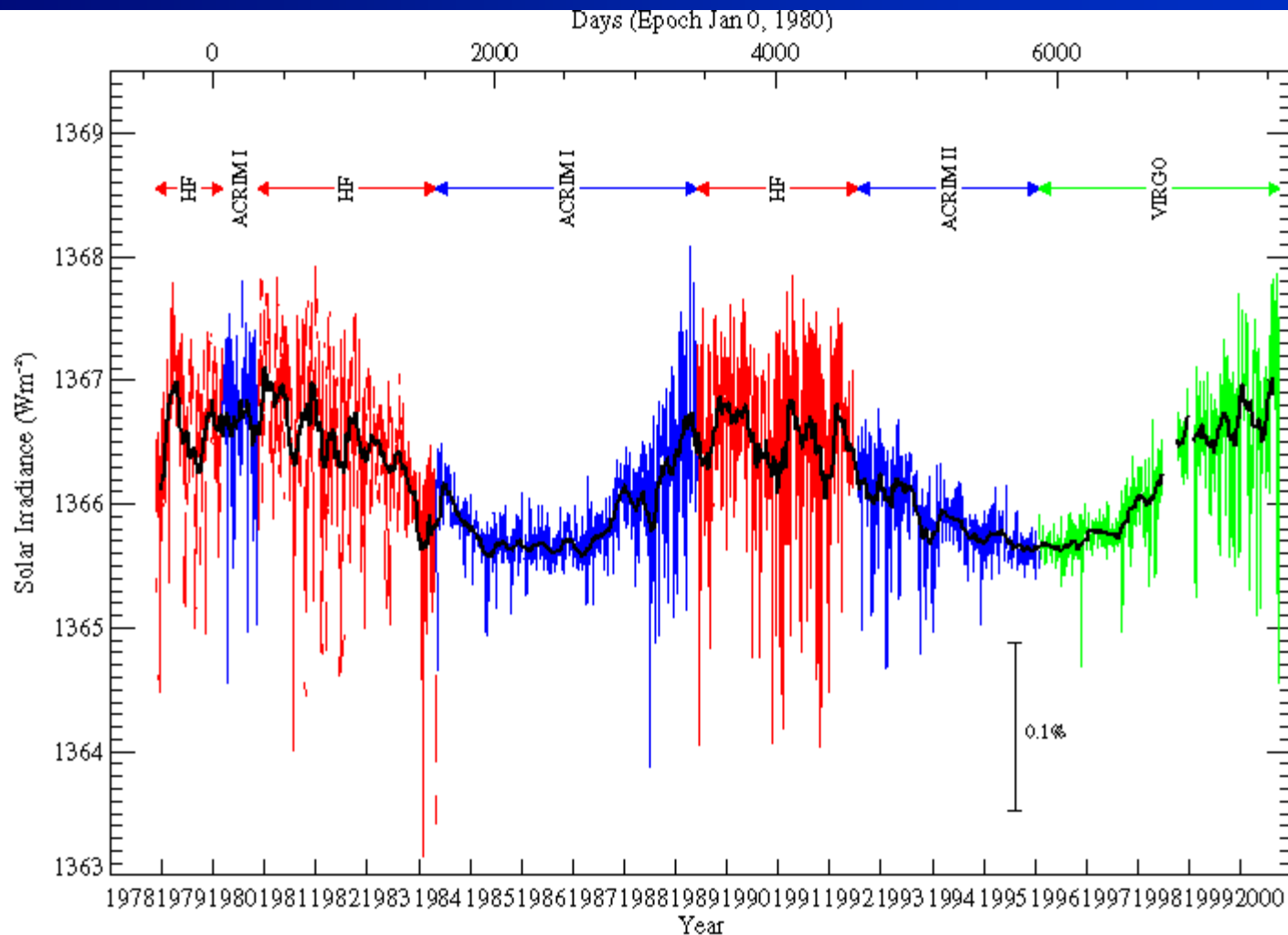
$-T_N(t)$

$T_N(t)$

Bipolar Seesaw

Stocker & Johnsen, 2003

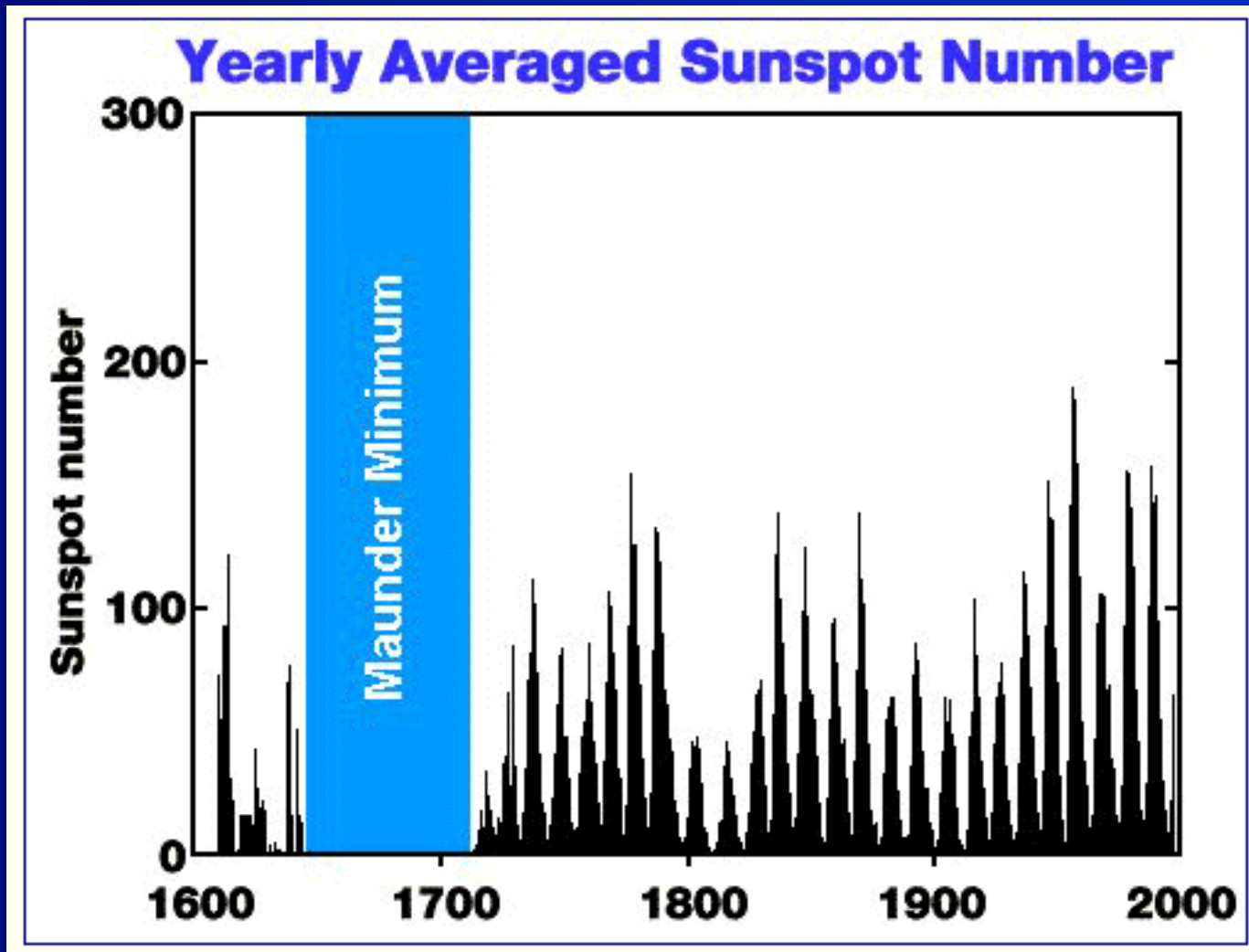
Variazione dell'irraggiamento solare totale (Wm^{-2}) dal 1978 al 2000 (due cicli solari)



from C. Fröhlich, Space Science Reviews, in preparation, and the VIRGO Team (Dec 08, 2000)

(Fröhlich, 2000)

Numero delle macchie solare e il Minimo di Maunder

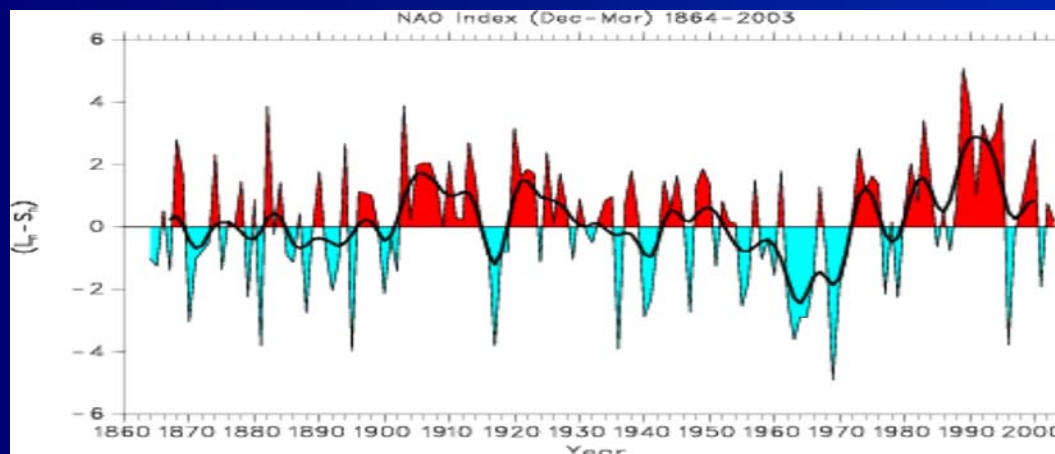
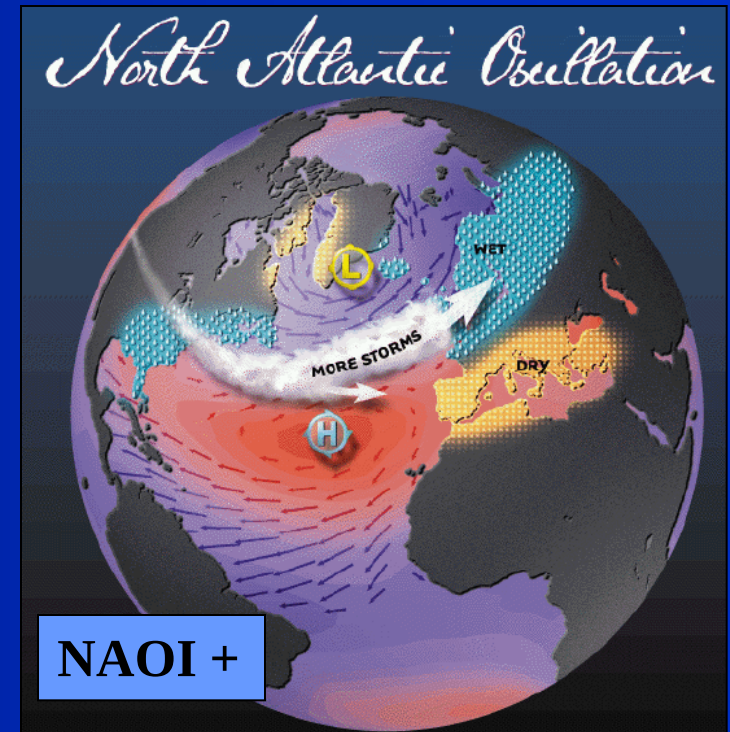


Etna, 30 maggio
2000
(*NASA Visible Earth*)



Etna, 2 marzo 2004
(*University North Dakota*)

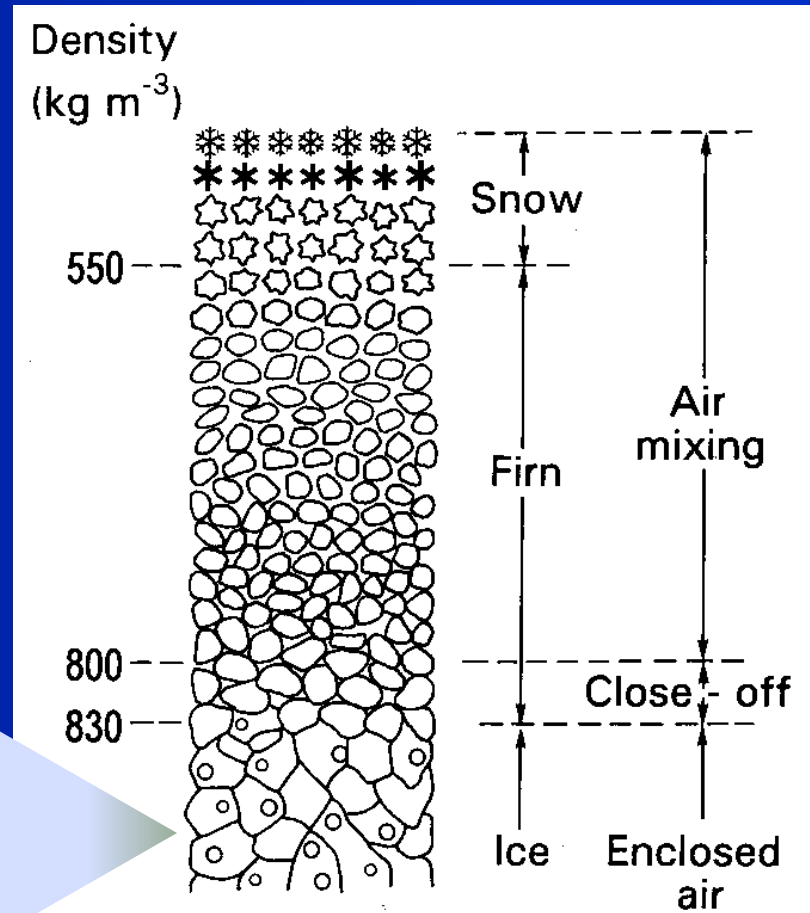
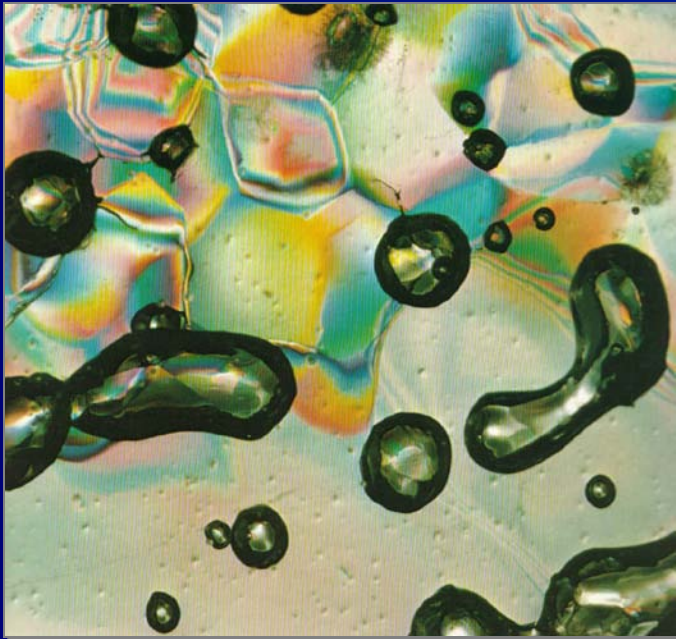
North Atlantic Oscillation Index (NAOI) / Gibraltar - Southwest Iceland



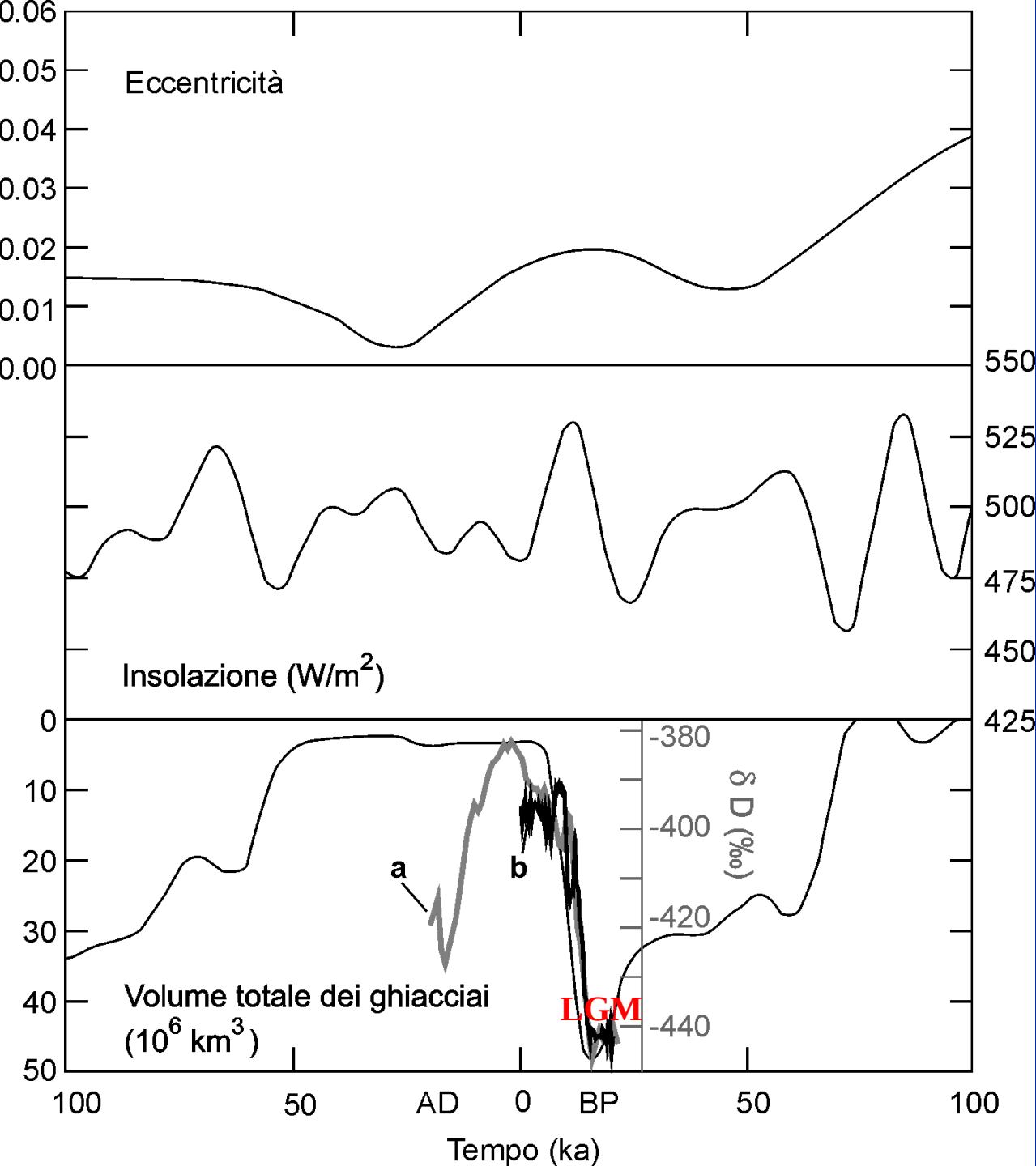
Qual è il ruolo della variabilità della circolazione atmosferica sull'incremento della temperatura?

E delle altre variabili?

Meccanismo di intrappolamento dell'aria nei ghiacciai polari



Legrand, Jouzel and Raynaud (1995)



Eccentricità,
insolazione e volume
totale dei ghiacci negli
ultimi 100 mila anni
e loro proiezione nei
prossimi 100 mila anni

a: OIS 11

b: LGM/Olocene

