



Università  
degli Studi  
di Ferrara

Dipartimento di Studi Umanistici



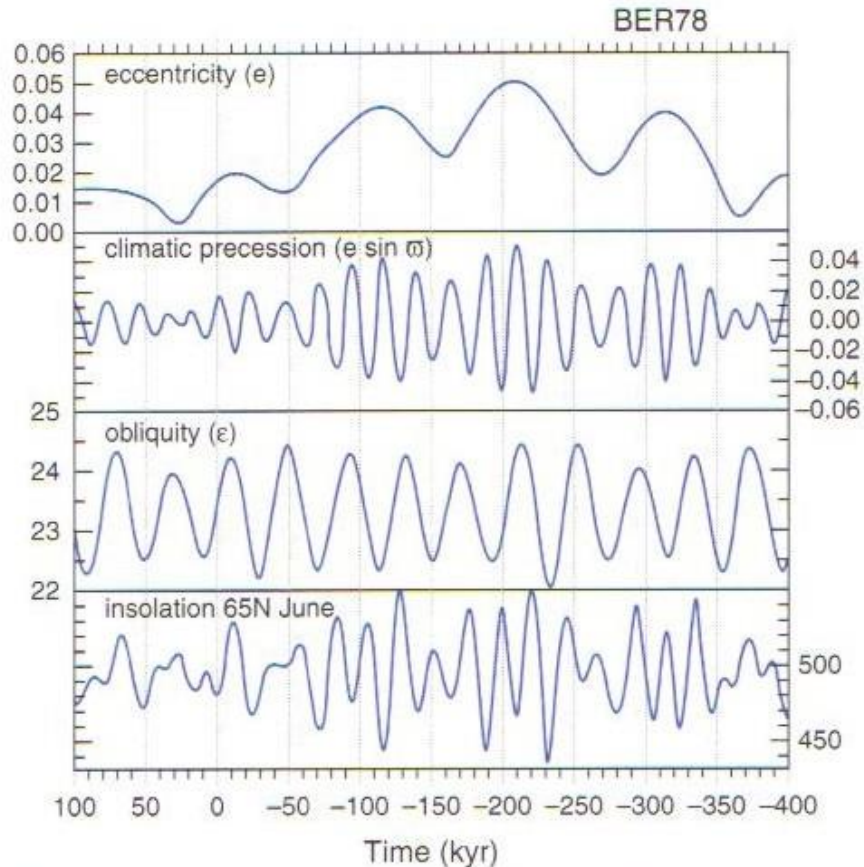
# Ecologia Preistorica

Prof. Marco Peresani

A.A. 2021-2022

Lezione 3 - Curve isotopiche marine

## Cicli astronomici e variazioni dell'insolazione



**Figure 1** Long-term variations over the last 400 ky and the next 100 ky of eccentricity, climatic precession, obliquity, and 65°N insolation at the summer solstice in  $WM^{-2}$  (Berger, 1978). This insolation is shown as an example of Milankovitch (1941) principles. It must be stressed that all latitudes and days are used in the LLN models. Ky, thousand years; LLN, Louvain-la-Neuve.

*Solo negli ultimi quattrocento anni si hanno misure di temperatura realmente effettuate; quelle risalenti a migliaia o a decine di migliaia di anni fa vengono dedotte.*

*Come?*

*Da carotaggi nel ghiaccio o in sedimenti marini, misurando la concentrazione di alcuni isotopi degli elementi naturali (Ossigeno, Azoto) o di ioni (del Calcio, del Sodio), l'accumulazione del metano. In alcuni casi è stato misurato lo spessore degli anelli degli alberi.*

*Questi dati (**proxy records**) consentono di determinare le variazioni di temperatura.*

**Il paleoclima è registrato lungo le  
carote di ghiaccio polare e nella  
composizione isotopica delle  
successioni sedimentarie marine**

**Isotopic stratigraphy  
Marine records  
Ice-core records**















# Deep Sea Drilling Project Reports and Publications

[Initial Reports](#) | [Technical Notes](#) | [Technical Reports](#) | [About DSDP](#) |

[Home](#)

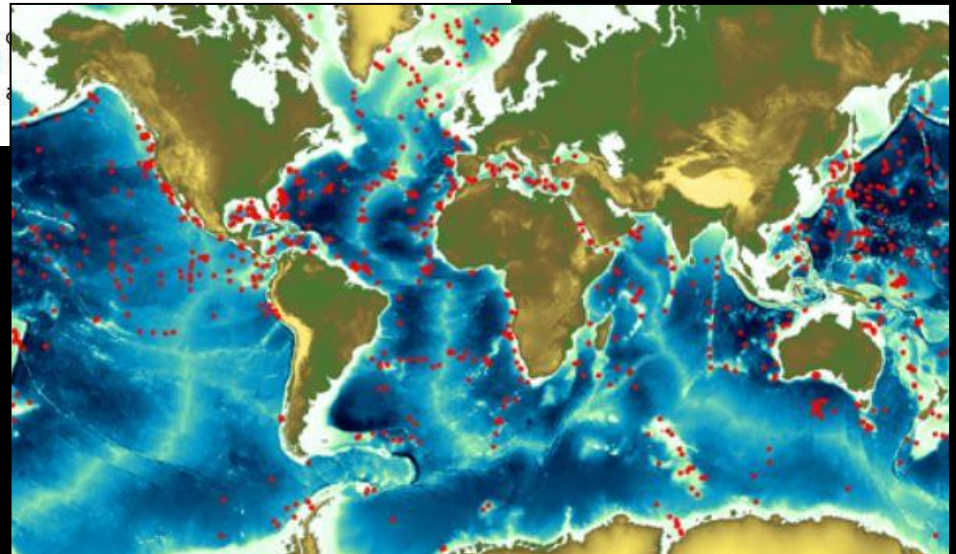
## About the Deep Sea Drilling Project

The Deep Sea Drilling Project (DSDP) was the first of three international scientific ocean drilling programs that have operated over more than 40 years.

### History

It was on June 24, 1966, that the Prime Contract between the National Science Foundation (NSF) and The Regents, University of California was signed. This contract began Phase I of the DSDP, which was based out of Scripps Institution of Oceanography at the University of California, San Diego. Global Marine, Inc. conducted the drilling operations.

The Levingston Shipbuilding Company laid the keel of the ship on August 18, 1967, in Orange, Texas. The ship was launched and sailed down the Sabine River to the Gulf of Mexico, where it was accepted on August 11, 1968.







## La Joides Resolution nel Mare Cinese Meridionale

(IODP exp. 368, Foto di Ph. Shushao)

IODP-Italia promuove e rappresenta la partecipazione italiana al programma internazionale di perforazione oceanica IODP (International Ocean Discovery Program), mediante l'adesione al consorzio ECORD (European Consortium for Ocean Research Drilling). La rappresentanza italiana nelle strutture di ECORD e IODP è sostenuta e guidata dalla **Commissione IODP-Italia**, che coordina e promuove le attività ricerca e divulgazione legate al programma. ([leggi tutto](#))

Per maggiori informazioni sulle attività di IODP-Italia o per ricevere aggiornamenti periodici sulle novità ed opportunità legate a IODP, puoi scriverci all'indirizzo email [iodp-italia@cnr.it](mailto:iodp-italia@cnr.it)



ECORD-IODP

Una lista di Twitter di [@CNRDTA](#)

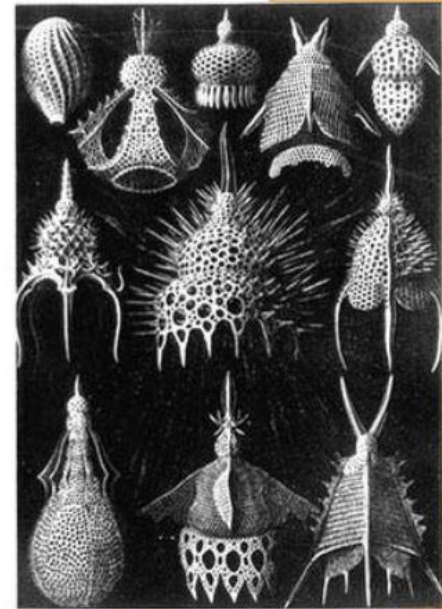
# Foraminiferi





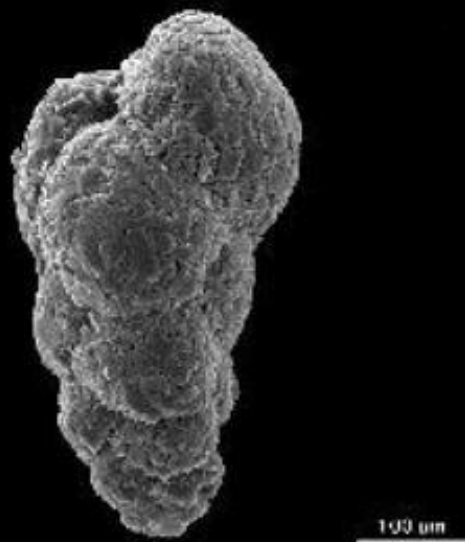
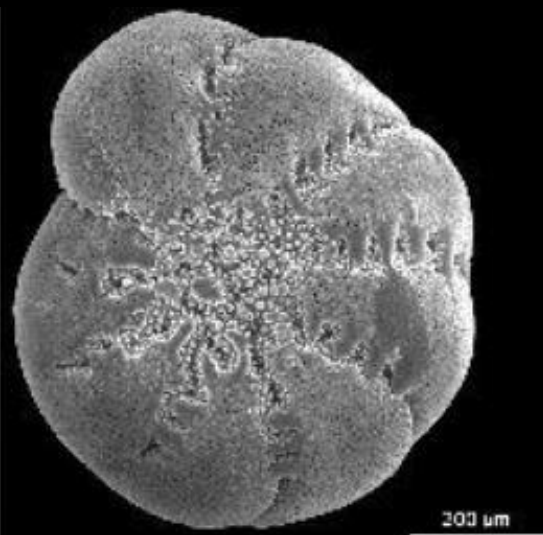
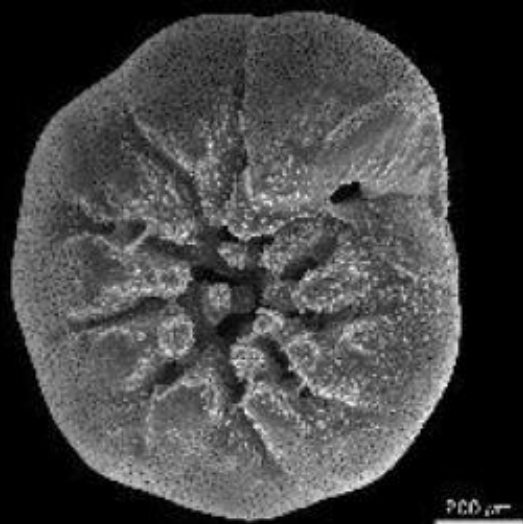
## FORAMINIFERI

Ordine di Protozoi Sarcodini. Di origini antichissime, sono considerati utili fossili guida, specie nella ricerca di formazioni petrolifere. Hanno guscio calcareo con numerosi fori da cui escono i sottilissimi pseudopodi. Sono quasi tutti marini e i loro gusci formano negli abissi oceanici ingenti depositi (fango a Foraminiferi). Tra i generi viventi: *Globigerina*, *Rotalia*, *Textularia*; tra i fossili, le grandi Nummuliti.

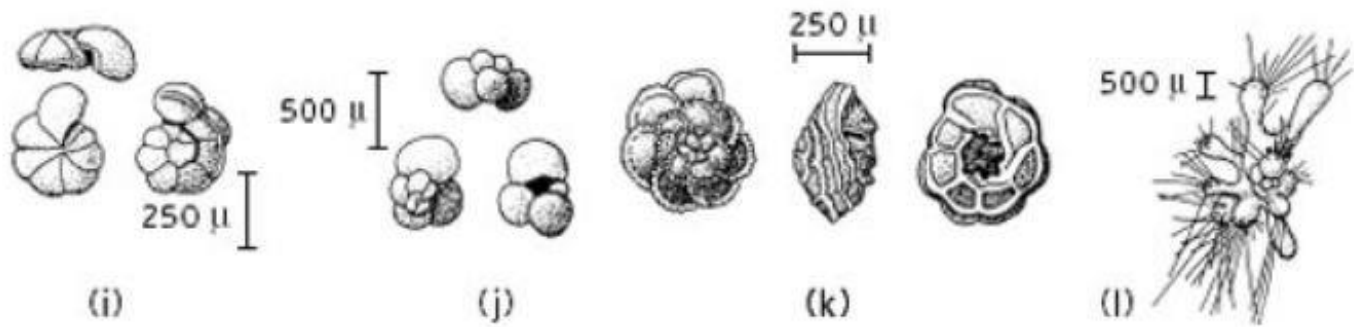
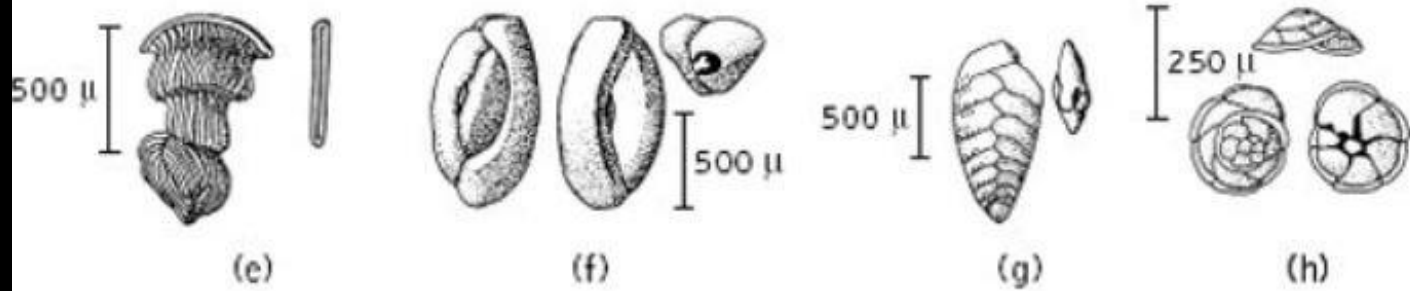
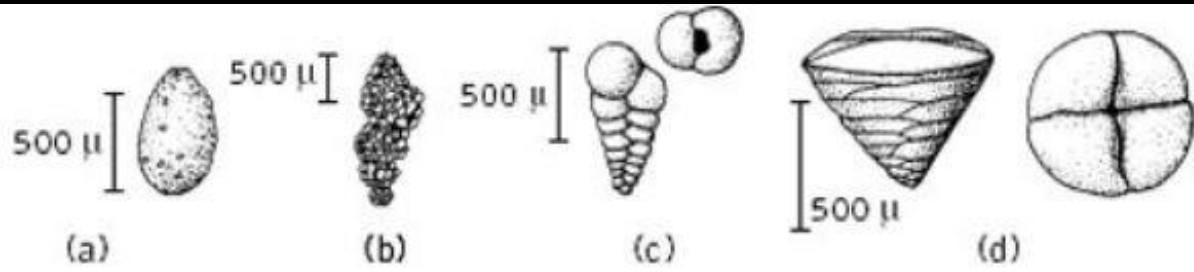


RADIOLARI – Impalcatura silicea

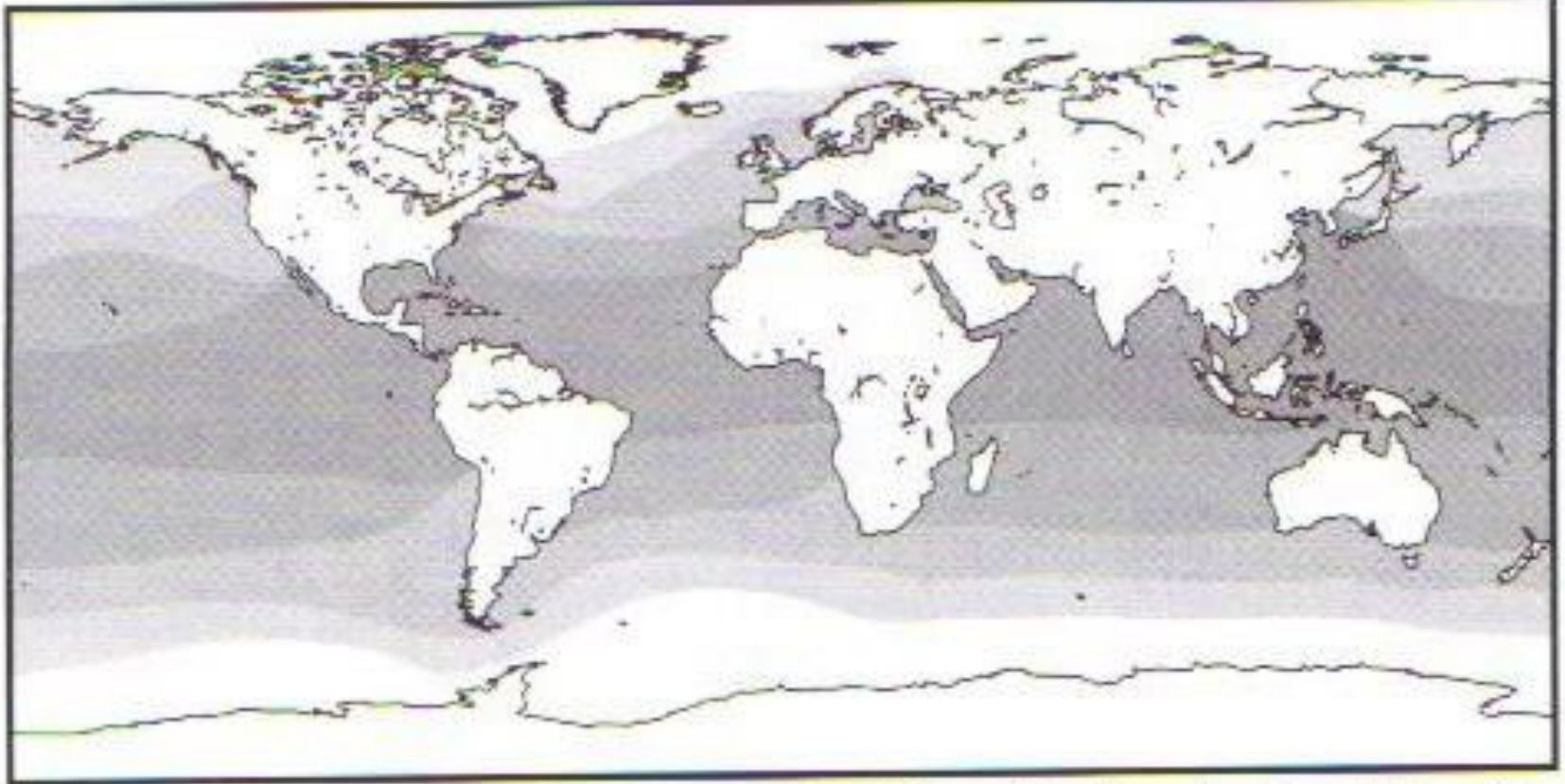








# Distribuzione dei foraminiferi in base alle grandi fasce climatiche latitudinali



Legend for climate zones:

- White box: Polar
- Light gray box: Subpolar
- Medium gray box: Transitional
- Dark gray box: Subtropical
- Darkest gray box: Tropical

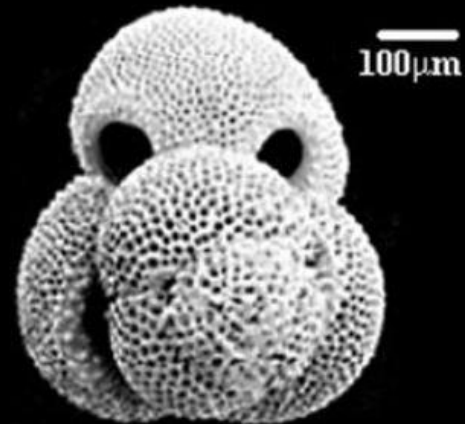
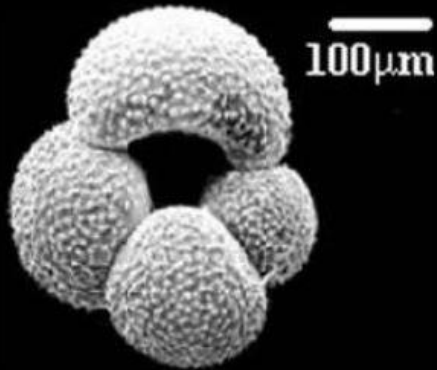


# CURVE PALEOCLIMATICHE

## Isotopi stabili dell'Ossigeno

I foraminiferi planctonici, oltre a numerose altre specie di organismi marini, costruiscono un guscio calcareo ( $\text{CaCO}_3$ ) utilizzando l'ossigeno dell'acqua marina. La composizione isotopica dei gusci rispecchia così quella del mare in cui vivono questi animali.

Alla loro morte i foraminiferi planctonici si depositano sul fondo degli oceani, formando sedimenti che si accumulano lentamente.



# Oxygen Isotopes

L'ossigeno ha tre isotopi stabili, con numero di massa 16, 17 e 18

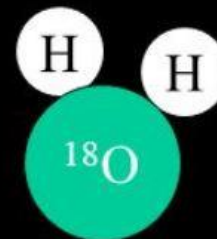
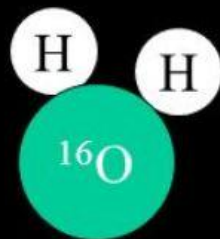
ISOTOPO		MASSA		% in natura
16				
O	▶	15,99491	▶	99,759
8				
17				
O	▶	16,99913	▶	0,037
8				
18				
O	▶	17,99916	▶	0,204
8				



# CURVE PALEOCLIMATICHE

## Isotopi stabili dell'Ossigeno

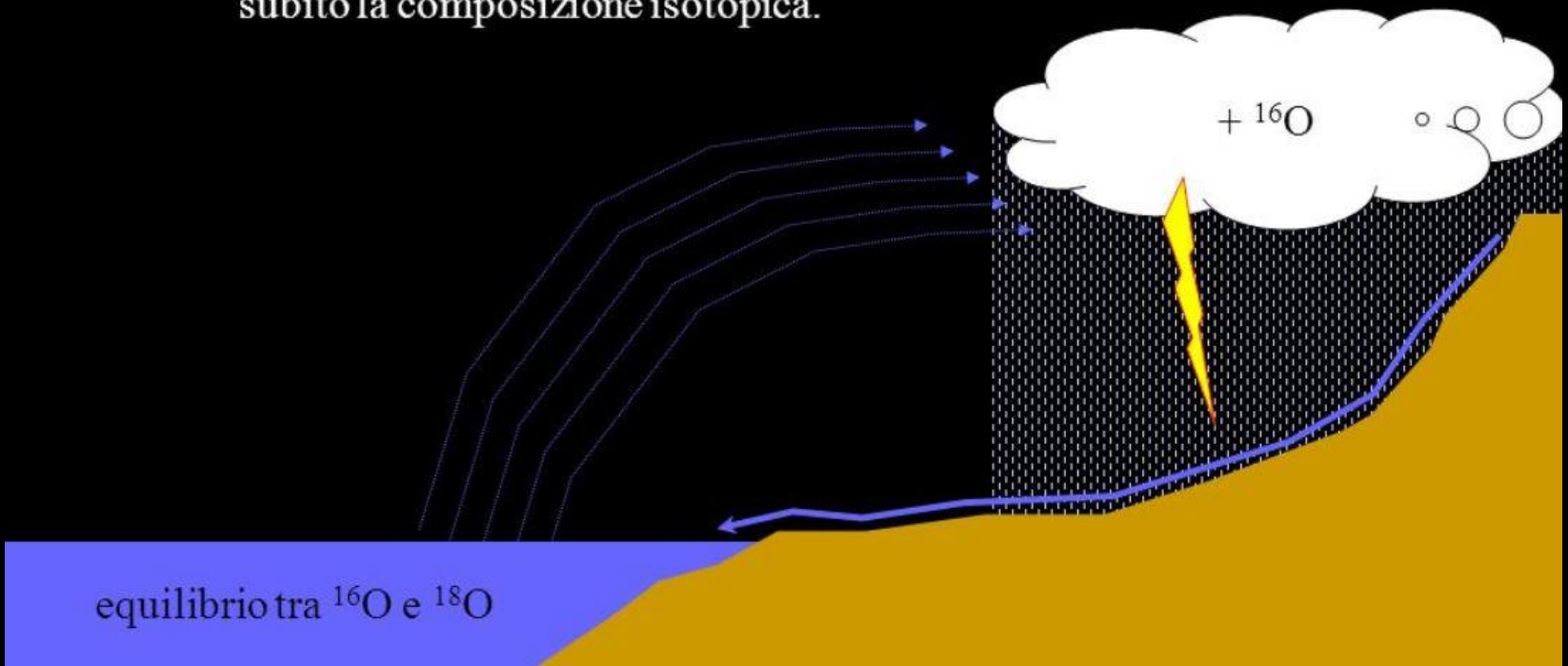
- 1 - Gli isotopi dell'ossigeno  $^{16}\text{O}$  e  $^{18}\text{O}$  sono stabili  
(non si trasformano in altri elementi attraverso processi di decadimento radioattivo).
- 2 - In natura il loro rapporto è costante.
- 3 - Le molecole di acqua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) possono contenere  $^{16}\text{O}$  oppure  $^{18}\text{O}$ .
- 4 - Quelle formate dall'isotopo  $^{16}\text{O}$  (più leggere) evaporano più facilmente di quelle contenenti  $^{18}\text{O}$  (più pesanti)



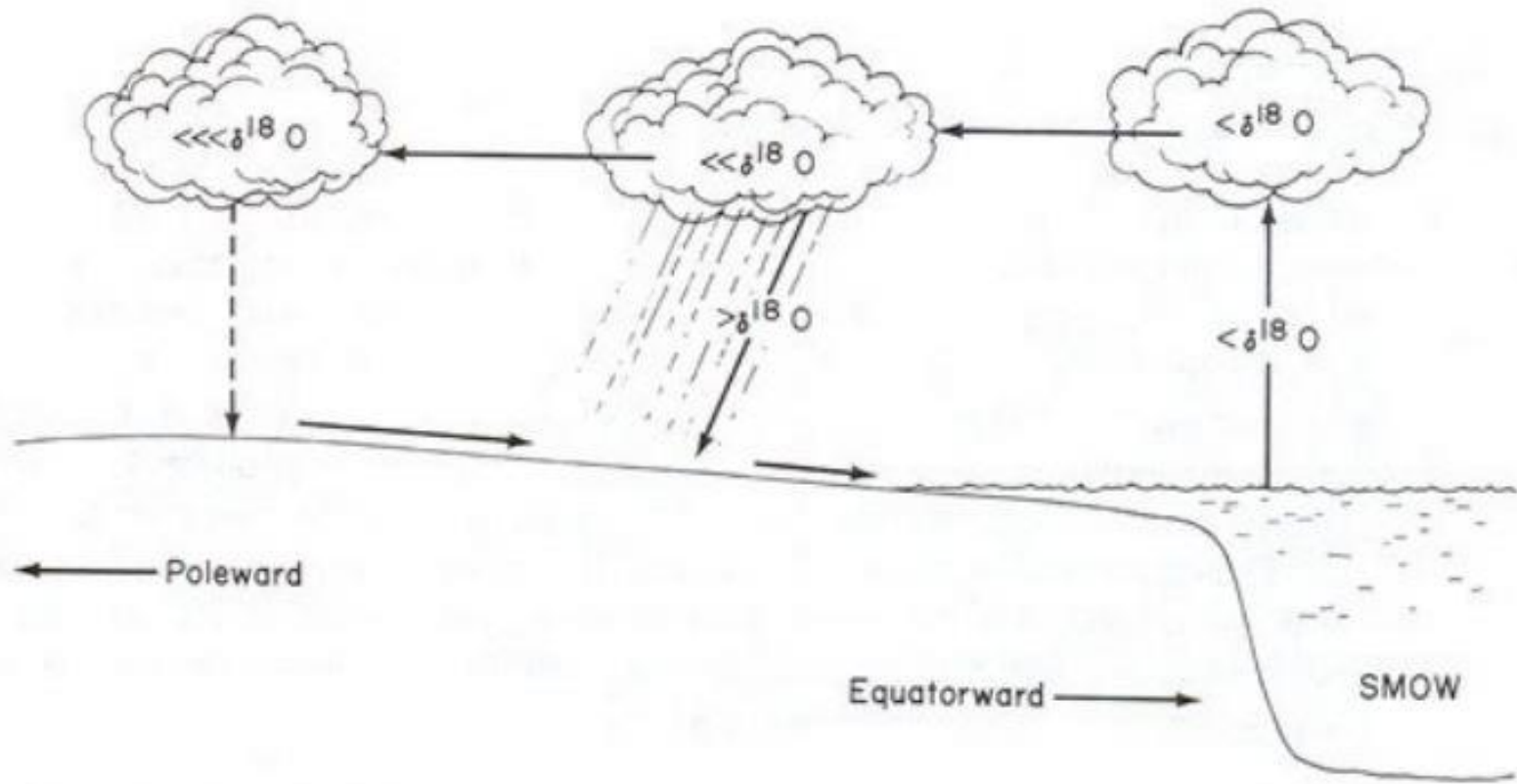
# CURVE PALEOCLIMATICHE

## Isotopi stabili dell'Ossigeno

- 5 - Mari ed oceani tendono ad impoverirsi di  $^{16}\text{O}$ , e di conseguenza ad arricchirsi di  $^{18}\text{O}$ , a causa dell'evaporazione differenziata.
- 6 - L'acqua evaporata ricade sulla terra sotto forma di precipitazioni e, attraverso il ciclo idrogeologico, ritorna nei mari riequilibrandone subito la composizione isotopica.

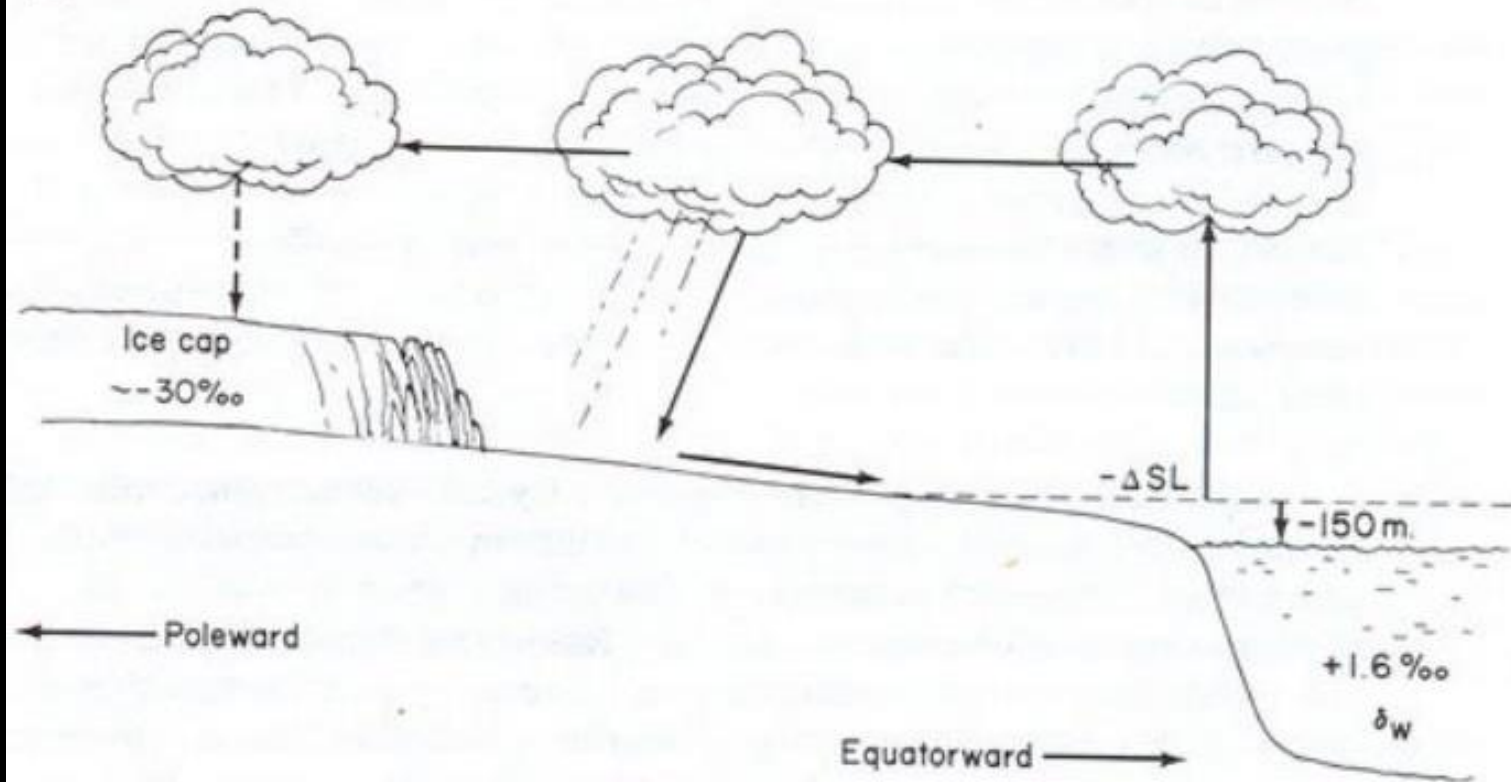


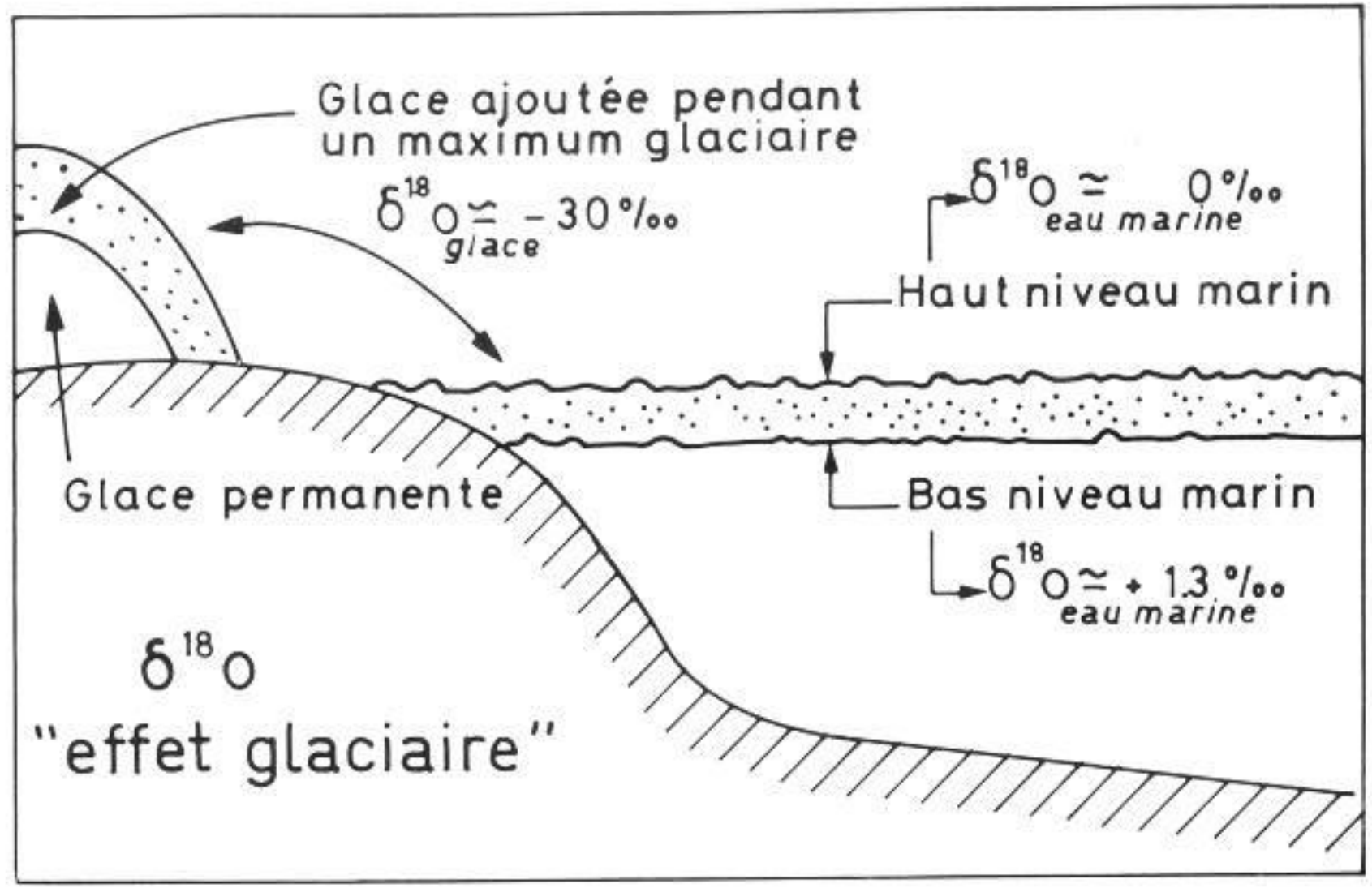
(A)





(B)





## Metodo di datazione tramite il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

**Principio (1):** foraminiferi viventi in acque fredde presentano un contenuto di  $^{18}\text{O}$  maggiore di quelli che vivono in acque più calde (Urey, 1947).

**Risultati (1):** analisi di 8 carote (Emiliani 1955). Rivelate 7 oscillazioni climatiche negli ultimi 30000 anni, cronologicamente in accordo con risultati della teoria di Milankovitch. ~~Alcune contraddizioni con risultati di Eriksen~~

**Principio (2):** l'isotopo  $^{18}\text{O}$ , più pesante, evapora più lentamente dell'isotopo  $^{16}\text{O}$ . In un periodo glaciale acqua arricchita di  $^{16}\text{O}$  resta imprigionata nei ghiacci, mentre aumenta la concentrazione di  $^{18}\text{O}$  negli oceani (Shackleton e Imbrie, 1969).

**Risultati (2):** ricostruzione profilo continuo del clima passato. **Osservata presenza di fluttuazioni climatiche con periodi di 413kyr, 100kyr, 41kyr, 23kyr e 19kyr anni.**

**N.B.**

Tali metodi necessitano di una stima per la velocità di sedimentazione.



## CRONOLOGIA ISOTOPICA

Il frazionamento che avviene negli oceani di isotopi pesanti e leggeri dell'ossigeno nell'acqua, nel biossido di carbonio e nel carbonato di calcio, dipende dalla temperatura e dalla salinità. Misure dei rapporti isotopici in test carbonatici sui foraminiferi fossili permettono una valutazione della temperatura del mare e del volume degli oceani, ambedue corrispondenti a variazioni del volume delle coperture glaciali e dei ghiacciai. I rapporti isotopici del ghiaccio danno un quadro della temperatura media dell'aria. Oggi si ha una documentazione continua comprendente quasi tutto il quaternario.

# L'EVOLUZIONE DEL METODO

Inizialmente, Urey usò **gusci di bivalvi**. Fu subito chiaro che servivano fossili più comuni, presenti con maggiore continuità e di ambienti diversi.

Nei primi anni '50 erano già state sviluppate tecniche di raccolta di carote dai fondali oceanici, lunghe sino a 10-20 metri (erano semplici "*piston cores*"). Queste contenevano **foraminiferi planctonici in abbondanza**, mentre erano molto meno comuni i **foraminiferi bentonici**.

Urey creò presso il suo laboratorio una *position* per lo studio degli isotopi dell'ossigeno nel guscio dei foraminiferi planctonici; il posto venne vinto da un giovane micropaleontologo italiano, Cesare Emiliani.

# CESARE EMILIANI: ISOTOPI E FORAMS



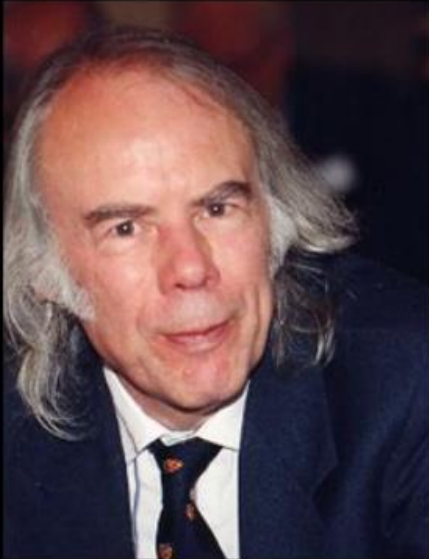
*Nato a Bologna nel 1922, laureato nel 1945 in Scienze Naturali con una tesi in Micropaleontologia. Dopo aver lavorato per l'AGIP, ha iniziato nel 1950 un Dottorato presso il laboratorio di Urey, lavorando sugli isotopi stabili dell'ossigeno sui foraminiferi che conosceva dai suoi studi in Italia. Trasferitosi all'Università di Miami, è diventato uno dei fondatori della moderna Paleoceanografia. E' morto nel 1992.*



Dopo qualche anno di lavoro, Cesare Emiliani pubblicò le sue prime “curve” isotopiche basate sui foraminiferi planctonici di carote raccolte nei Caraibi e nel Mediterraneo. Le carote coprivano l'Olocene e il tardo Pleistocene, con risultati sensazionali.



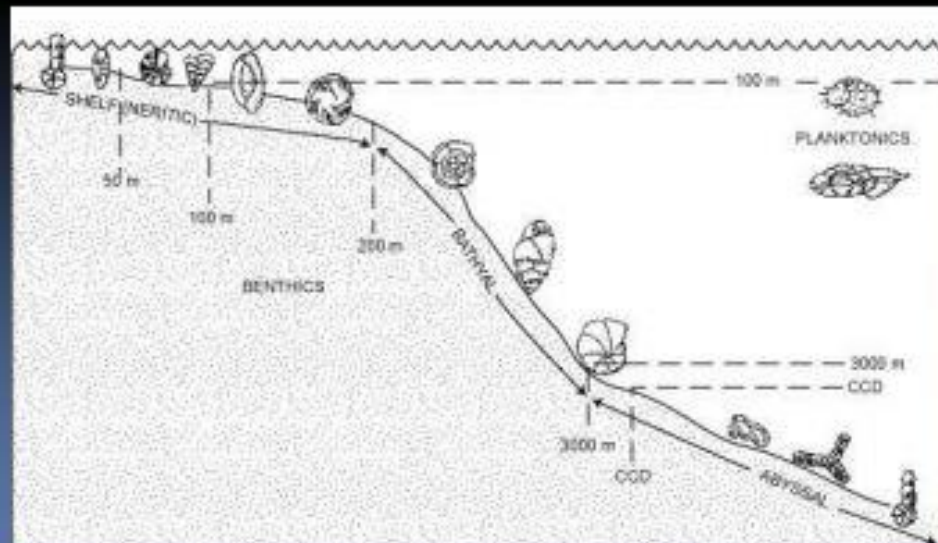
# L'IDEA DI NICK SHACKLETON



*Nella solita Università di Cambridge, a metà degli anni '60 stava concludendo il suo Ph.D in Geochimica isotopica un giovane studente, Nick Shackleton (1937-2005), BS in Fisica, figlio di un grande geologo e nipote del famoso esploratore dell'Antartide. Shackleton non era convinto delle interpretazioni di Urey ed Emiliani, ed era fra coloro che ritenevano l'effetto glaciale molto più importante di T nel "costruire" il  $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$  dei foraminiferi planctonici.*

Nick ebbe un'idea semplice e, allo stesso tempo, grandiosa: **studiare la composizione isotopica dei foraminiferi bentonici.**

Studiare la composizione isotopica dei **foraminiferi bentonici**. Questi vivono sul fondo dell'oceano, che ha mantenuto temperature sostanzialmente costanti durante i glaciali e gli interglaciali.



Lucilla Capotondi

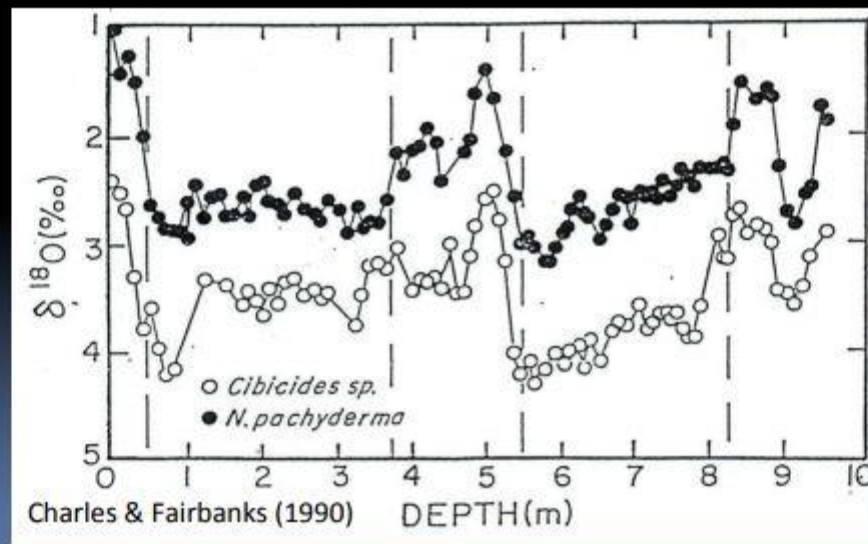
15/06/2011

## RISULTATI

❖ Stratigrafia isotopica

Anche i foraminiferi bentonici, che vivono sul fondo (a temperature pressochè costanti fra il glaciale e l'interglaciale), mostrano le variazioni evidenziate dal  $\delta^{18}\text{O}$  dei foraminiferi planctonici, che vivono in superficie (dove la T varia moltissimo durante i cicli glaciale-interglaciale).

**QUESTI RISULTATI INDICANO CHE IL CAMBIAMENTO DI VOLUME DEI GHIACCI (EFFETTO GLACIALE) E' DI GRAN LUNGA PIU IMPORTANTE, rappresentando il 70-90% del segnale di  $\delta^{18}\text{O}$  in pieno oceano.**



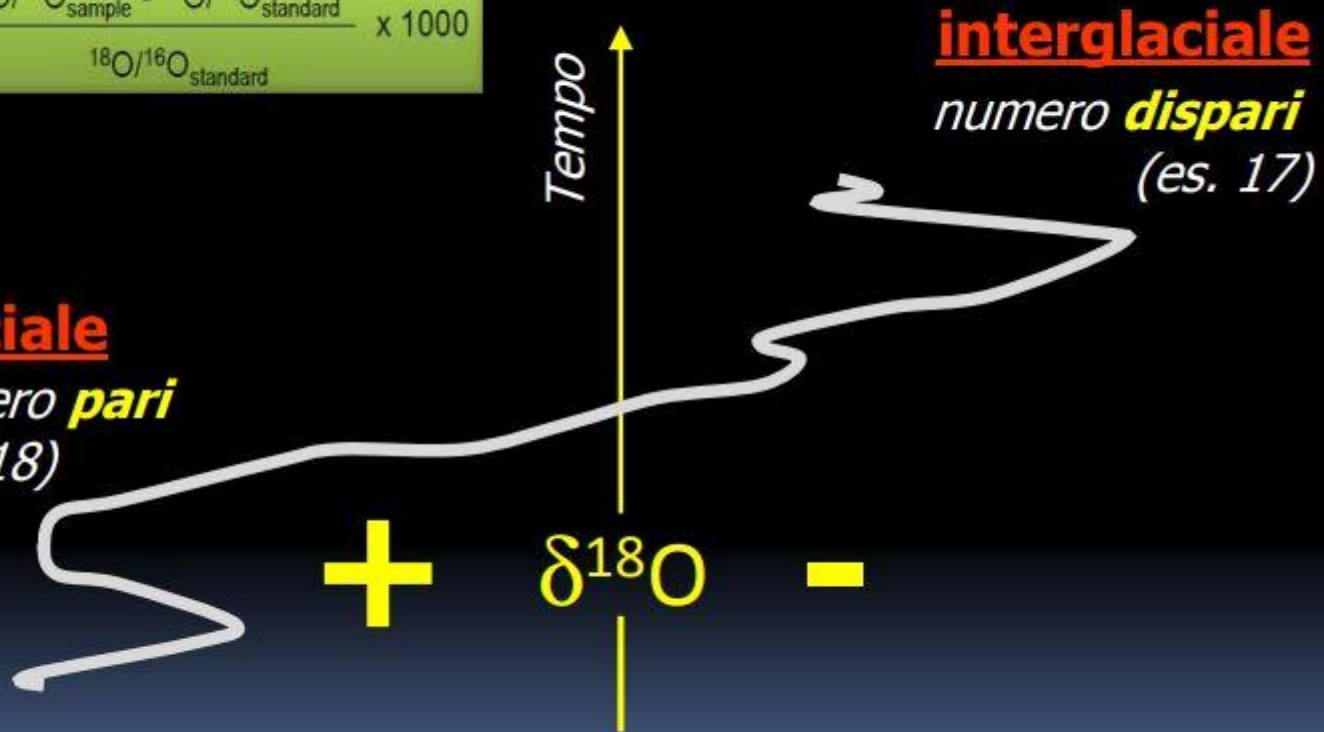
For every 1°C drop in T,  
relative enrichment about 2‰



# MARINE ISOTOPE STAGE (MIS)

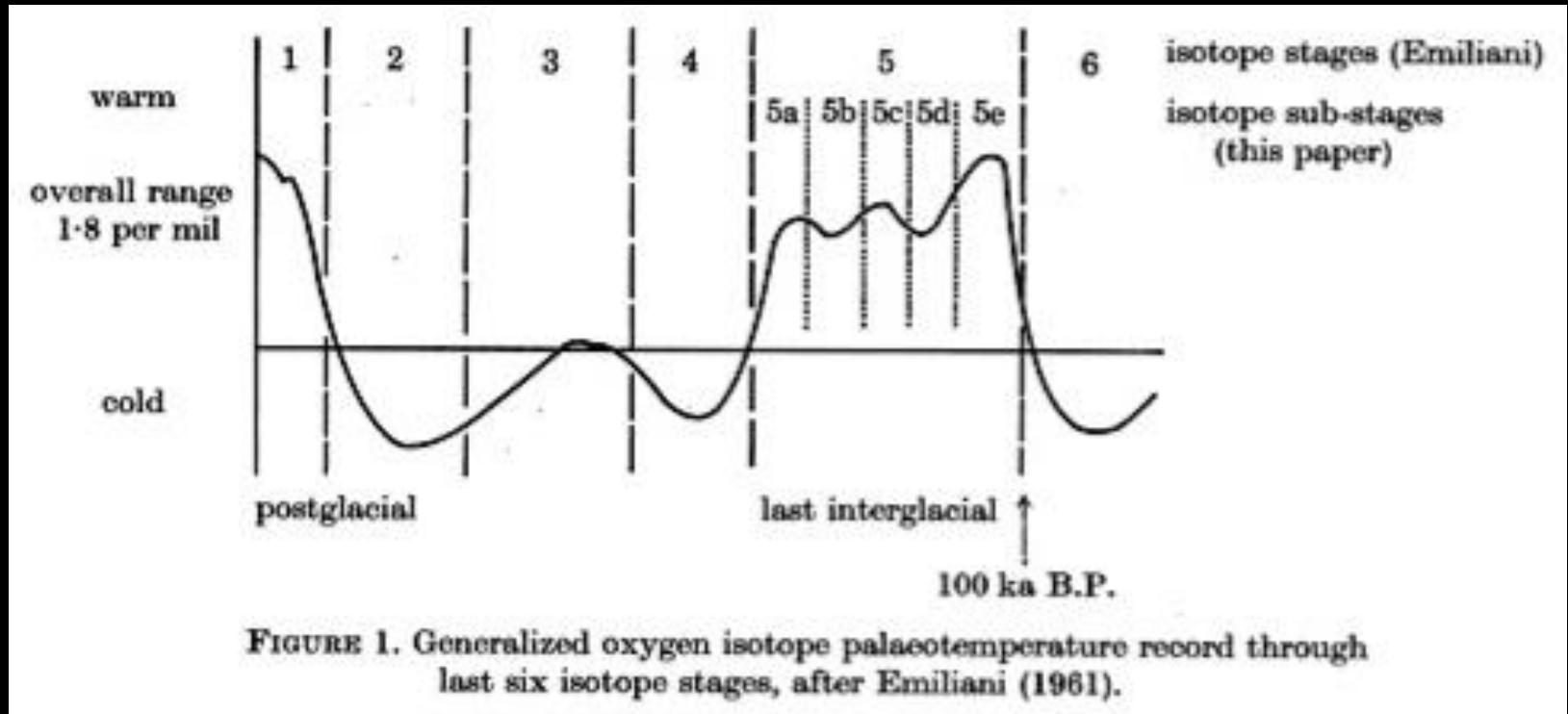
$$\delta^{18}\text{O} = \frac{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{sample}} - {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{standard}}}{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{standard}}} \times 1000$$

**glaciale**  
numero **pari**  
(es. 18)



*Standard codation* degli eventi isotopici

# The birth of isotopic stratigraphy mid '50

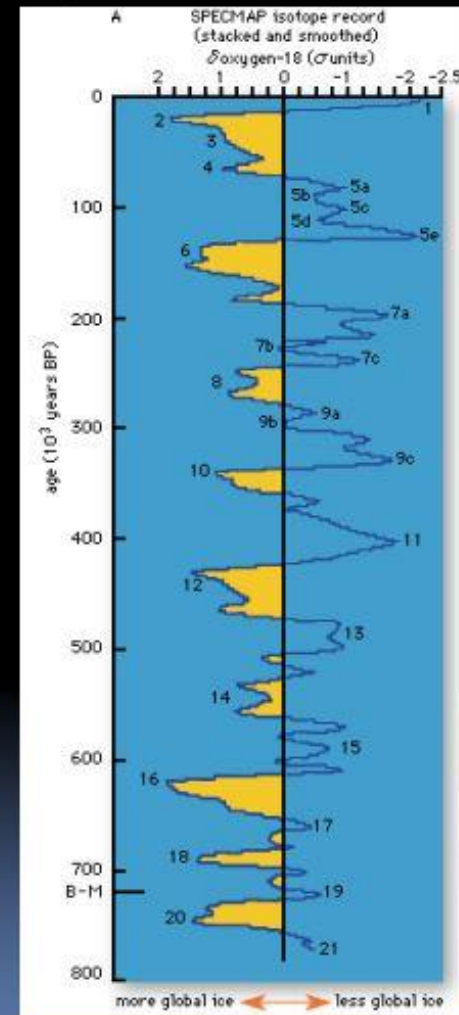


## MARINE ISOTOPE STAGE (MIS)

❖ Stratigrafia isotopica

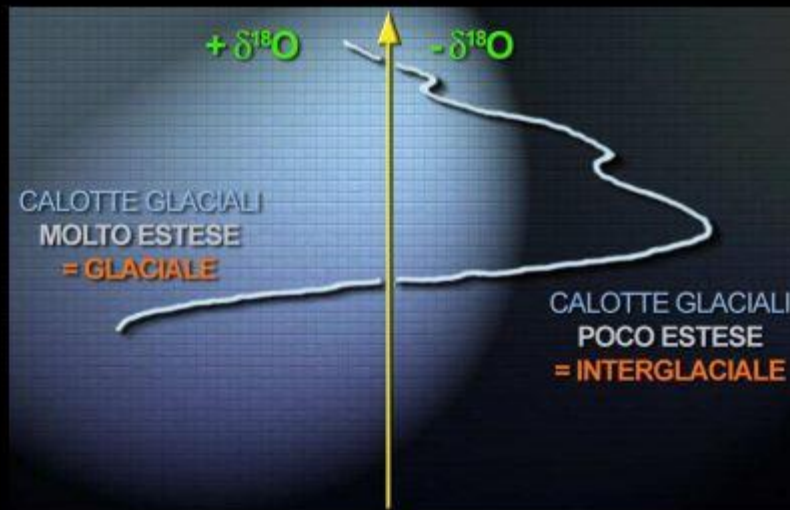
Si riconoscono **PICCHI GLACIALI** ed **INTERGLACIALI** (molto marcati negli ultimi 800 kyr) e oscillazioni minori. Questi picchi marcano intervalli denominati **MARINE ISOTOPE STAGE (MIS)**, che vengono numerati a ritroso partendo dall'interglaciale attuale (**MIS 1**).

Anche i picchi minori sono codificati numericamente e vengono chiamati **STADIALI** i periodi con temperature più fredde durante un interglaciale e **INTERSTADIALI** i periodi con temperature più calde all'interno di un glaciale.



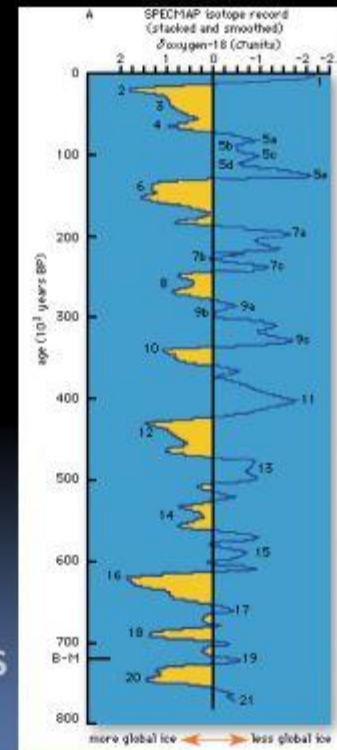


La **STRATIGRAFIA ISOTOPICA (OIS)** è la suddivisione del tempo geologico in base ad una successione di eventi isotopici.



Le variazioni del  $\delta^{18}O$  fra glaciale ed interglaciale sono nell'ordine del %

Lo Stack storico SPECMAP, (anni '80) rappresenta un esempio "pioneristico" di OIS



Come datare gli stadi isotopici marini?

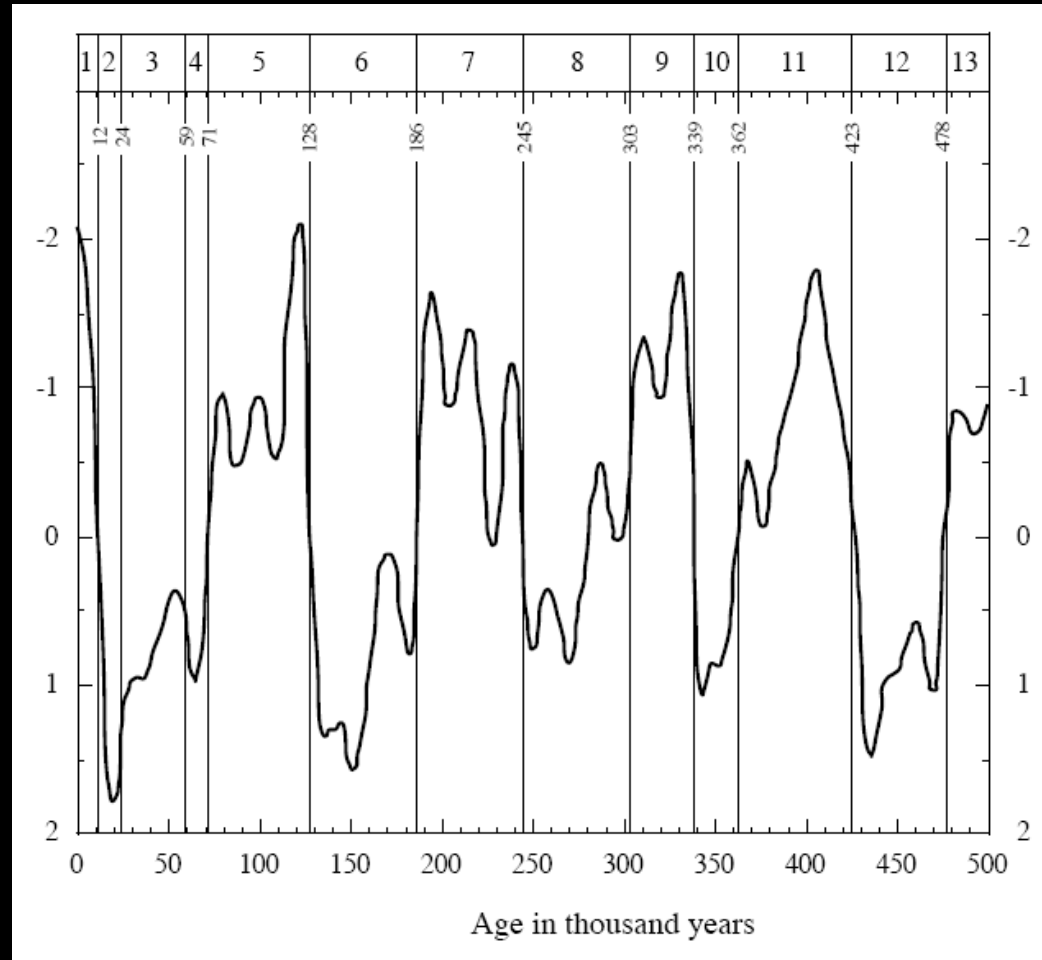
Tasso di sedimentazione annuale > età di un determinato livello a una determinata profondità della carota



James D. Hays



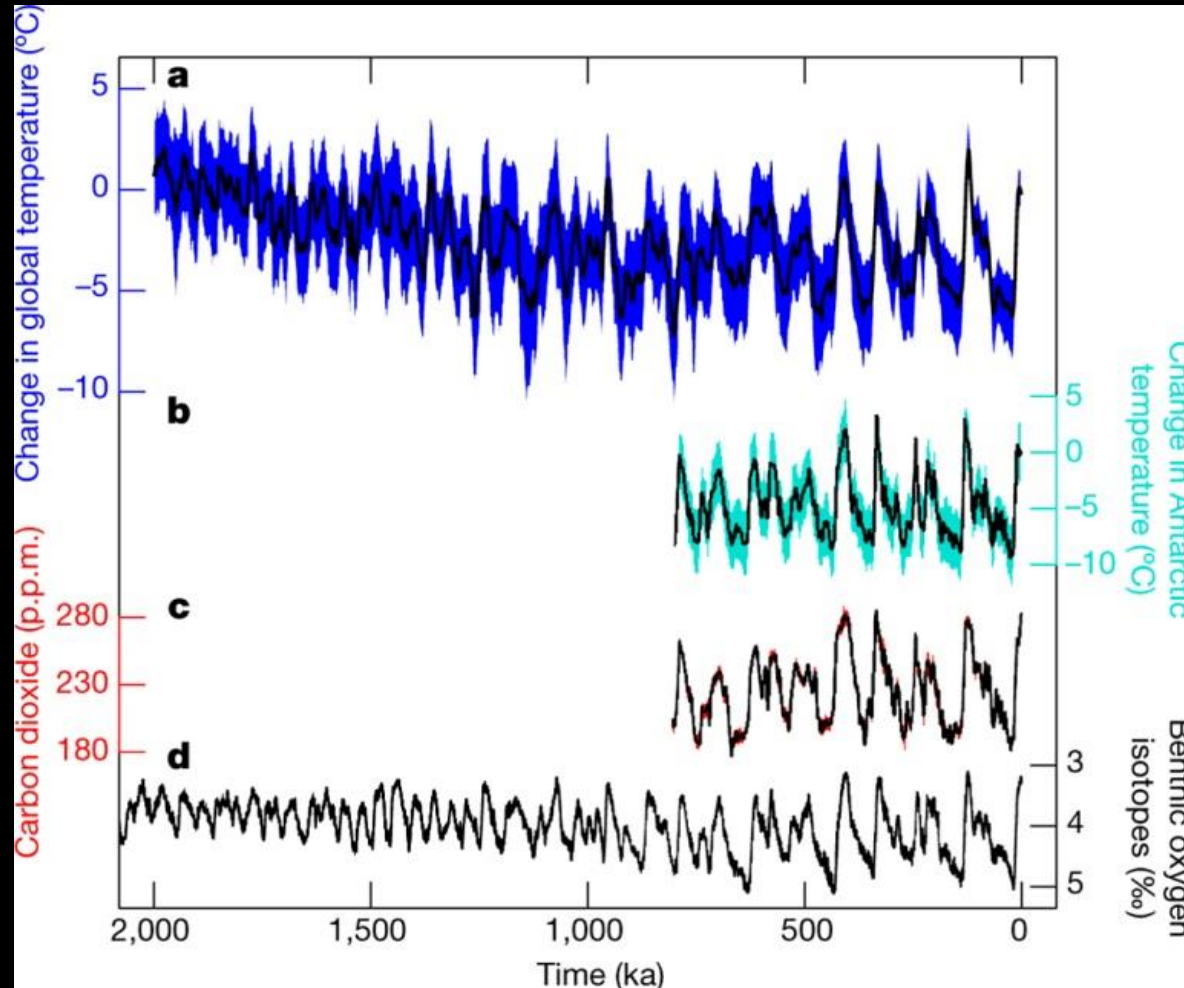
John Imbrie



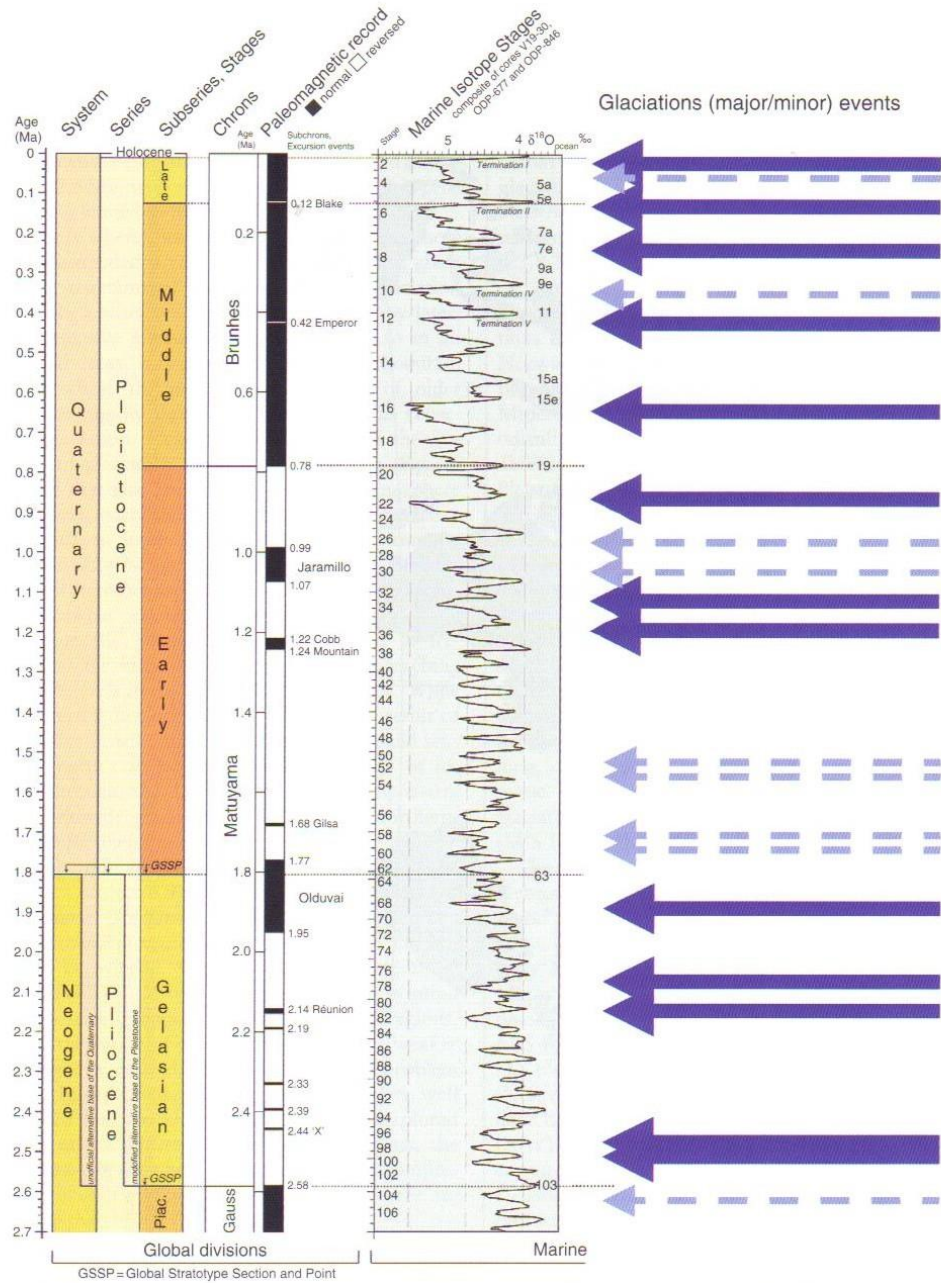
**SPECMAP Imbrie et al. 1984**

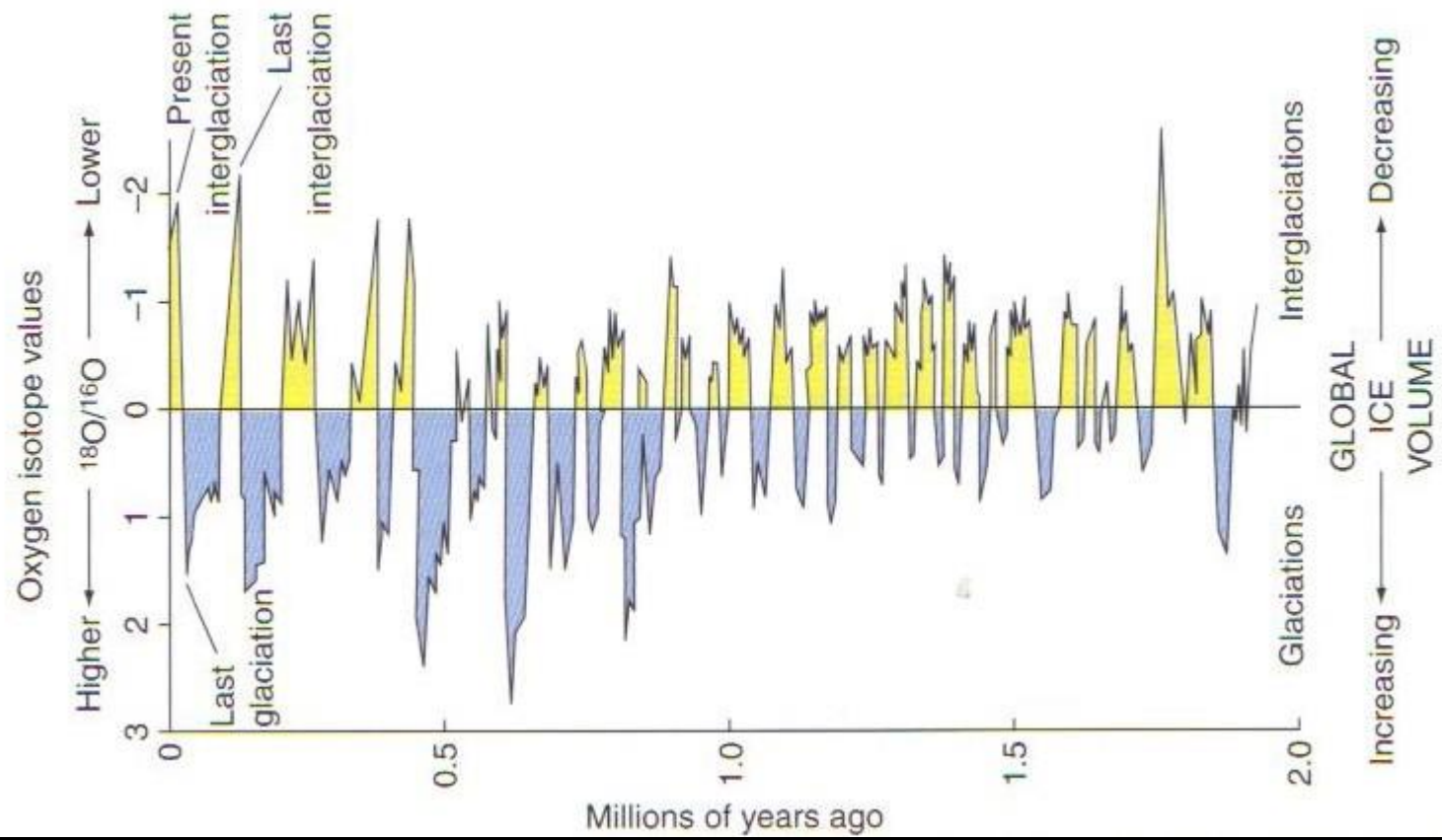
Hays, Imbrie & Shackelton (1976). *Science*, 194

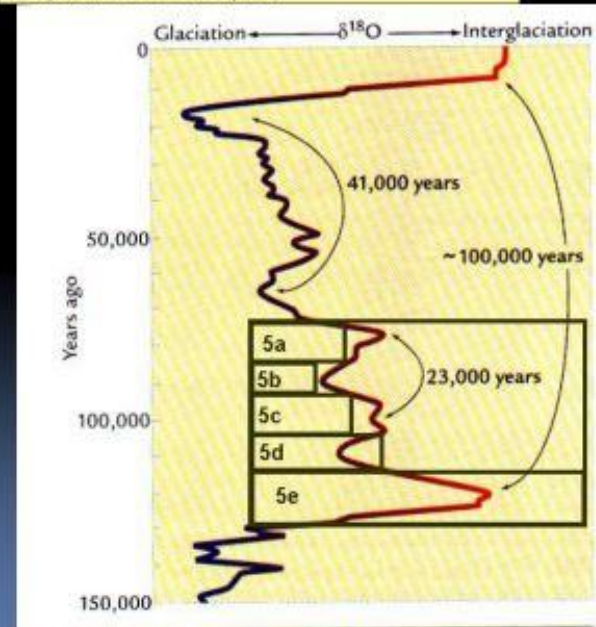
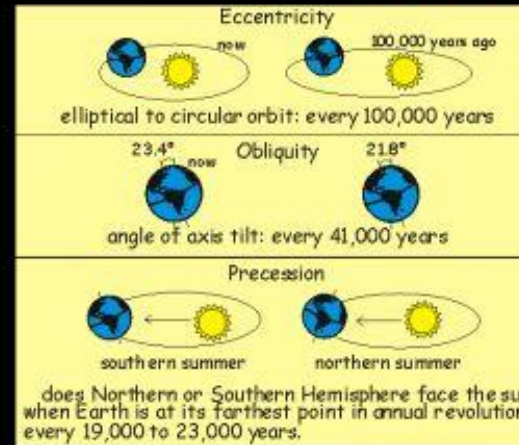
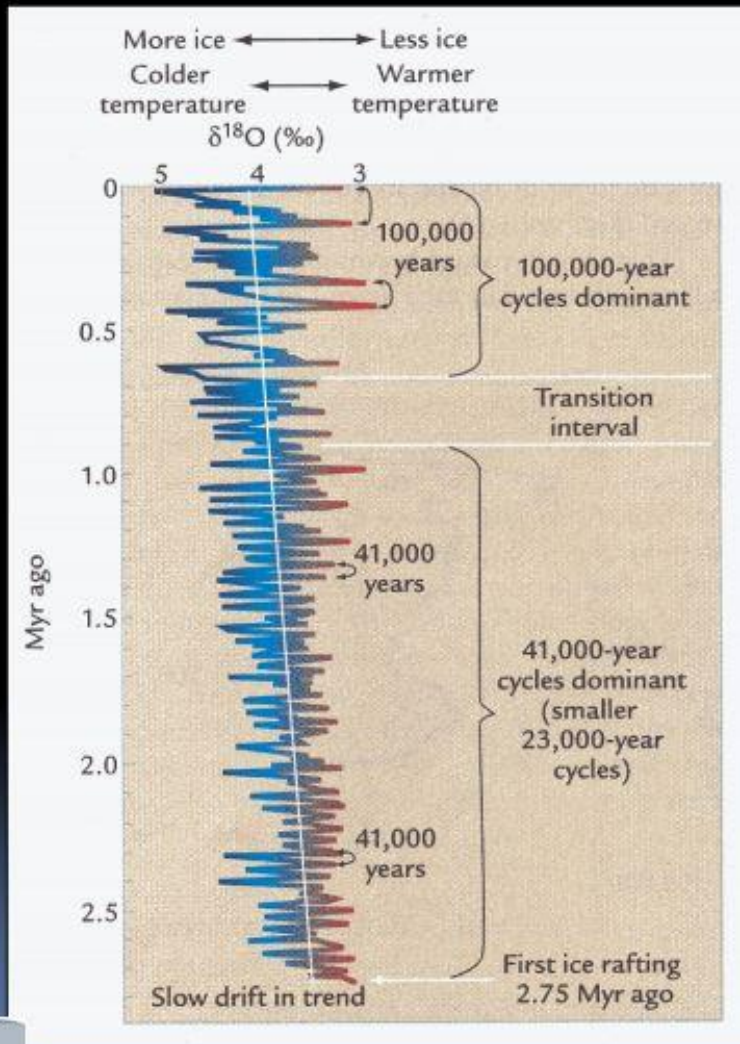
# Reconstruction of global average surface temperature (GAST) over the past 2 million years compared to other key palaeoclimate variables













## Correnti marine e distribuzione del calore

