

# STORIA DEL CLIMA TERRESTRE

## Parte Terza

# Cenozoico inferiore: fine della Terra Tropicale (65-35)

- Clima caldo per 30 milioni di anni
- Costante calo della Co2 atmosferica
- Un potente motore di cambiamento in atto:  
Pangea si stava spezzando in tanti continenti  
separati
- Si apriva l' Atlantico
- L'India era in rotta di collisione con l'Asia

# Si spezza Pangea



# Andamento della temperatura nel Cenozoico

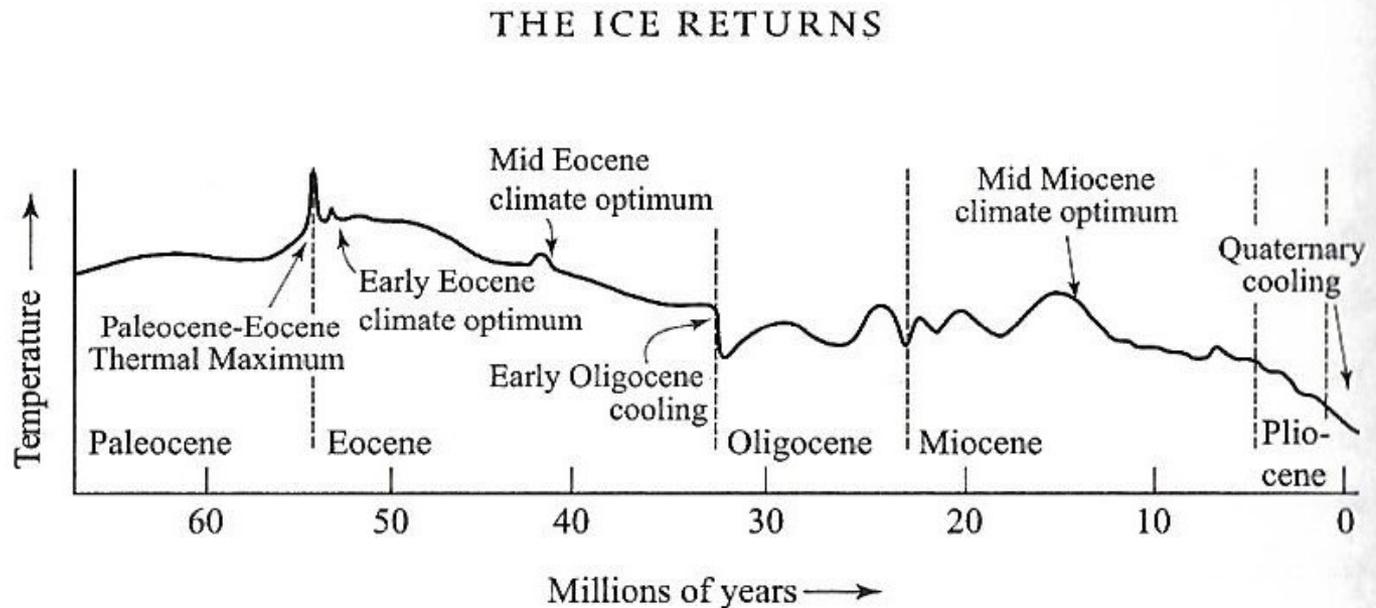
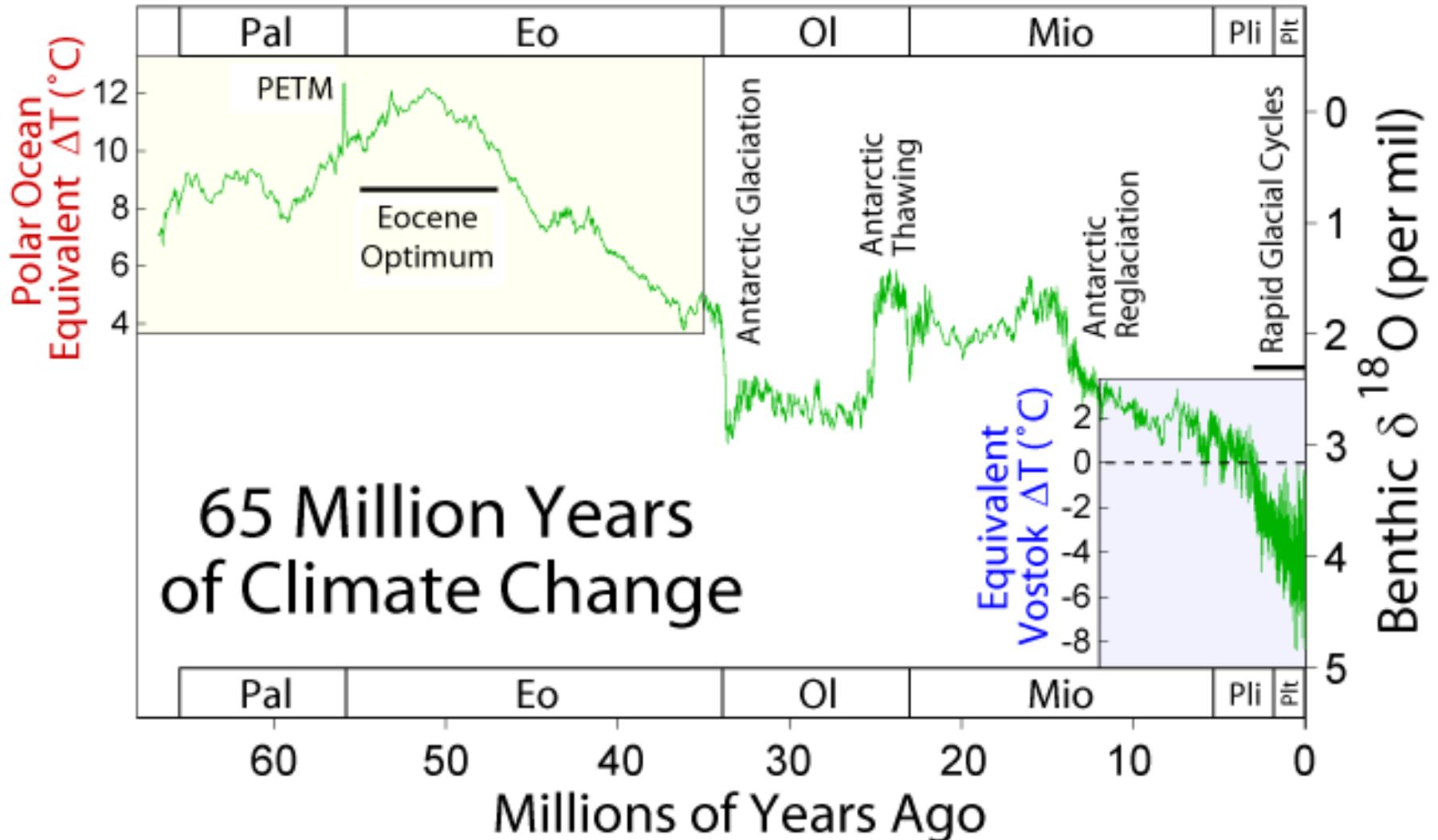


FIG. 18. Major events in the climate history of the past seventy million years. The hyperthermals of the earlier Cenozoic were followed by long-term global cooling. Antarctic glaciation commenced at the Eocene–Oligocene boundary. Extensive Arctic ice sheets were already forming during the Pliocene.

# Andamento della temperatura nel Cenozoico



# Tettonica in subbuglio

- Due picchi ipertermici causati dalle eruzioni nel Nord Atlantico e l' emersione dell' Islanda
- Riscaldamento di +10°C il piu' intenso in epoca recente
- Intanto si creano l' Himalaya e le Alpi
- Sempre piu' Co2 e' assorbita
- Il clima si raffredda lentamente
- Ma non c'è via di mezzo: o caldo o gelo

# Tardo Cenozoico (35-3)

- Irrompe il gelo
  - Le temperatura cala in poco tempo di 5°C
  - Formazione della calotta antartica permanente
  - Aumento dell' Albedo
  - Dilavamento della Himalaya : riduzione Co2
  - Distacco America del Sud da Antartide
  - Formazione della corrente circumpolare antartica che isola climaticamente l' Antartide

# Lenta transizione

- Dopo il raffreddamento improvviso dovuto alla formazione della calotta antartica
- La temperatura continua a scendere lentamente
- Un nuovo picco termico 15 milioni di anni fa per un nuovo parossismo eruttivo nel Nord-Ovest Americano
- Poi riprende il raffreddamento

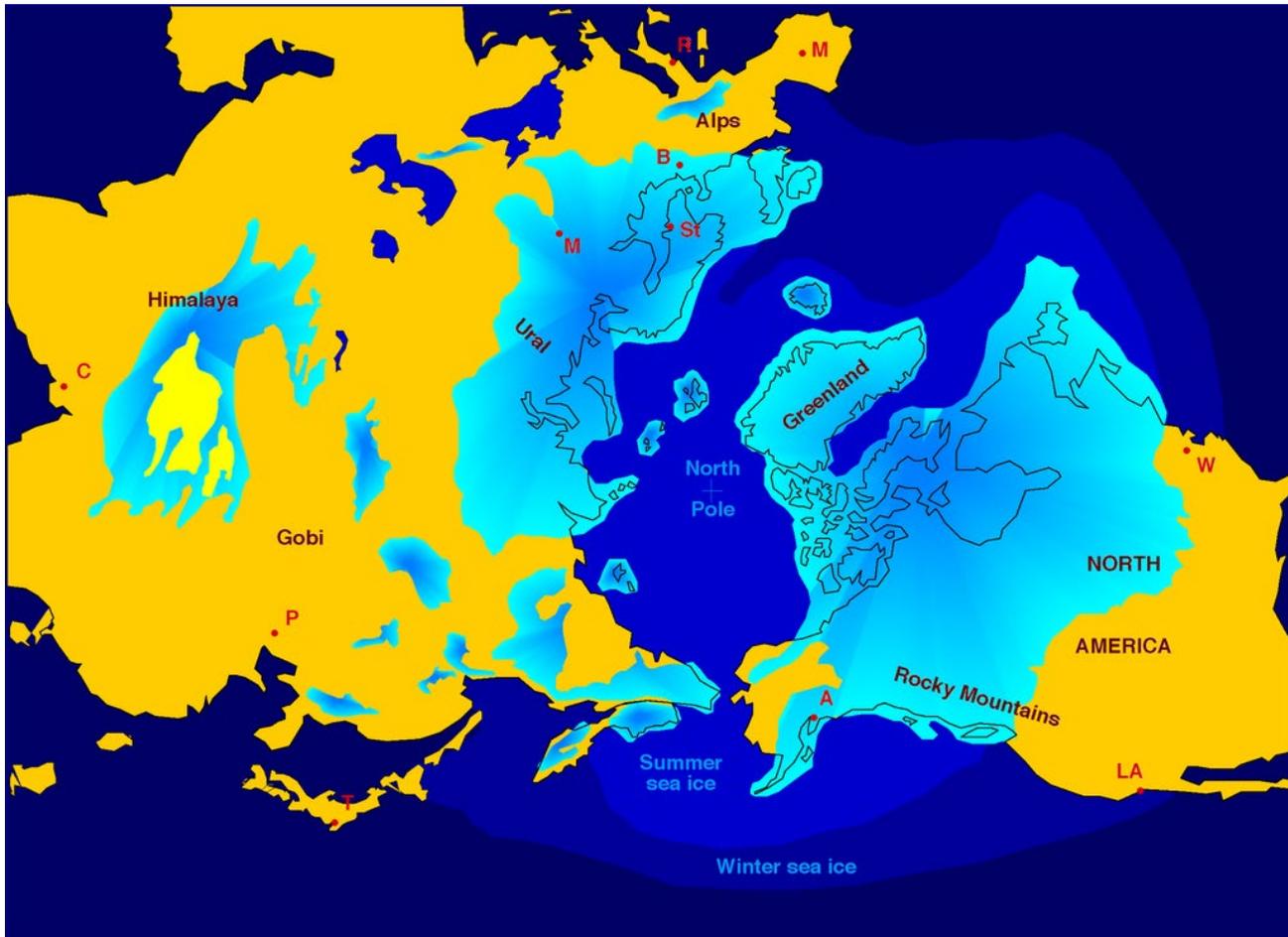
# Il ghiaccio vince (3-oggi)

- All' alba delle glaciazioni la temperatura era ancora di 2-3 °C superiore all' attuale
- La CO<sub>2</sub> intorno alle 400ppm (minimo dalla formazione della Terra e analogo all' attuale)
- Non c'era calotta artica
- Mari 20 metri più alti
- Potrebbe essere il nostro clima futuro
- Oggetto di molti studi

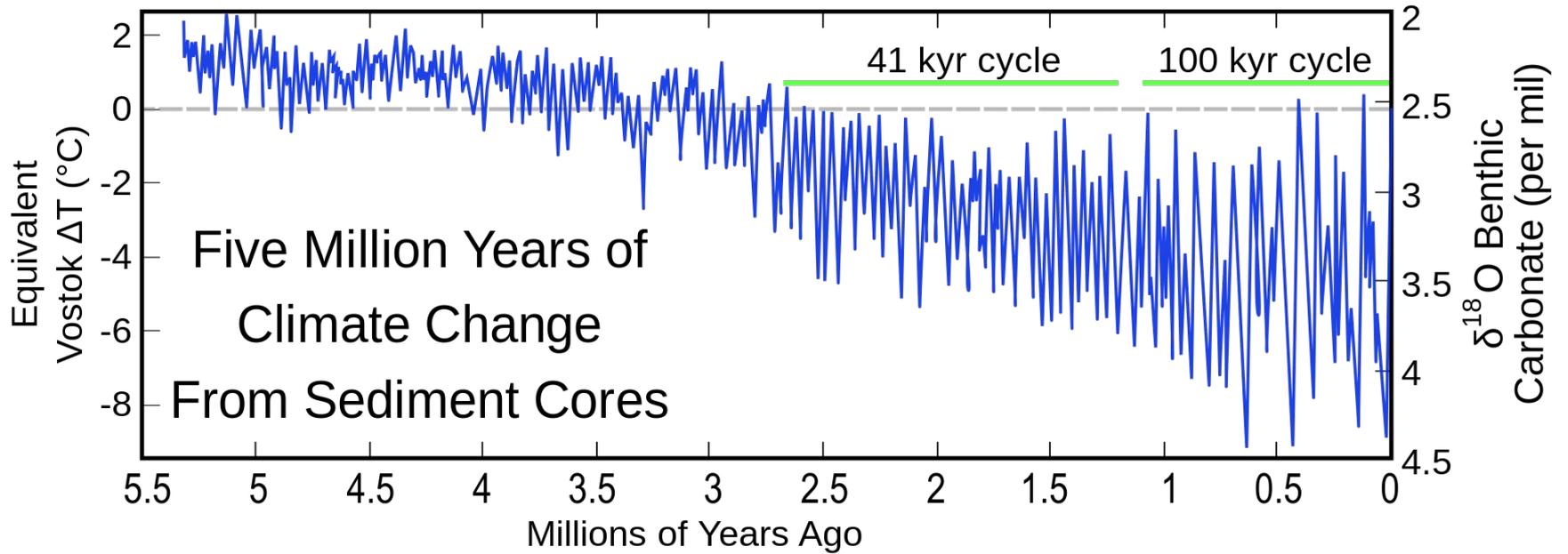
# L'era glaciale

- Tre milioni di anni fa si superò il limite
- Si formò la calotta Groenlandese
- E a seguire la calotta artica
- Il clima calò ulteriormente ed entrò nella attuale fase glaciale
- La vecchia classificazione conta 4 glaciazioni:
  - Gunz, Mindel, Riss, Wurm
  - In realtà sono state un centinaio

# Calotta artica



# Cicli di glaciazione



# I cicli glaciali

## THE GLACIAL WORLD

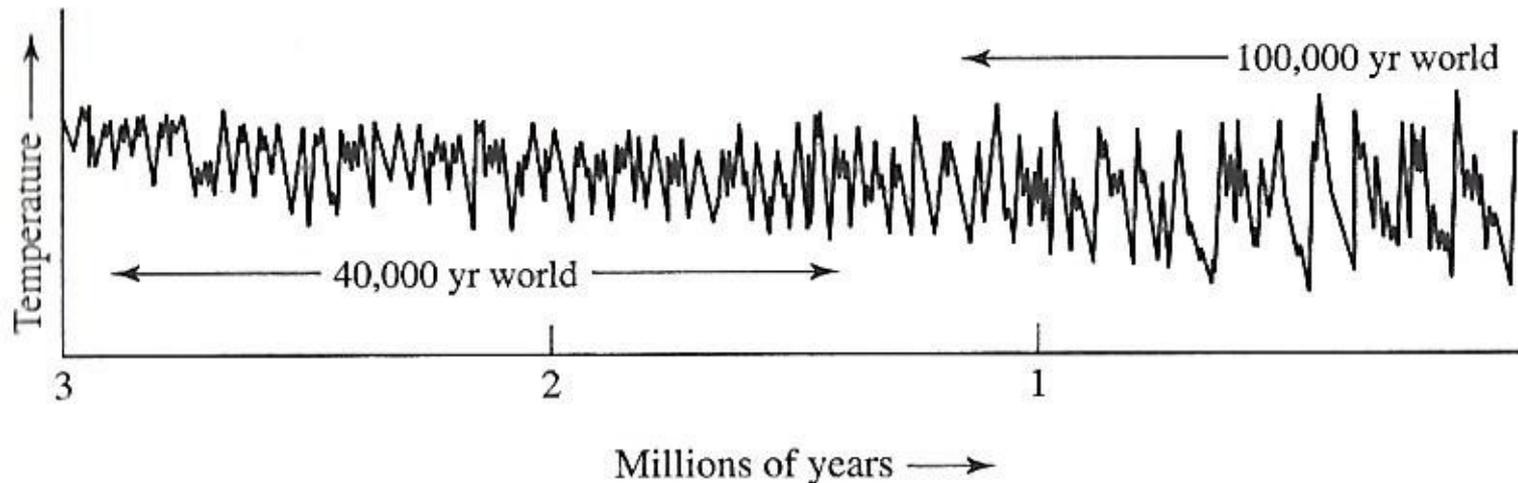
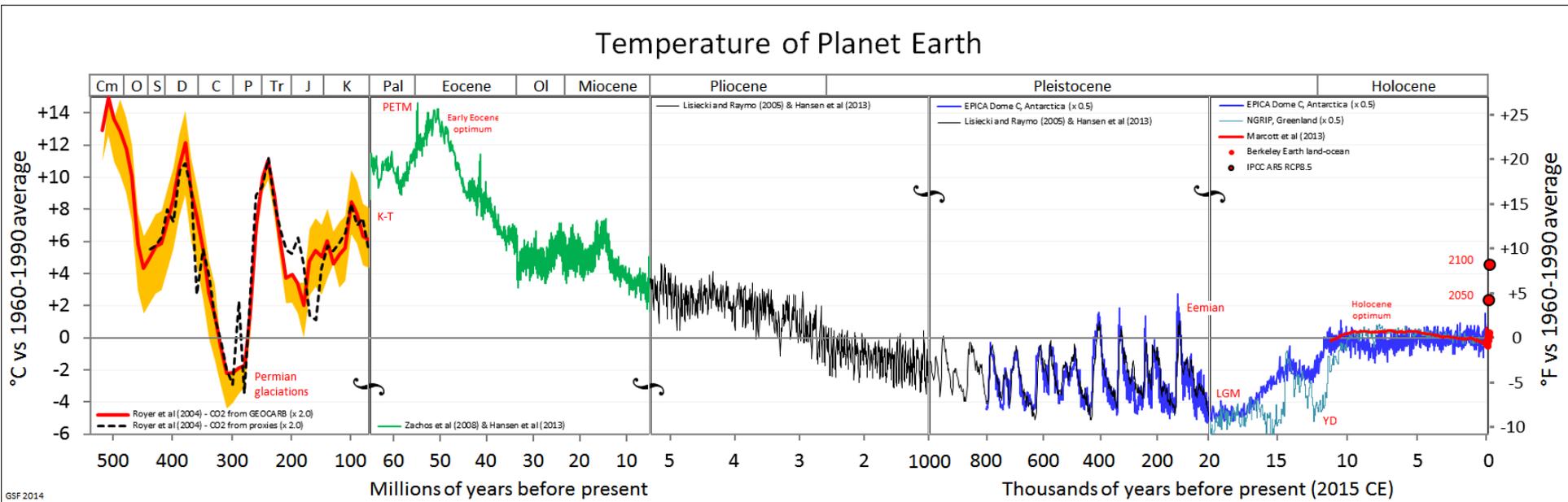


FIG. 22. The oscillating climate of the past three million years switched between glacial and interglacial, paced by changes in the Earth's position relative to the Sun, its wobble and its tilt (see also Fig. 13). Over half a million years ago the glacial–interglacial oscillation changed from a dominant periodicity

# Nuovi mezzi di indagine fine

- Carote ghiaccio antartico : 1 milione di anni
- Carote Groenlandia : 120.000 anni
- Sedimenti laghi artici: 50.000 anni
- Sempre maggiore precisione
- Incuriosisce la profonda seghettatura e il ciclo regolare, prima di 40.000 anni e ultimamente di 100.000 anni

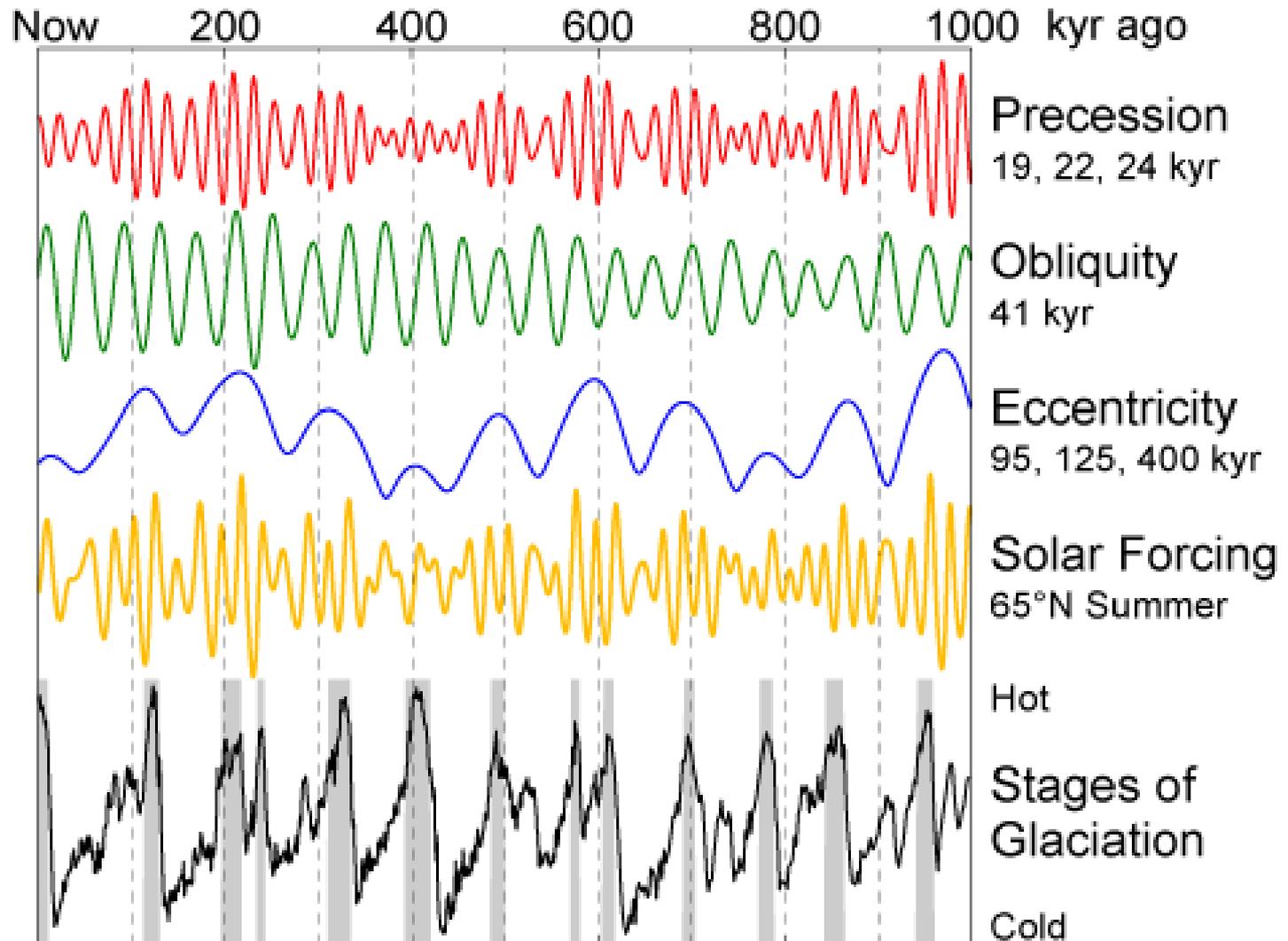
# L'oscillazione si trova anche nel Cretaceo



# Scoperta di un fattore esogeno

- Continue e cicliche variazioni dei parametri orbitali della Terra influenzano il clima
- Oscillazione attorno a un valore medio
- Sono i cicli di Milankovic, scienziato serbo
- 4 variazioni cicliche
  - Precessione
  - Ellitticità
  - Inclinazione dell' asse
  - Inclinazione del piano orbitale

# Cicli di Milankovic



# Due sorprese

- L'osservazione ravvicinata delle variazioni
- Mostra due sorprese
  - Il riscaldamento è più lento del raffreddamento
  - La concentrazione di CO<sub>2</sub> segue le variazioni e non le causa, anzi la sua variazione è causata da quella della temperatura

# Ultimi 300.000 anni

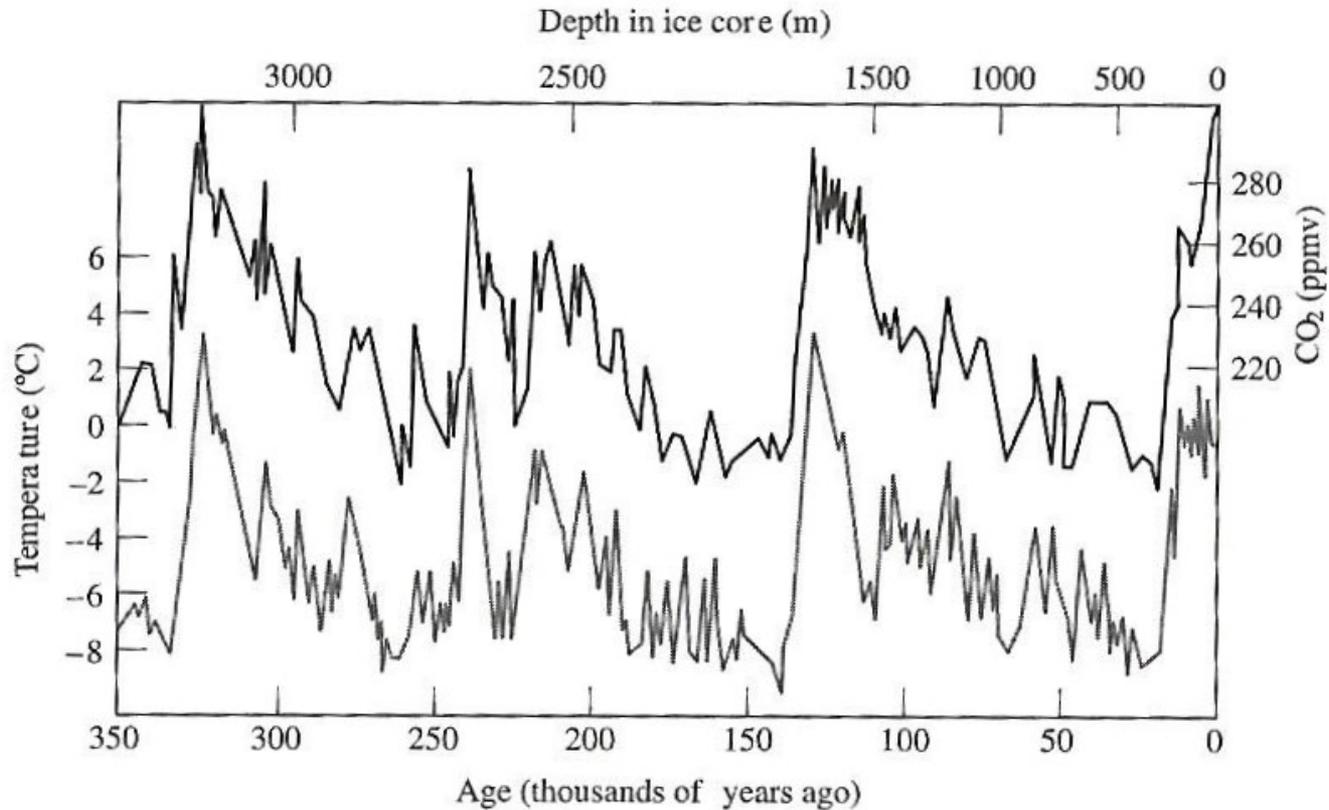


FIG. 23. A 350,000-year history of temperature and atmospheric carbon dioxide levels extracted from Antarctic ice.

# Gli ultimi 50.000 anni

- A scala ancora piu' ravvicinata si notano variazioni piu' fini non cicliche
- Quindi legate ad eventi particolari
- Il ripetersi a intervalli di 1500 anni con riscaldamento veloce e raffreddamento lento ha ispirato alcune ipotesi

# Ultimi 50.000 anni

who first recognized these features. There are twenty-six in all between the Holocene and the Eemian. They are somewhat irregu-

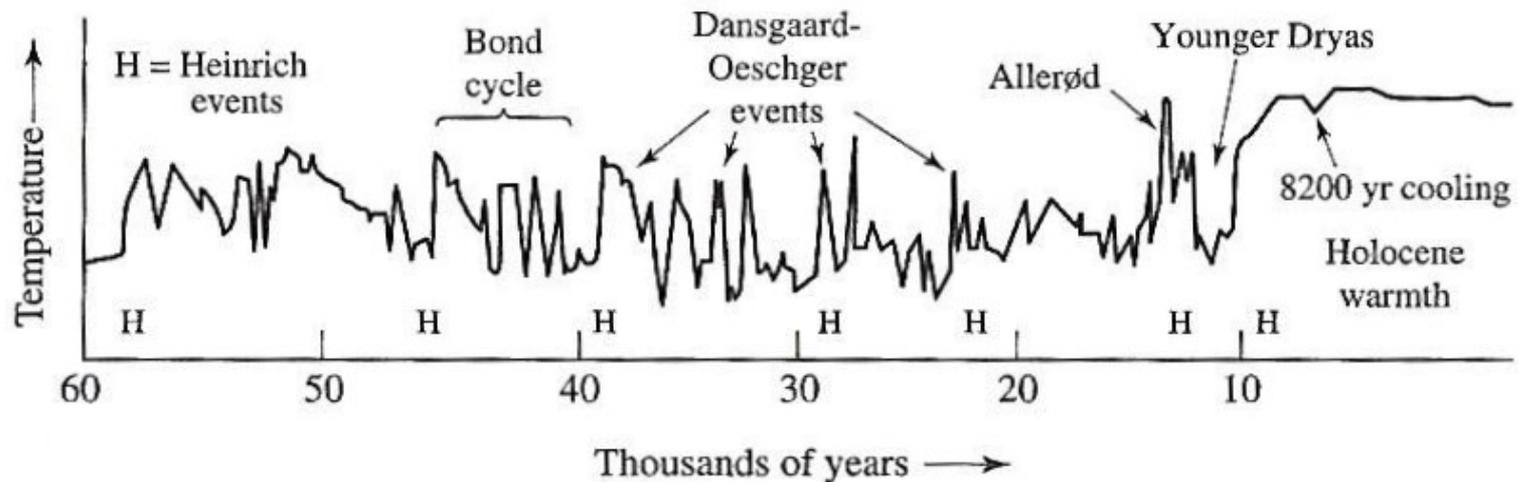


FIG. 24. Climate of the last 60,000 years. It shows the marked climate fluctuations of the second half of the last main glacial phase, punctuated by Heinrich events (partial collapses of the northern ice sheets), compared with the relative stability of the Holocene interglacial.

# Le Alpi 20000 anni fa



# Ipotesi :»Armata degli Iceberg»

- Si pensa che brevi impennate della temperatura portassero a rottura della calotta artica
- Produzione di migliaia di iceberg
- Interruzione della corrente del golfo
- Raffreddamento delle zone a nord dell'equatore e riscaldamento di quelle a Sud

# L' ultima glaciazione: 13.000 anni fa

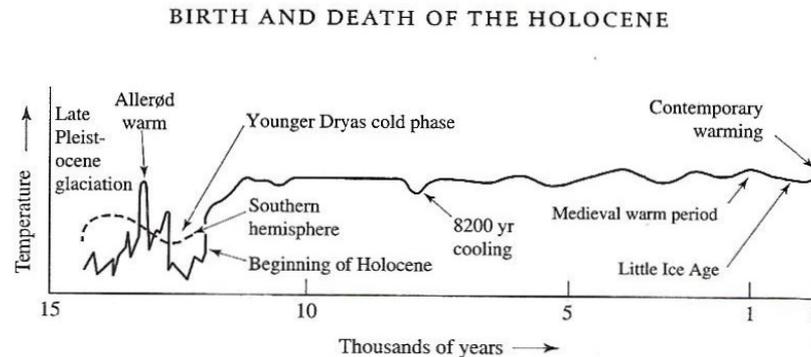


FIG. 26. Climate of the last 15,000 years, showing the complex transition (different in the northern and southern hemispheres) from the late Pleistocene glaciation to the Holocene interglacial, with its—so far—more muted climate changes.

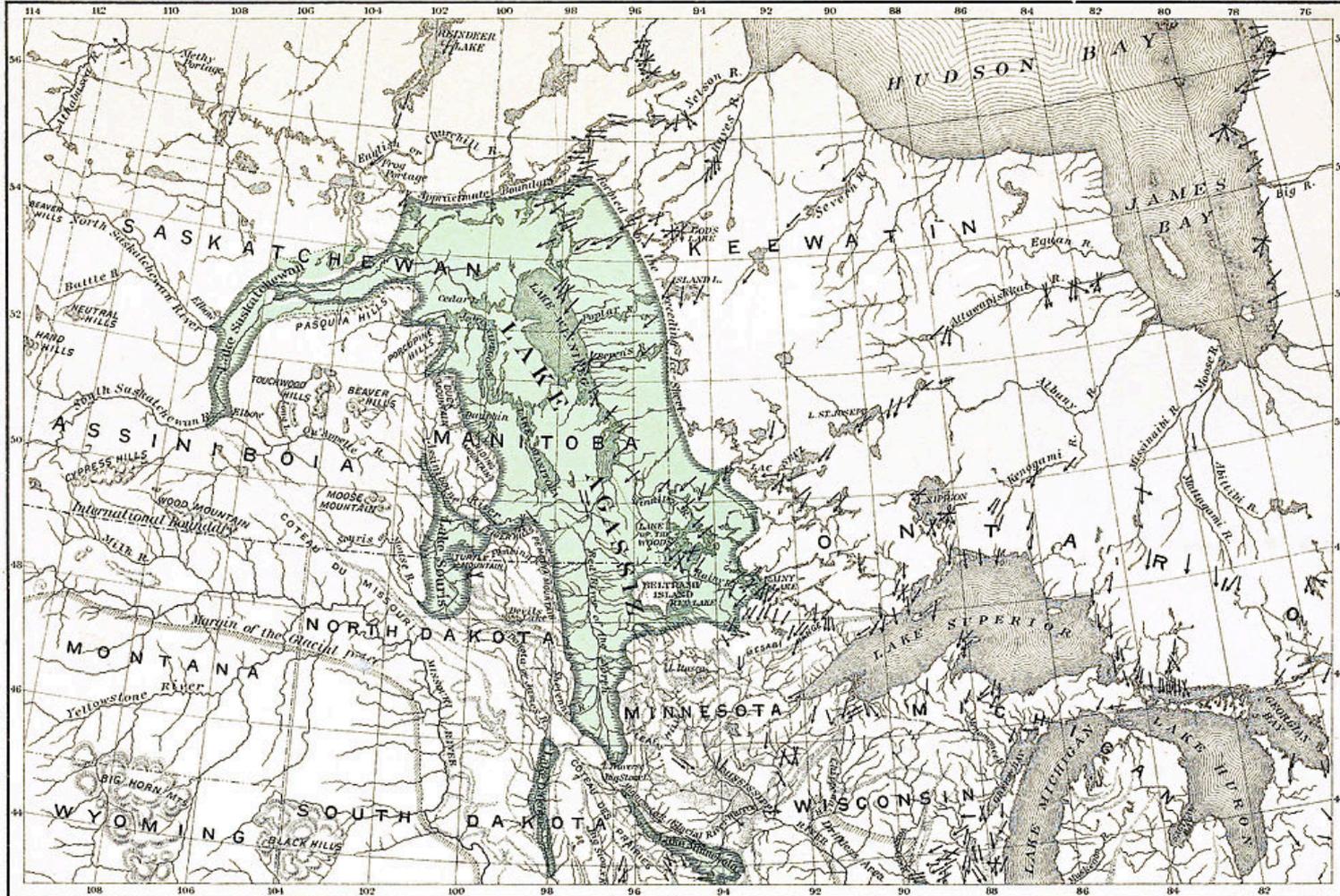
curve there, as temperatures rise from the preceding glacial maximum—but it is subtle. To see the transition at its clearest, one needs to turn to the north, and in particular to the Greenland ice sheet, where the history of events was different.

There, climate history rode a switchback.<sup>3</sup> Coming from the Glacial maximum, temperatures suddenly rose, 14,700 years ago, with the average temperature of the north Atlantic and surrounding areas increasing rapidly by some 5 °C (over Greenland, the temperature hike approached 20 °C). Temperatures remained around these levels for nearly two millennia—and then fell suddenly by a similar amount, as the whole region went into a deep freeze once more; in north-west Scotland, for instance, which had thawed completely in the warm episode, a new ice sheet began to grow so that this cold snap used to be called the *Younger Dryas*.

# Il lago Agassiz

U.S. GEOLOGICAL SURVEY.

MONOGRAPH XXV. PL. III.



MAP SHOWING THE AREAS OF LAKE AGASSIZ AND OF THE UPPER LAURENTIAN LAKES.

Scale, about 165 miles to an inch.

Lake Agassiz and associated Glacial Lakes



Glacial Striae



Terminal Moraines



JULIUS NIEM & CO. NY.

# Il lago Agassiz

- Il riscaldamento provoca lo svuotamento del lago (400.000 Km<sup>2</sup>)
- In tre anni cambia il clima
- Si ferma ancora la Corrente del Golfo
- 3.000 anni di gelo
- Poi finalmente la tregua che continua ancora oggi

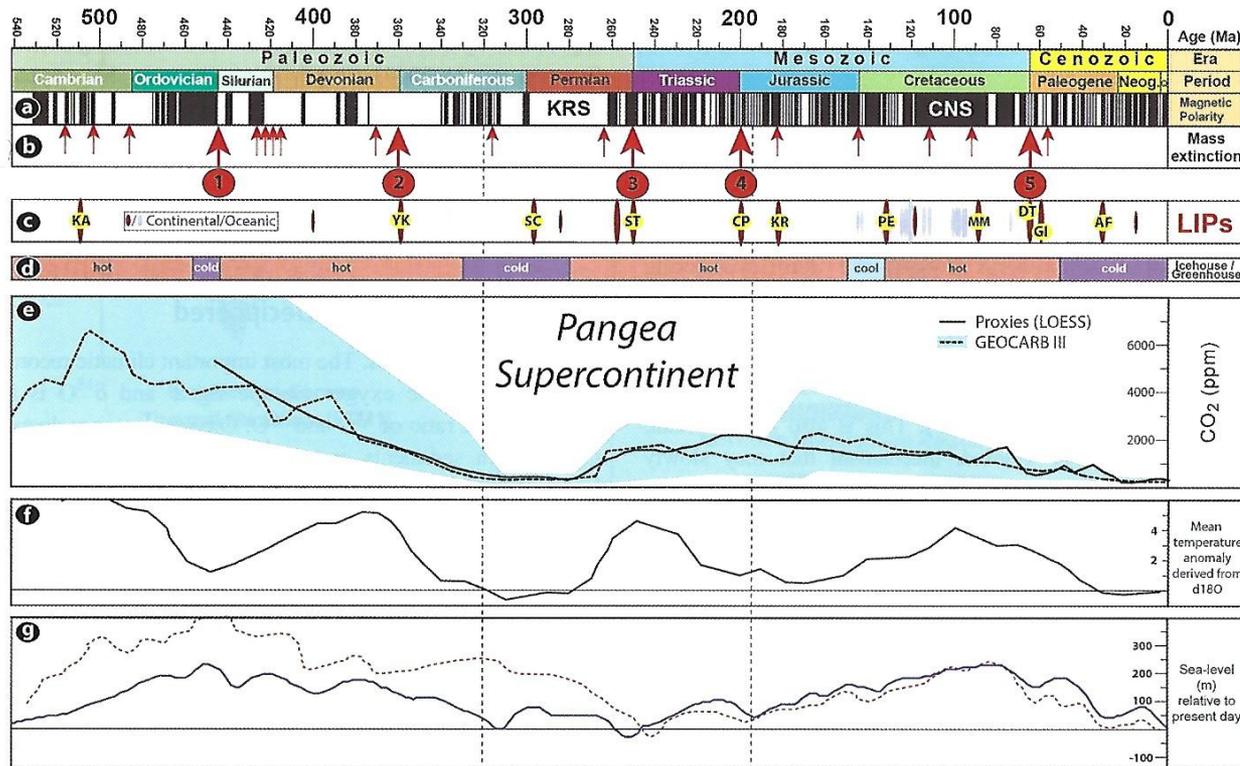
# 10.000 anni inusuali

- Clima temperato stabile (mai successo da 3 milioni di anni)
- Livello marino stabile e linee di costa poco variate
- Formazione di grandi delta alluvionali
- Ambiente inusuale che noi consideriamo normale
- La stabilità e' un valore per la civiltà

# Riflessioni

- Negli ultimi 300 milioni di anni la Terra ha vissuto un lungo periodo di clima tropicale
- Ha subito alcune catastrofi naturali come le mega-eruzioni e il meteorite del Cretaceo, ma ha sempre recuperato in tempi geologicamente brevi
- La rottura di Pangea ha spinto la Terra verso un'era glaciale in cui ci troviamo tuttora

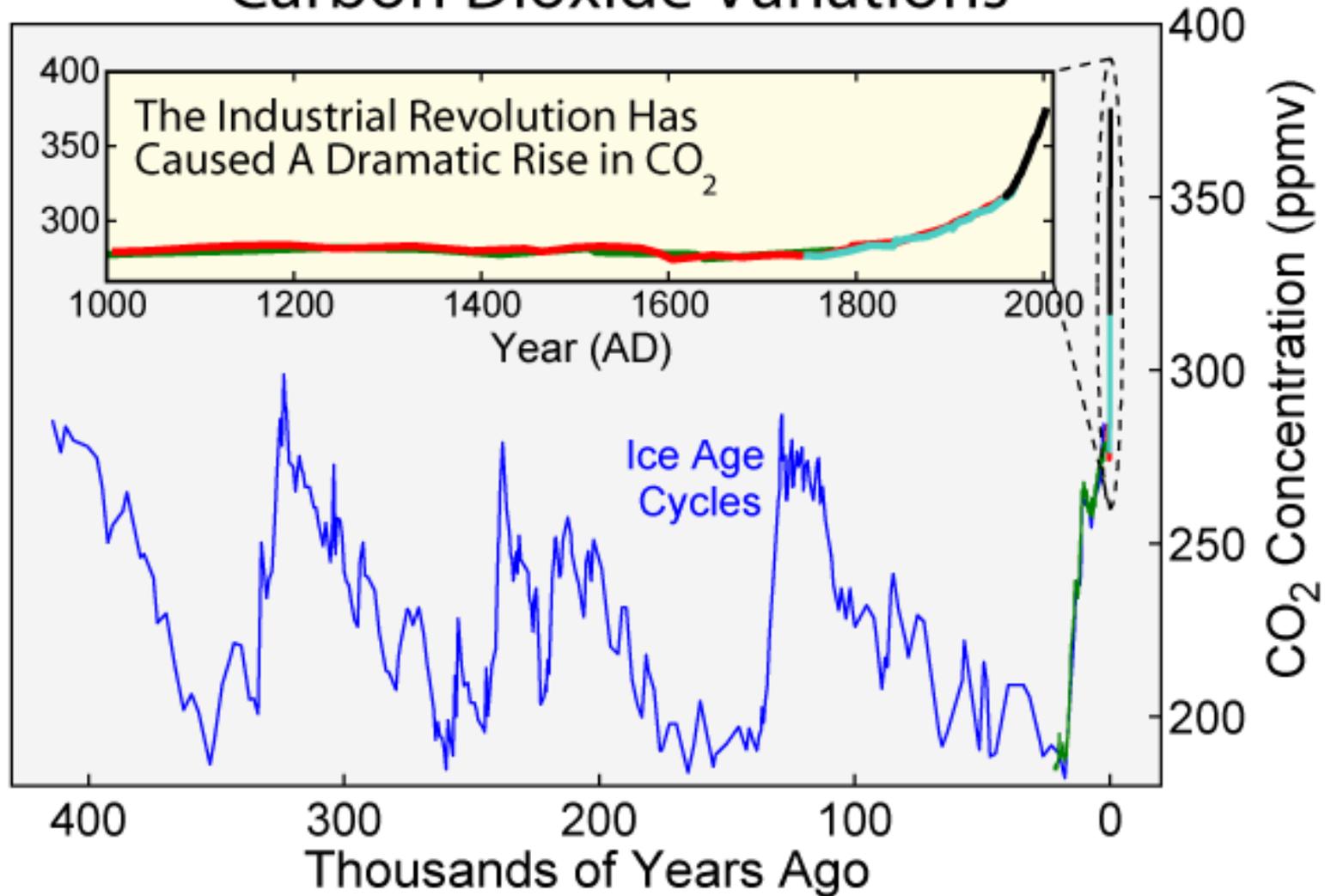
# Variazioni dei parametri climatici



**Fig. 16.2** Phanerozoic time scale and (a) magnetic polarity (Eide & Torsvik, 1996; Gee & Kent, 2007), (b) extinction events (five major and an impact scenario commonly invoked to explain the Cretaceous–Paleogene event), (c) LIP events (listed in Appendix 1), (d) icehouse (cold) vs. greenhouse (hot) conditions, (e) atmospheric  $p\text{CO}_2$  (Royer, 2006), (f) mean temperature anomaly (Royer et al., 2007; Veizer et al., 2000; Came et al., 2007), and (g) global sea-level variations (red dashed line after Hallam, 1988; black line after Haq & Al-Qahtani, 2005; Haq & Shutter, 2008). AF, Afar LIP; CNS, Cretaceous Normal Superchron; CP, Central Atlantic Magmatic Province; DT, Deccan Traps; GI, North Atlantic Igneous Province (NAIP); KA, Kalkarindji LIP; KR, Karroo LIP; KRS, Kiaman Reverse Superchron; PE, Paraná–Etendeka LIP; SC, Skagerrak Centred LIP; ST, Siberian Traps; YK, Yakutsk LIP.

# Il futuro che ci aspetta

## Carbon Dioxide Variations



# Il futuro che ci aspetta

- Qualche insegnamento dal passato:
  - C'è da temere un riscaldamento incontrollato tipo pianeta Venere?
  - La Terra nel passato ha avuto concentrazioni di  $\text{CO}_2$  anche 100 volte quelle attuali e le ha sempre riassorbite. Il ciclo naturale del carbonio è un equilibratore potentissimo. Il livello attuale è ai minimi geologici. Gli oceani sono freddi con grande capacità termica non sfruttata

# Il futuro che ci aspetta

- Quali gli effetti negativi di un riscaldamento climatico comunque importante?
  - Il passato dice che il riscaldamento si concentra ai poli
  - Scioglimento parziale o totale delle calotte antartiche e Groenlandesi
  - Innalzamento dei mari fino a 80 metri
  - Anche se lento, costi inestimabili
  - Più evaporazione, fenomeni atmosferici più intensi
  - Cambio della circolazione atmosferica e delle zone coltivabili. Chi guadagna e chi perde.

# Il futuro che ci aspetta

- Allora sarebbe meglio un raffreddamento?
  - Nossignore. Ancora piu' temibile
  - Diminuzione delle precipitazioni
  - Inaridimento del pianeta
  - Ricopertura glaciale di parte della Siberia e del Canada
  - Abbassamento dei mari fino a 100 metri
  - Interramento di tutti i porti del mondo

# Conclusione

- La civiltà e' nata su misura per questo clima
- Ogni cambiamento anche piccolo e deleterio
- Le piccole variazioni storiche hanno provocato carestie, epidemie, invasioni e crolli di civiltà con milioni di morti.
- E' prevedibile che variazioni piu' marcate portino conseguenze piu' catastrofiche

# Conclusione

- Consumare energie fossili non rinnovabili e' comunque non sostenibile
- Stiamo consumando i risparmi di famiglia
- E' irresponsabile a prescindere
- I fondamenti energetici della nostra civiltà vanno intelligentemente ma radicalmente modificati

# Conclusione

- Due soluzioni possibili: ricavare energia da fonti esterne al pianeta o genuinamente rinnovabili
- Riuscire a produrre energia dalla Fusione Nucleare (progetto Iter) cioe' portarci un pezzo di Sole in casa