

Università di Trieste
Corso di Laurea Geologia
A.A. 2024/25

Paleontologia
con elementi di micropaleontologia

Modulo «micropaleontologia»

Prof. Romana Melis

Microfossili

La classificazione del “mondo” vivente:

- **Dominio** Eukaryota (similitudine a livello genetico, DNA)
- **Regno** Protozoa
- **Phylum** Sarcodina
- **Classe** Rhizopoda
- **Ordine** Foraminiferida
- **Famiglia** Miliolidae
- **Genere** *Quinqueloculina*
- **specie** *seminulum* (unità di base)

NB: *Genere* (iniziale maiuscola!) e *specie* (iniziale minuscola!!) si scrivono in *corsivo*

Classificazione delle specie

Haeckel (1894) Tre regni	Copeland (1938) Quattro regni	Whittaker (1969) Cinque regni	Woese (1990) Tre domini	Cavalier-Smith (2004) Due domini e sette regni	
Animalia	Animalia	Animalia	Eukarya	Eukaryota	Animalia
Plantae	Plantae	Plantae			Plantae
	Protista	Fungi			Fungi
		Protista			Chromista
Protista	Monera	Monera	Bacteria	Prokaryota	Bacteria
			Archaea		Archaea

PROKARYOTES	EUKARYOTES
Nucleus absent	Nucleus present
Meiosis absent	Meiosis
1 basic genome	Chromosome number 2-600
Mitochondria absent	Mitochondria present
Chloroplasts absent	Chloroplasts may be present
Endoplasmic reticulum absent	Endoplasmic reticulum present
Vacuoles absent	Vacuoles present

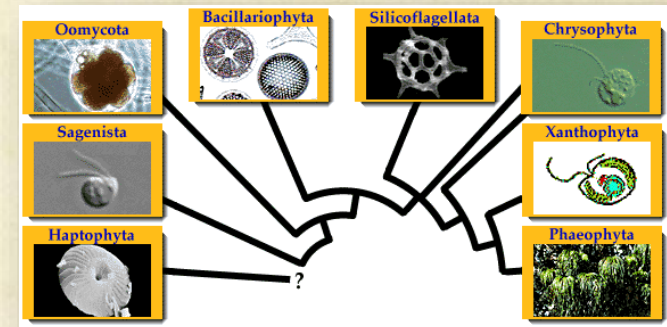
da Lipps, 1992

Gli organismi eucarioti hanno la capacità di produrre membrane capaci di mineralizzazione ed hanno la capacità di “attirare” ioni attraverso la parete cellulare = capacità di biomineralizzare; comparsa di CaCO_3 nei gusci carbonatici di grandi dimensioni a partire da circa 600 Ma (fauna di Ediacara)

Regno	organizzazione cellulare	nutrizione	riproduzione	motilità
<i>Monera</i>	procariotica (priva di nucleo); unicellulare e/o coloniale	autotrofi (foto- o chemiosintesi), eterotrofi (assorbimento)	asessuale (per scissione)	mobili (flagelli) o non mobili
<i>Protista</i>	eucariotica (cellula nucleata); unicellulare e/o coloniale	autotrofi (fotosintesi), eterotrofi (assorbimento o ingestione)	asessuale e sessuale	mobili (ciglia o flagelli) o non mobili
<i>Plantae</i>	eucariotica con pareti (cellulosa); pluricellulare con tessuti	autotrofi (fotosintesi)	sessuale e asessuale	immobili
<i>Fungi</i>	eucariotica con pareti (chitina); sinciziale (senza confini definiti tra le cellule)	eterotrofi (assorbimento)	sessuale e asessuale	immobili
<i>Animalia</i>	eucariotica senza pareti; pluricellulare con tessuti	eterotrofi (ingestione)	generalmente sessuale	mobili (fibre contrattili)

Whittaker, 1969

Ora suddivisi in
Protozoa e Chromista



Chromista: sono organismi prevalentemente fotosintetici, unicellulari e non. Possiedono pigmenti (tra cui la clorofilla) che sono esclusivi di questo regno.

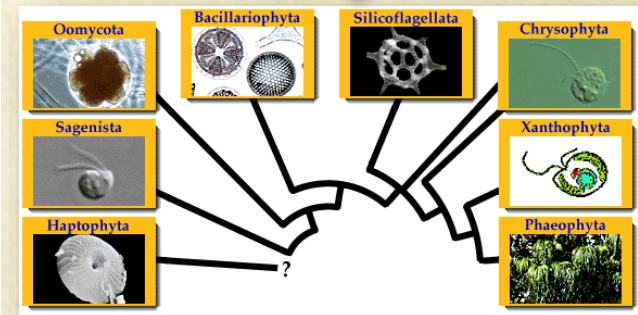
Protista: sono un gruppo eterogeneo e polifiletico di organismi, che comprende quegli eucarioti che non sono considerati né animali né piante o funghi. Hanno in comune a parte un'organizzazione abbastanza semplice (unicellulare o multicellulare senza tessuti altamente specializzati).

Foraminiferi

Regno	organizzazione cellulare	nutrizione	riproduzione	motilità
<i>Monera</i>	procariotica (priva di nucleo); unicellulare e/o coloniale	autotrofi (foto- o chemiosintesi), eterotrofi (assorbimento)	asessuale (per scissione)	mobili (flagelli) o non mobili
<i>Protista</i>	eucariotica (cellula nucleata); unicellulare e/o coloniale	autotrofi (fotosintesi), eterotrofi (assorbimento o ingestione)	asessuale e sessuale	mobili (ciglia o flagelli) o non mobili
<i>Plantae</i>	eucariotica con pareti (cellulosa); pluricellulare con tessuti	autotrofi (fotosintesi)	sessuale e asessuale	immobili
<i>Fungi</i>	eucariotica con pareti (chitina); sinciziale (senza confini definiti tra le cellule)	eterotrofi (assorbimento)	sessuale e asessuale	immobili
<i>Animalia</i>	eucariotica senza pareti; pluricellulare con tessuti	eterotrofi (ingestione)	generalmente sessuale	mobili (fibre contrattili)

Classificazione delle specie - Whittaker, 1969

Ora suddivisi in Protozoa e Chromista



Protozoa: sono organismi eterotrofi, generalmente unicellulari

Chromista: sono organismi prevalentemente fotosintetici, unicellulari e non.

**Dominio Eukariota
Regno Protozoa
Phylum Sarcodina
Classe Rhizopoda
Ordine Foraminiferida**



- I foraminiferi: protozoi unicellulari
- Compaiono nel Cambriano – base del Paleozoico, abbondanti fossili e attuali (circa 50.000 e 5.000 specie, rispettivamente)
- Popolano tutti gli ambienti marini e salmastri (**no acqua dolce**)
- Sono bentonici e planctonici
- Guscio mineralizzato perforato ed imperforato
- Presenza di pseudopodi che possono anastomizzare

Funzione degli pseudopodi:

- Ancoraggio al substrato
- Cattura del cibo, digestione ed espulsione

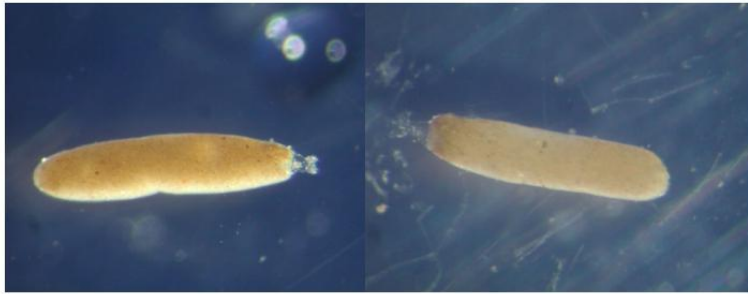


Guscio e diverse tipologie

Il guscio dei foraminiferi può essere molto semplice o molto complesso, è composto di sostanza organica secreta (tectina), di minerali secreti (calcite, aragonite o silice) o di particelle agglutinate. Funzioni: sostegno, protezione, riproduzione, galleggiamento e adattamento morfo-funzionale.

1) Il **guscio pseudochitinoso** è caratteristico delle forme più primitive, generalmente uniloculari.

Gloiogullmia eurystoma



Large morphotypes from Adventfjord (AF1)

Pilulina argentea

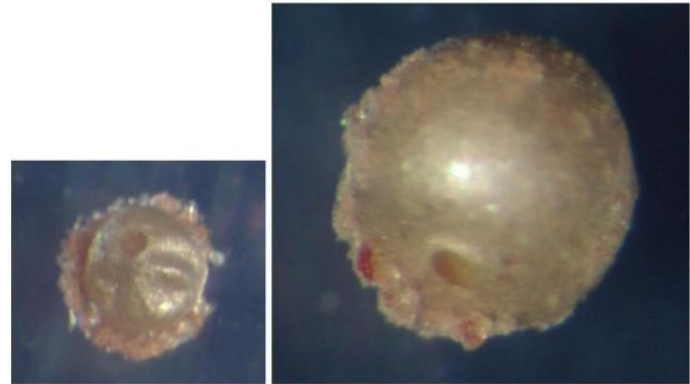
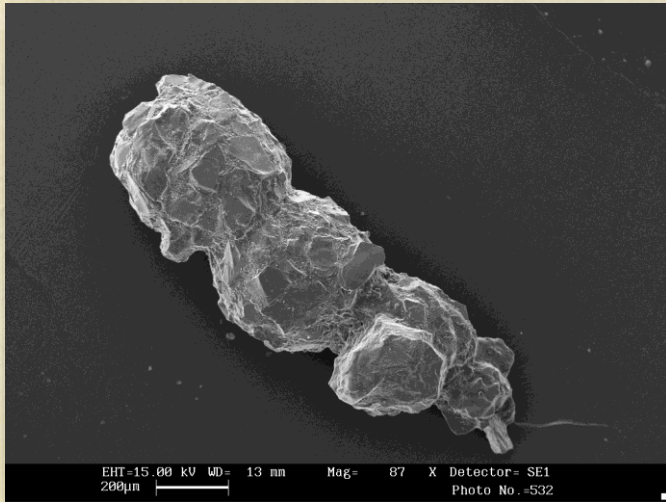


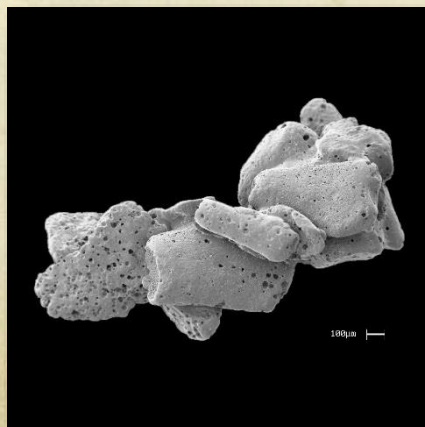
Foto tratte da

http://www.iopan.gda.pl/projects/biodaff/Foram_Pawl/foram_pawl.htm

2) Il **guscio agglutinante** è costituito da una parete organica (POL) nella quale sono inclusi clasti di varia natura, i quali riflettono l'ambiente in cui vive il foraminifero. Presente del cemento. Modo di vita unicamente **bentonico**



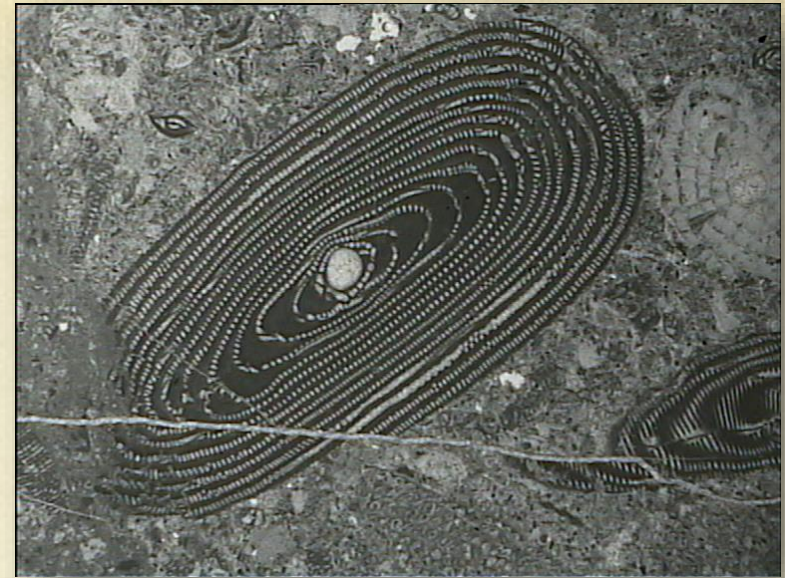
Visione in
sezione
sottile



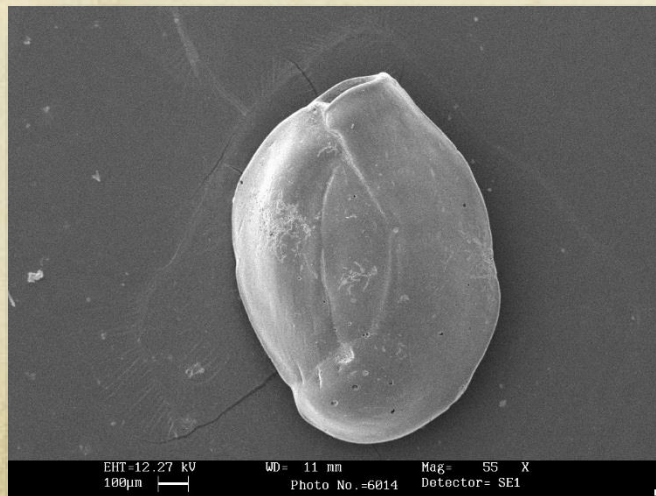
3) Il **guscio porcellanaceo** è un guscio a composizione calcarea che appare tipicamente lucente e porcellanaceo a luce riflessa e di colorazione scura a luce trasmessa.

E' formato da cristalli di calcite e/o magnesite in proporzioni variabili, di dimensioni di circa 1.5 μm , disposti senza orientazione.

Questo guscio è caratteristico dei foraminiferi imperforati; modo di vita unicamente bentonico.

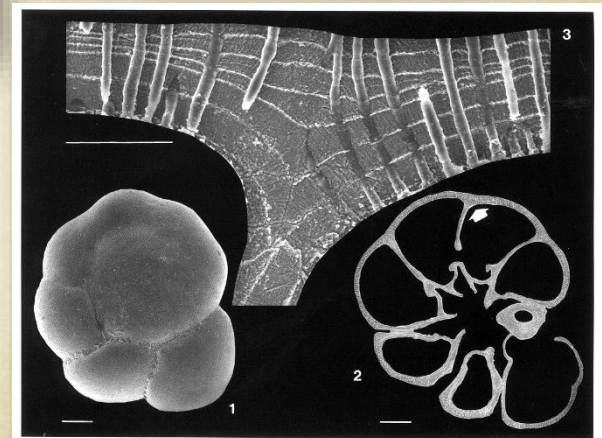
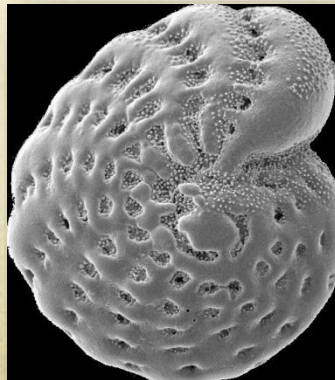
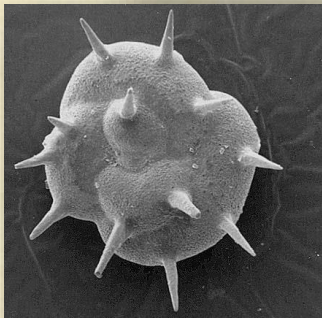
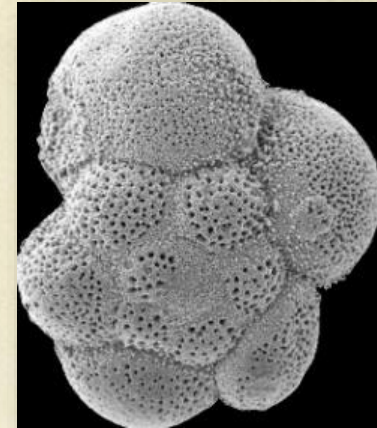
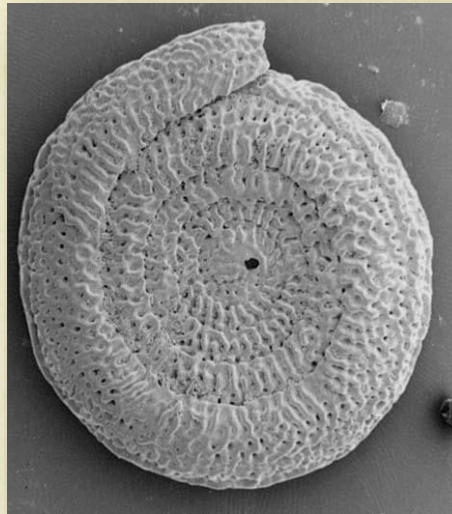
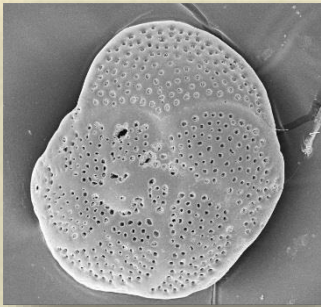


Visione in sezione sottile

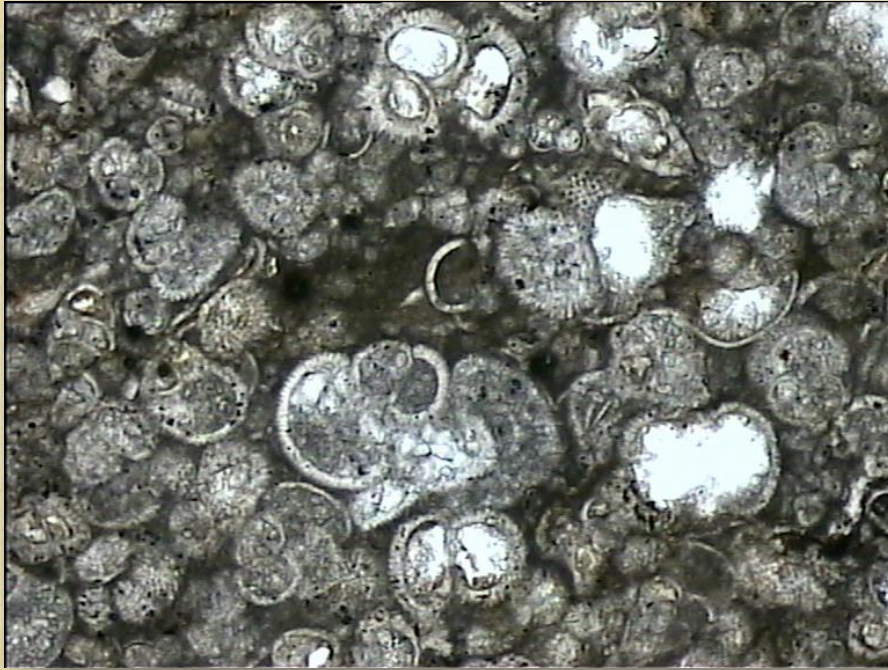


4) Il guscio calcareo ialino ha un aspetto vetroso ed è costituito da cristalli di calcite, il cui asse principale è disposto perpendicolarmente alla superficie.

Questo tipo di guscio presenta perforazione (foraminiferi *perforati*), che può essere più o meno evidente anche a seconda dell'ornamentazione e del tipo di guscio, i gusci molto spessi possono sembrare porcellanacei. Comprende sia forme **bentoniche**, che **planctoniche**.



Esempi di foraminiferi con guscio calcareo ialino, in sezione sottile



Forma e crescita (tassia) del guscio

- unicamerale: organizzazione più primitiva
- multicamerale: organizzazione più evoluta

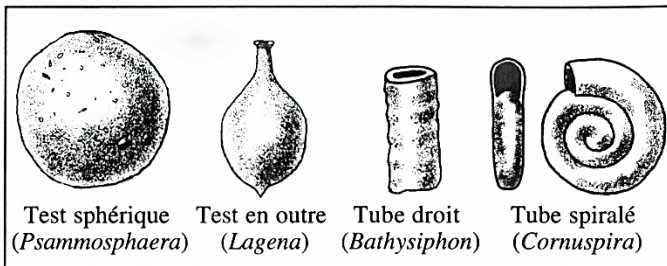


FIGURE 1.27. - Exemples de tests uniloculaires.

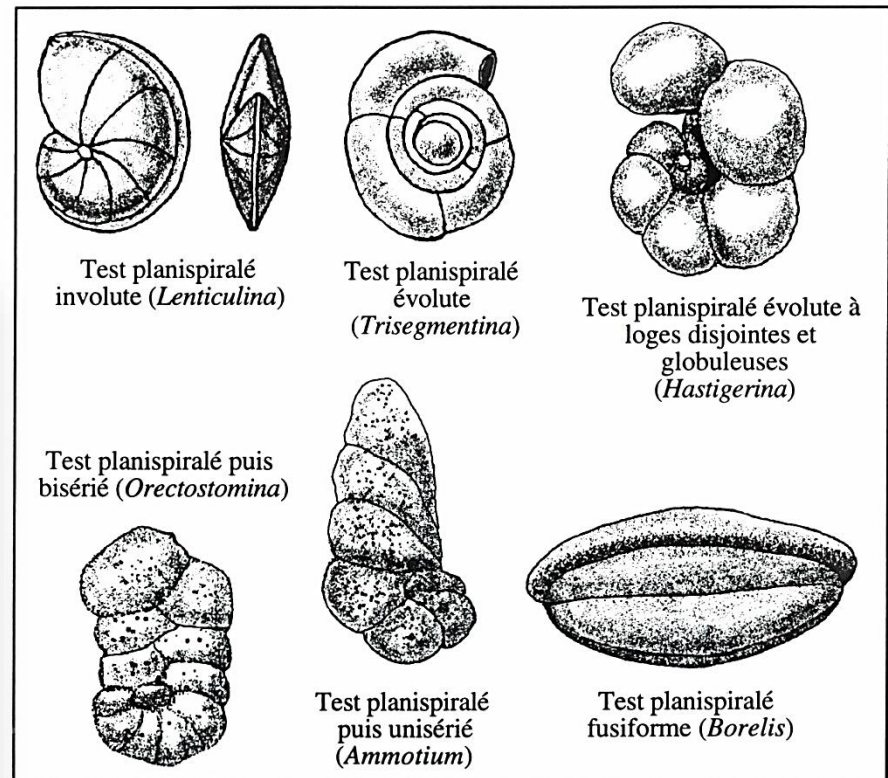


FIGURE 1.29. - Exemples de tests planispiralés.

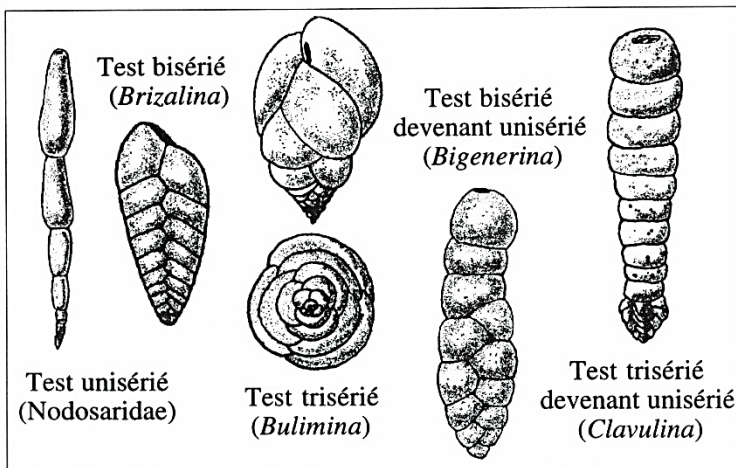
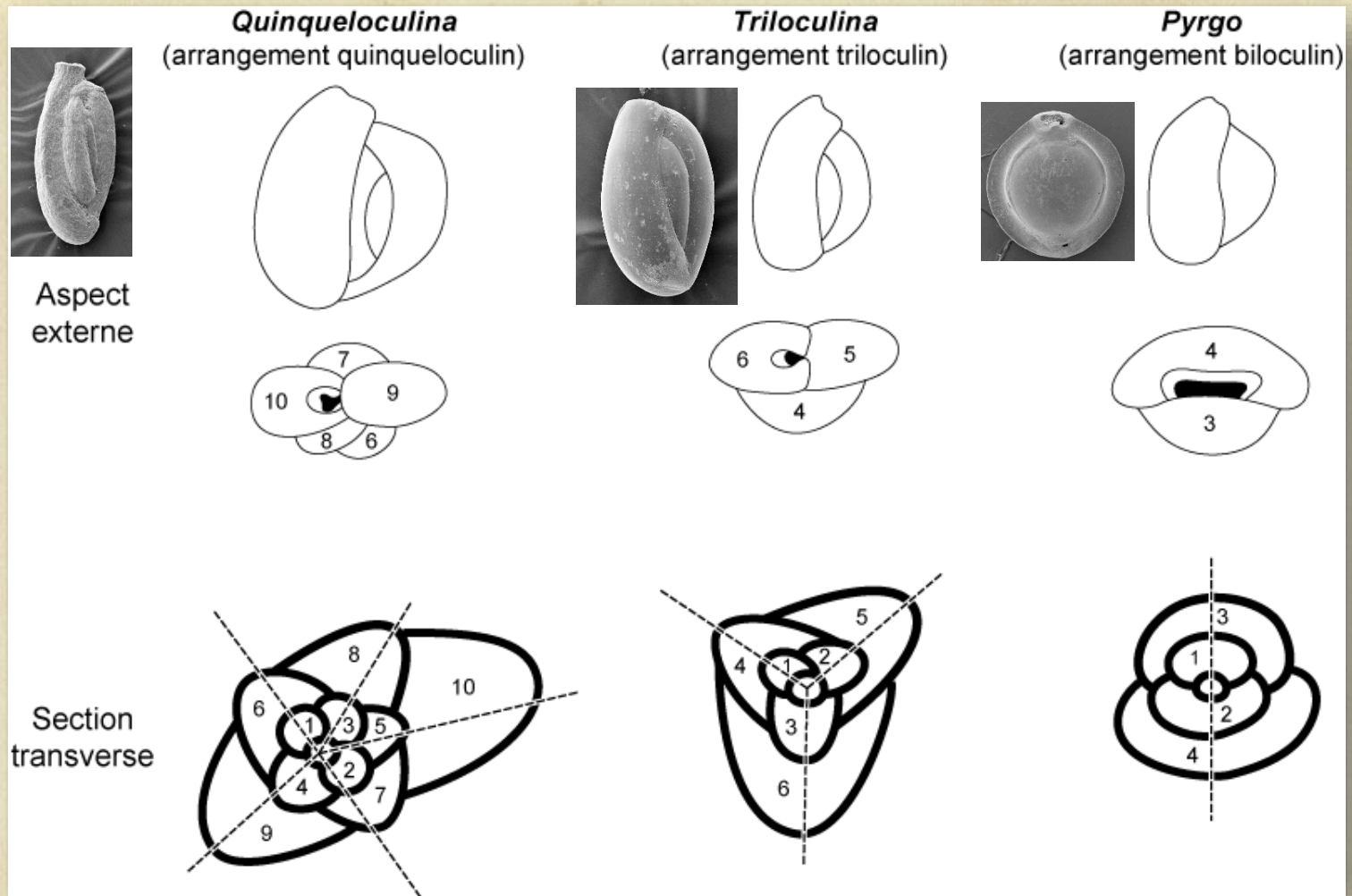


FIGURE 1.28. - Exemples de tests sériés.

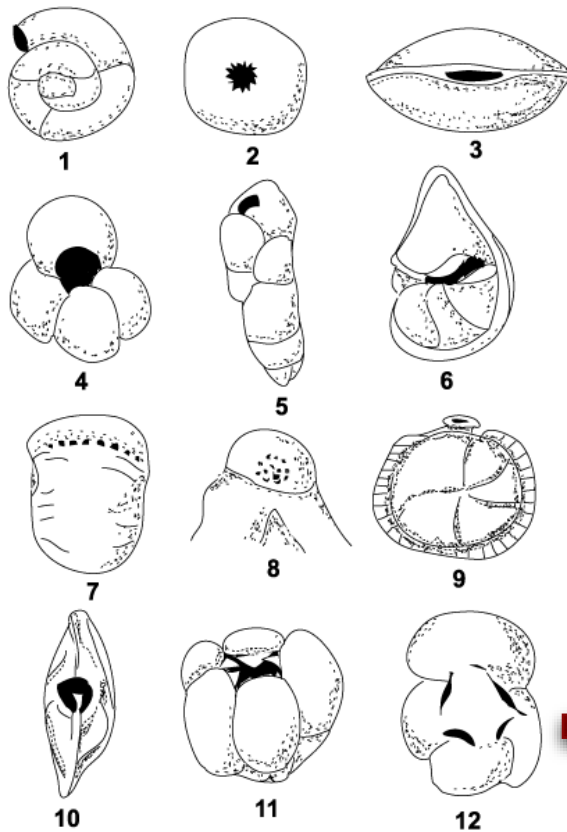
Tassia di tipo «milioliforme», nei foraminiferi porcellanacei



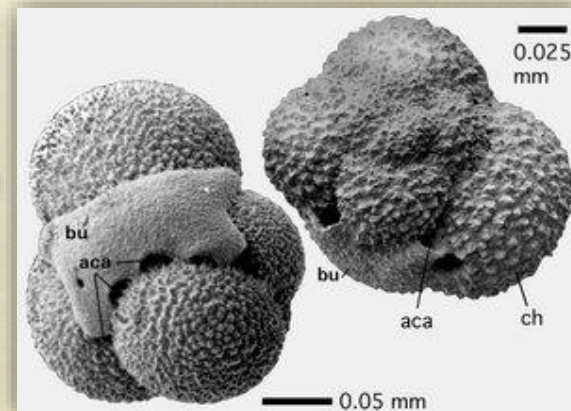
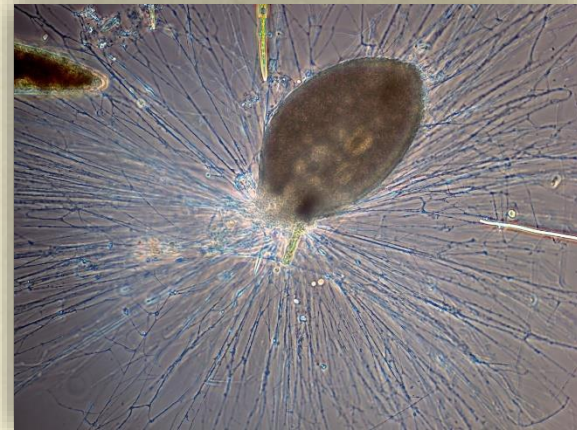
Modalità di formazione di una camera:

<https://www.youtube.com/watch?v=2JrV2NmYu3U>

Apertura (foramen) – caratteri tassonomici



Principle types of aperture. 1, open end of tube; 2, terminal radiate; 3, terminal slit; 4, umbilical; 5, loop shaped; 6, interiomarginal; 7, interiomarginal multiple; 8, areal crbrate; 9, with phialine lip; 10, with bifid tooth; 11, with umbilical teeth; 12, with umbilical bulla. Redrawn from Loeblich and Tappan 1964.



LA RIPRODUZIONE

La riproduzione può avvenire per via asessuata attraverso la *mitosi o fissione multipla* (più comune) o per via sessuata dopo la meiosi (nei forams planctonici)

In alcuni casi il ciclo biologico di una specie è definito da un'alternanza di generazione sessuata ed asessuata. L'alternanza di generazione può produrre uno spiccato dimorfismo.

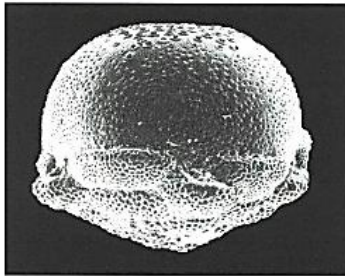


FIGURE 1.59. - « Tretomphalus bulloides » (x 80).

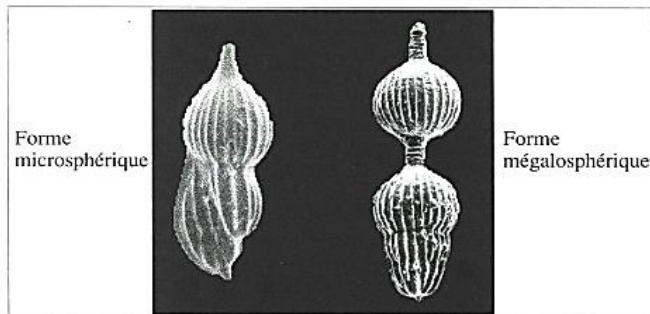


FIGURE 1.60. - Dimorphisme sexuel (Amphicoryna) (x 50).

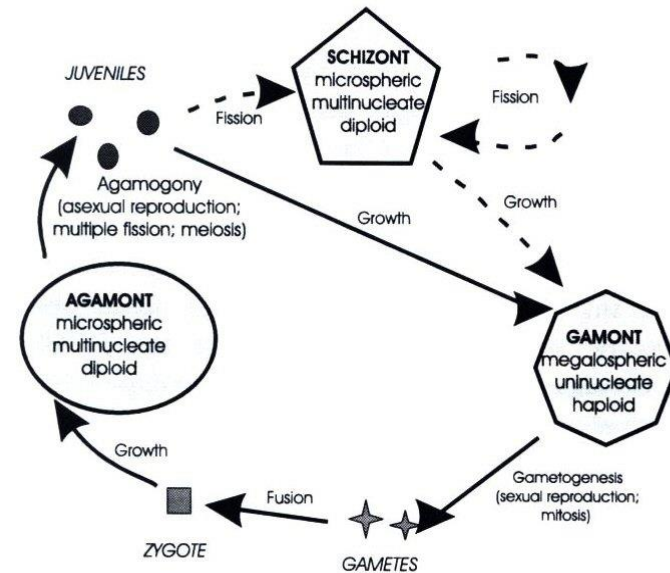


Figure 3.2. Schematic representation of the classic life cycle (alternation of generations) of benthic foraminifera (based on Lee *et al.*, 1991b; Goldstein, 1999). Entire arrows: basic cycle; broken arrows: alternative multiple fission.

Casi di evidente dimorfismo sessuale

MORFOLOGIA GENERALE DEL GUSCIO E AMBIENTE

Influenza della luce e dell'idrodinamismo:

- gusci robusti e con forma tendenzialmente sferica: energia elevata e forte illuminazione;
- gusci delicati, con forme che sviluppano una maggior superficie specifica (sup./vol.): energia ridotta e scarsa illuminazione.

Influenza dell'ossigenazione:

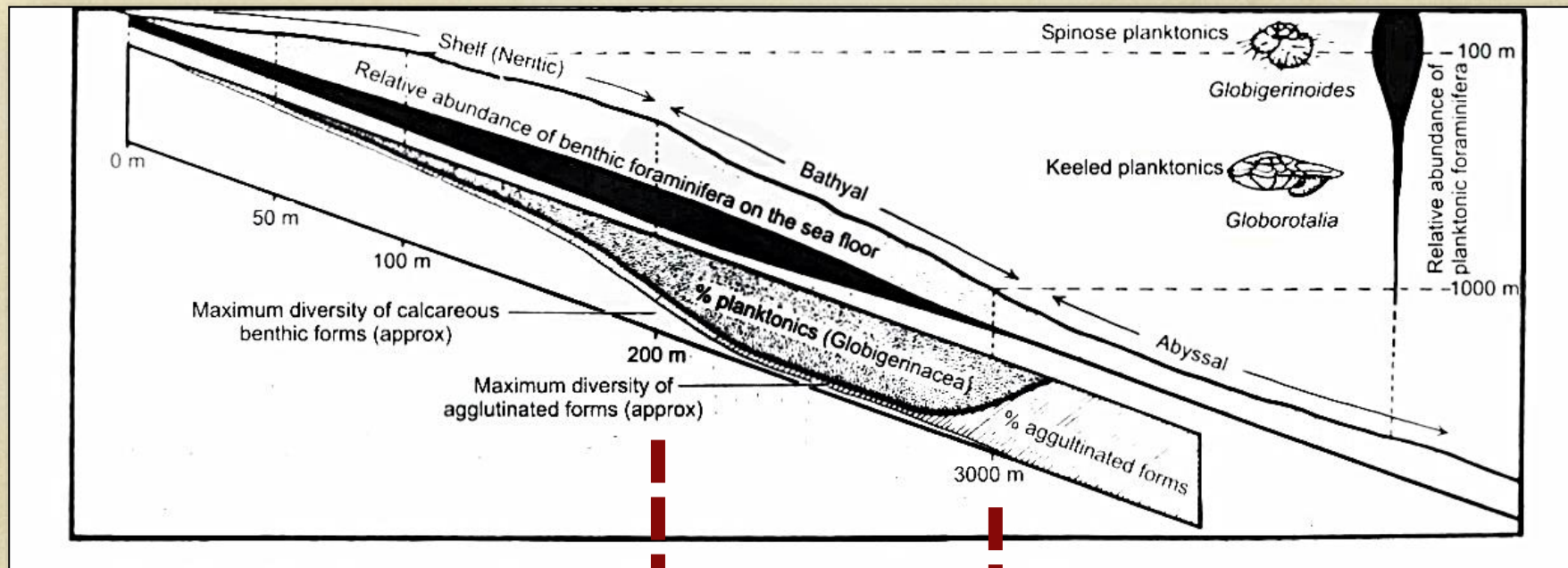
- in casi di deboli tenori di ossigeno disciolto il guscio diventa più sottile, meno ornamentato, più appiattito. In questi casi anche la perforazione tende ad aumentare (scambio dei gas).

Influenza della temperatura:

Risulta evidente soprattutto nei gusci dei foraminiferi planctonici:

- maggiore perforazione: temperatura più elevata e minore densità dell'acqua;
- minore perforazione: temperatura più bassa e quindi minor problema di galleggiabilità.

distribuzione negli ambienti attuali e accumulo nei sedimenti



max
abbondanza
bentonici

max
abbondanza
planctonici

max abbondanza
bentonici a guscio
agglutinante – al
di sotto del CCD

La classificazione

Basata sulla morfologia del guscio (artificiale), definizione di un olotipo; le revisioni recenti sono basate sull'utilizzo del microscopio a scansione elettronica (S.E.M.)

attualmente sono riconosciuti come ORDINI

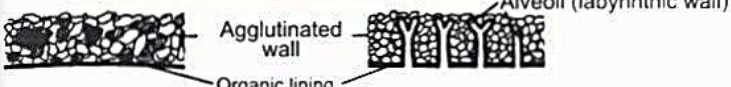
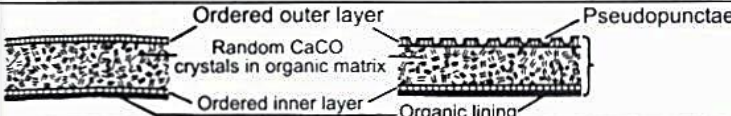
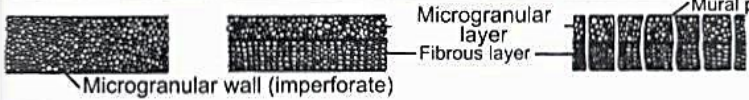
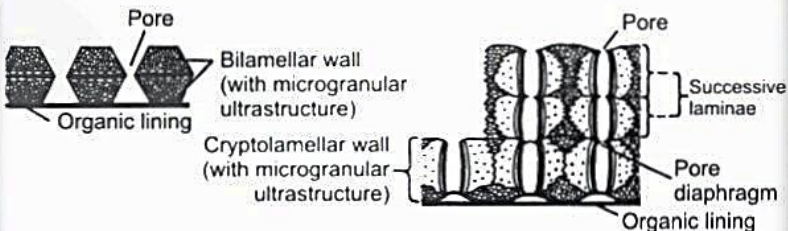
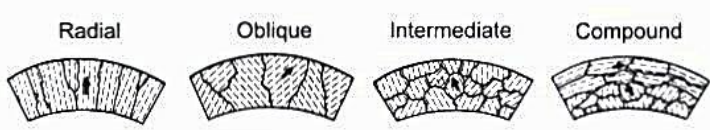
	Wall Structure	Suborder
Tectinuous	 Flexible, thin and tectinuous Loosely attached grains	Allogromiina
Agglutinated	 Agglutinated wall Organic lining Alveoli (labyrinthic wall)	Textulariina
Porcelaneous	 Ordered outer layer Random CaCO ₃ crystals in organic matrix Ordered inner layer Pseudopunctae Organic lining	Miliolina
Microgranular + Microgranular compound	 Microgranular wall (imperforate) Microgranular layer Fibrous layer Mural pore	Fusulinina
	 Pore Organic lining Bilamellar wall (with microgranular ultrastructure) Cryptolamellar wall (with microgranular ultrastructure) Pore Successive laminae Pore diaphragm Organic lining	Globigerinina Spirillinina Involutinina (arag) Robertinina (arag)
Hyaline	 Radial Oblique Intermediate Compound	Rotaliina

Fig. 15.3 Examples of wall structures in the foraminifera (diagrammatic, mainly based on studies using scanning electron microscopy).

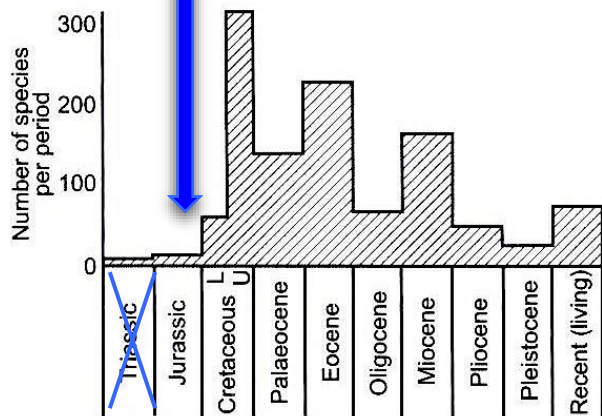


Fig. 15.33 Changes in the specific diversity of planktonic foraminifera through time. Because of the complex evolutionary history, the likely existence of many cryptic taxa and the varied life habits and habitats measures of standing diversity in the foraminifera are probably less meaningful than in other groups.

**I foraminiferi planctonici
compaiono dal
Giurassico medio (metà
Mesozoico)**

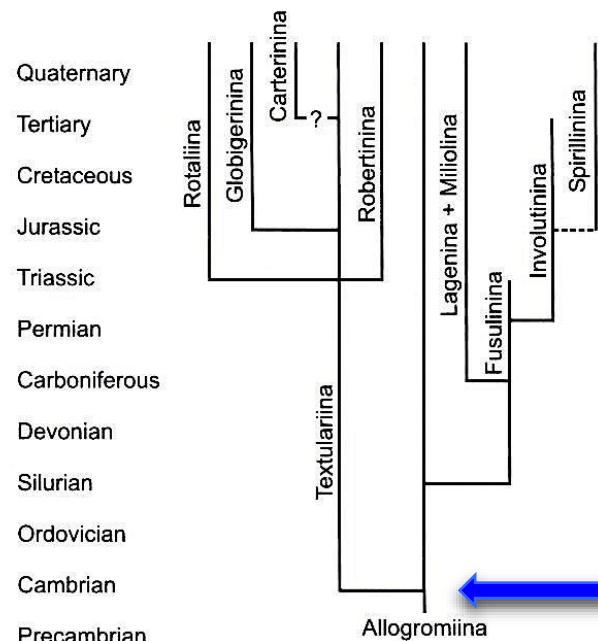


Fig. 15.32 Subordinal phylogeny of the Foraminiferida.
(Modified from Tappan & Loeblich 1988, figure 9.)

**I foraminiferi bentonici
compaiono dal
Cambriano (inizio
Paleozoico)**

Campi di applicazione: biostratigrafia, paleoecologia, paleoceanografia, biomonitoraggio

I foraminiferi "celebri"



Ordine Fusulinida,

famiglia Fusulinidae, (Carbonifero – Permiano)

SONO ESTINTE

genere *Fusulina*

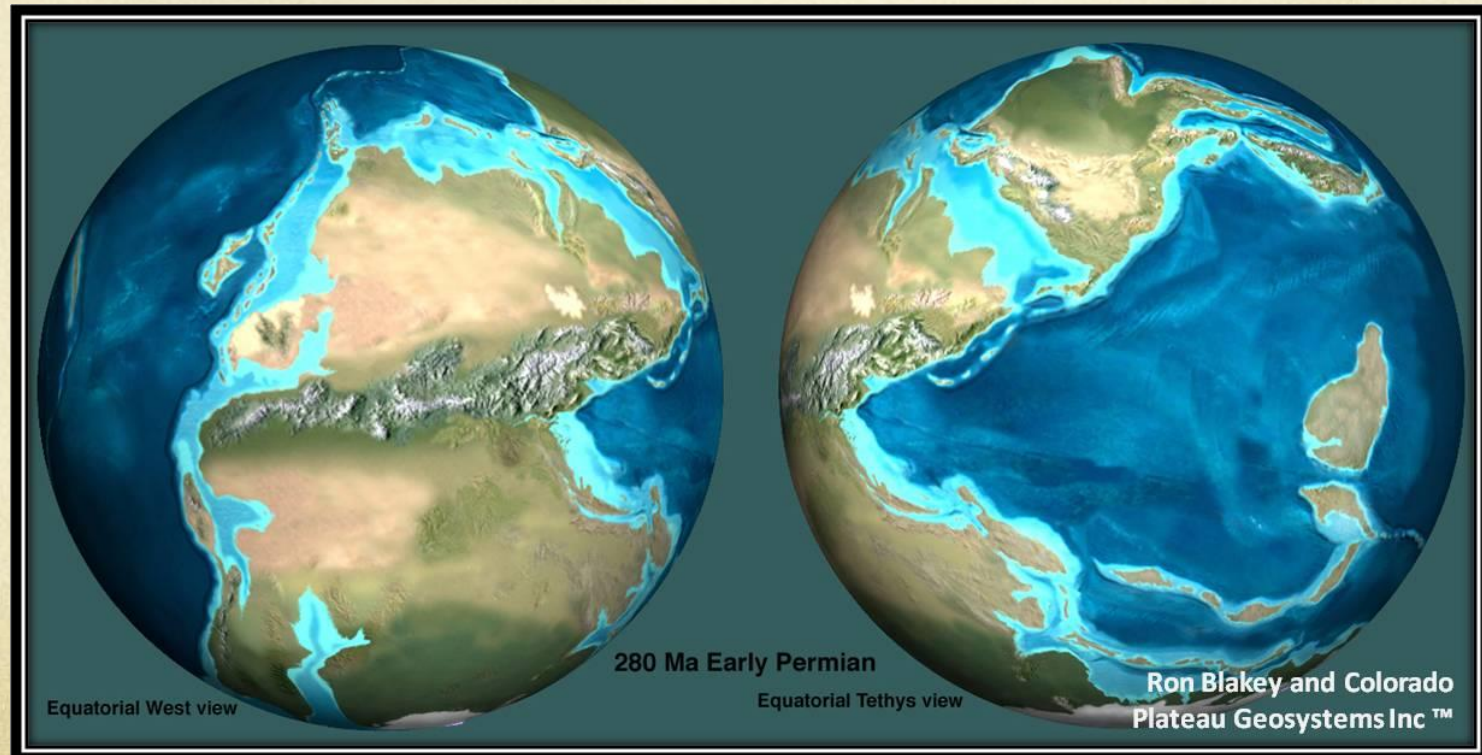
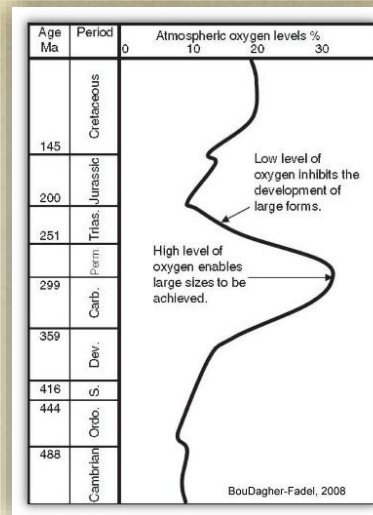
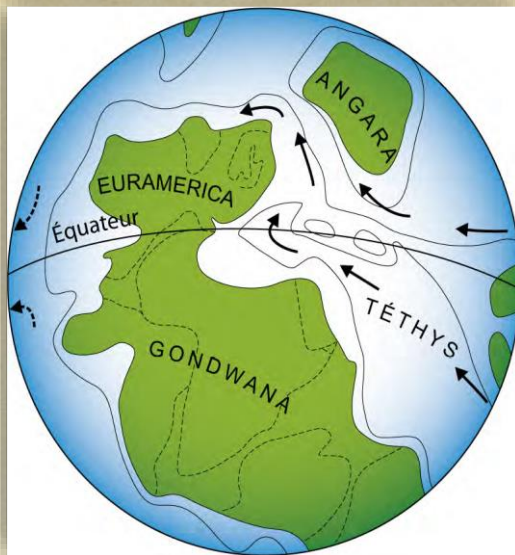


Generalità:

il guscio è costituito da una lamina calcarea con spessore di circa 5 μm (parete, muraglia o spiroteca) che si avvolge attorno ad un asse di avvolgimento, con simmetria bilaterale; la lamina si inflette ritmicamente all'interno della spira a formare le logge

Paleoambiente:

Mari poco profondi, caldi, disponibilità di CaCO_3 – Oceano della Tetide

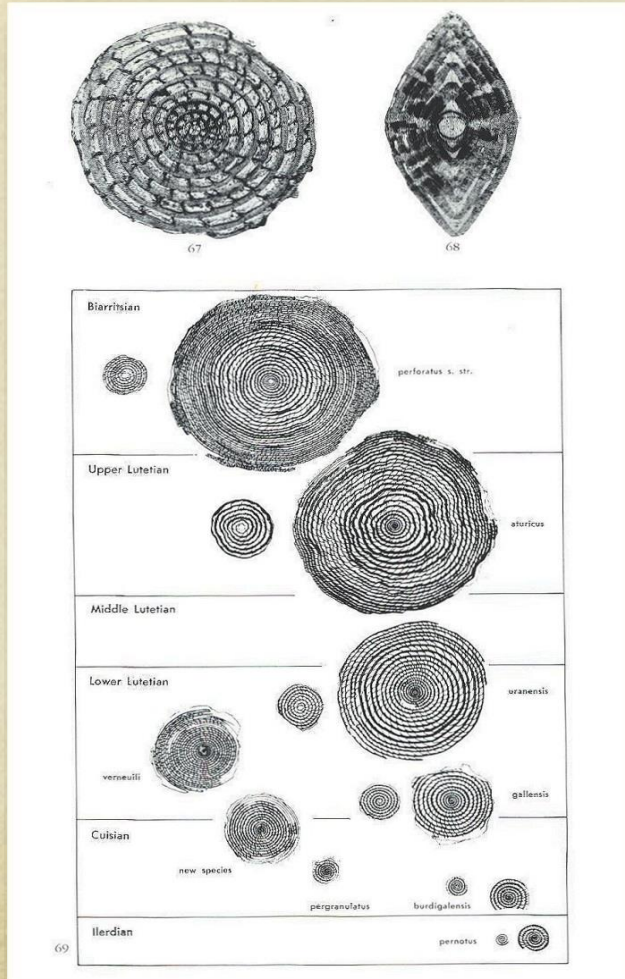


Ordine Rotaliida, famiglia Nummulitidae, (Paleocene – Attuale)

Genere *Nummulites* (Paleocene – Oligocene: **ESTINTO**); guscio calcareo ialino perforato lenticolare o discoidale, può raggiungere dimensioni di alcuni centimetri. Tassia planispirale involuta

sezione equatoriale

sezione assiale



Evoluzione morfologica di
Nummulites nel corso del
Paleogene.



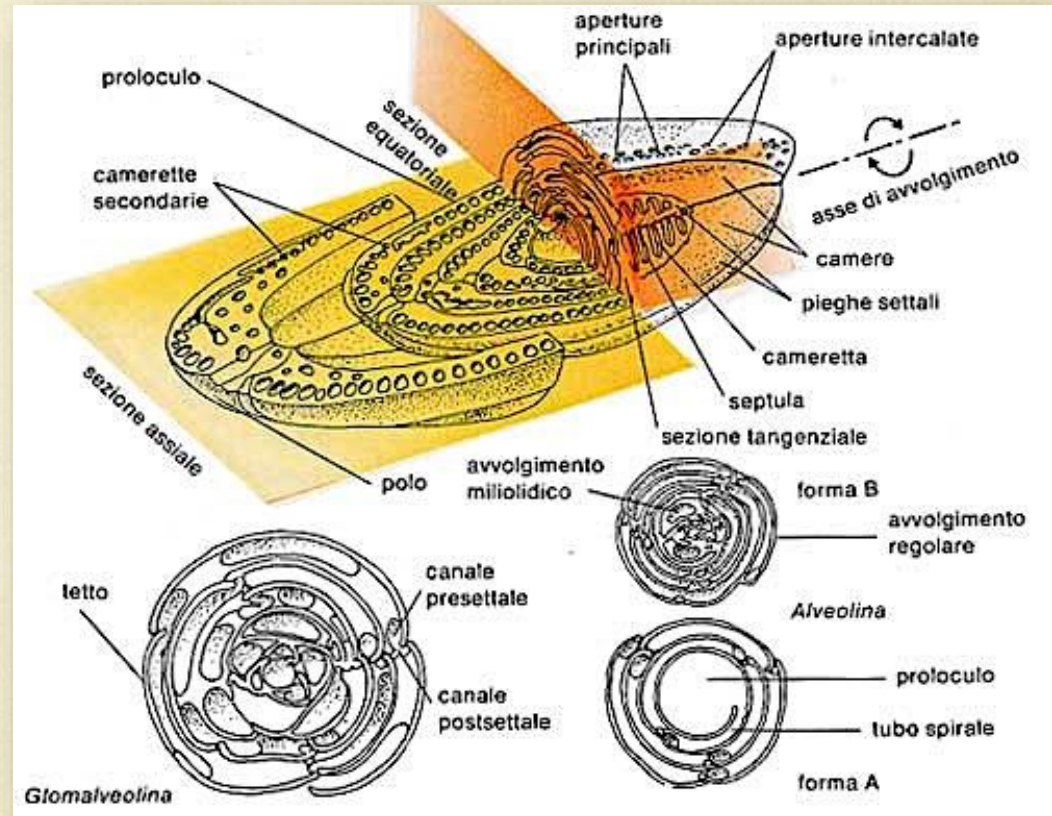
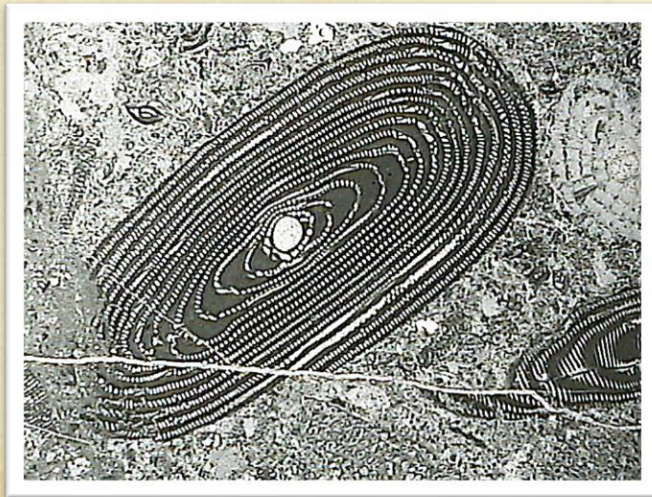
Calcarei nummulitici di età eocenica sono stati utilizzati nell'antichità come materiale per costruire le grandi piramidi.

Ad esempio, una specie di nummulite prende il nome di *Nummulites gizehensis* dalla località di Giza, in Egitto.

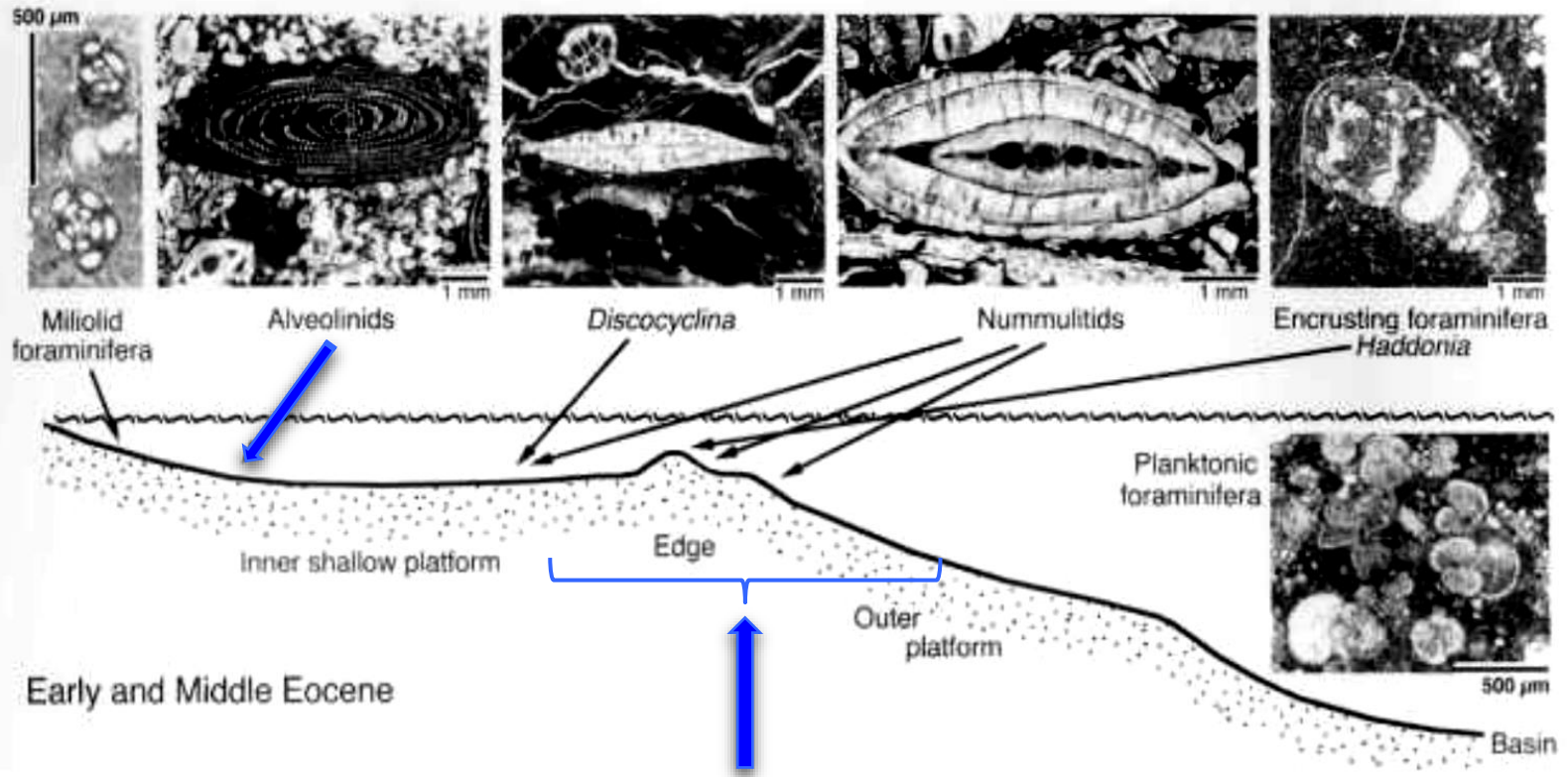


Ordine Miliolida, famiglia Alveolinidae, (Cretaceo – Attuale)

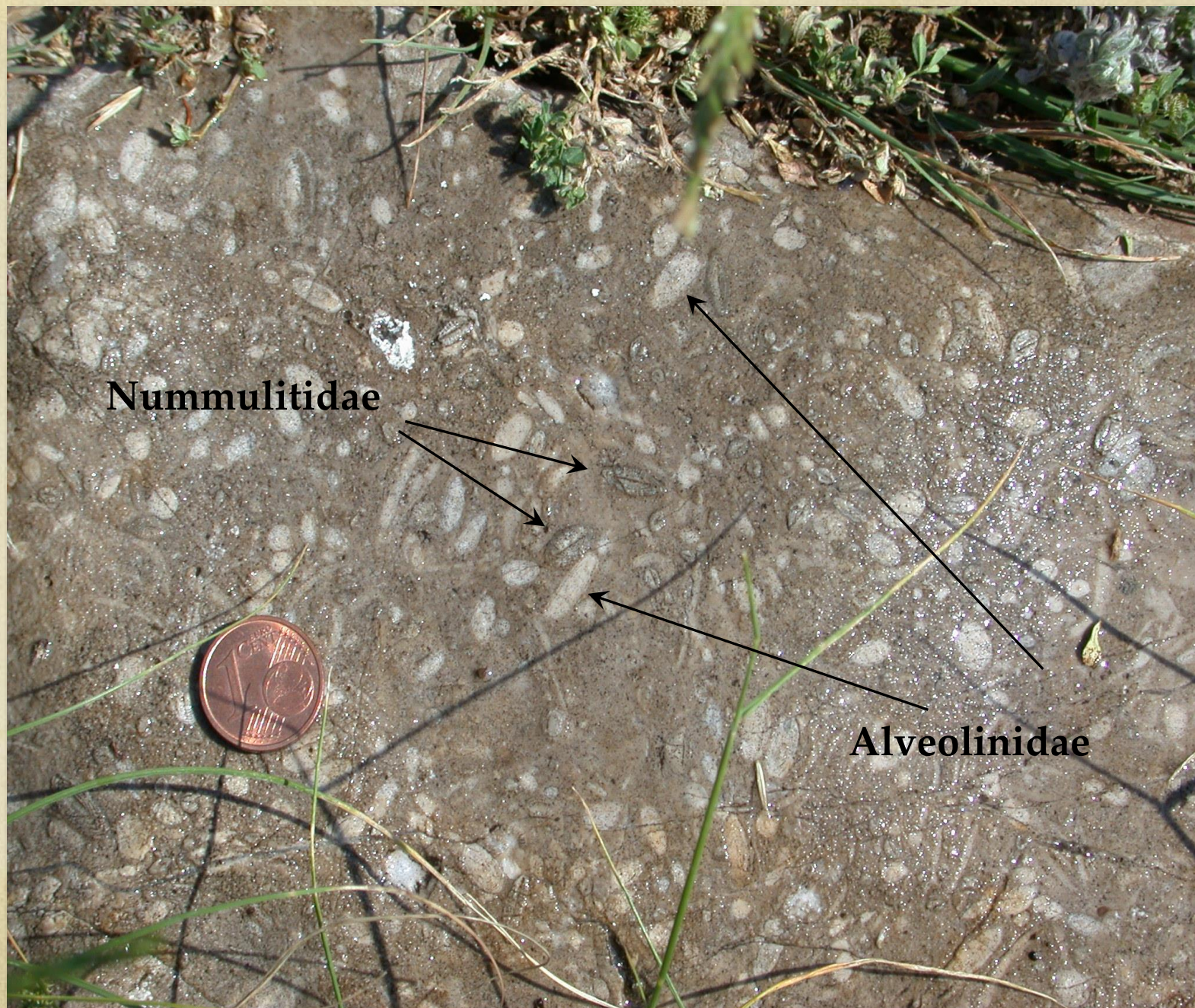
Genere *Alveolina* (Paleocene-Eocene: **ESTINTO**); foraminiferi calcarei imperforati, guscio porcellanaceo.
Presenti in ambienti poco profondi di piattaforma carbonatica



Genere *Alveolina*

B

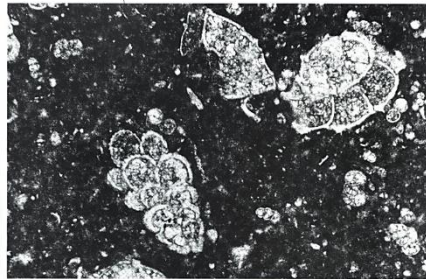
ambienti di vita di Alveolinidae e Nummulitidae: piattaforme a sedimentazione carbonatica, mari caldi



Nummulitidae

Alveolinidae

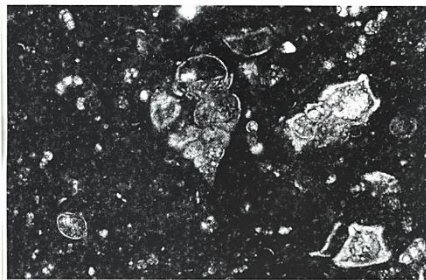
Foraminiferi planctonici, ordine Globigerinida (Giurassico – Attuale) guscio calcareo bilamellare perforato



Heterohelicoidea, *Globotruncanidae* are present (X 70). MIDDLE-UPPER MAASTRICHTIAN of Monte Conero, Marche, Italy.

NEOCOMIAN										SENOKIAN			
BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT
BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT
BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT

The planktonic assemblages of the MIDDLE-LATE MAASTRICHTIAN are characterized by a high number of forms belonging to the *Heterohelicoidea* family.

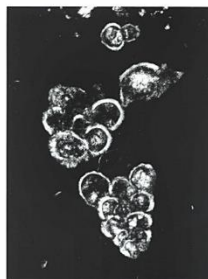


Heterohelix, *Globotruncanidae* are present (X 80). MAASTRICHTIAN of Monte Conero, Marche, Italy.

Biserial *Heterohelicoidea* occur at the end of the EARLY CRETACEOUS. They become frequent in the MIDDLE CENOMANIAN and are abundant from the MIDDLE MAASTRICHTIAN.



Heterohelicoidea (X 80) (left). MAASTRICHTIAN of Monte Conero, Marche, Italy.

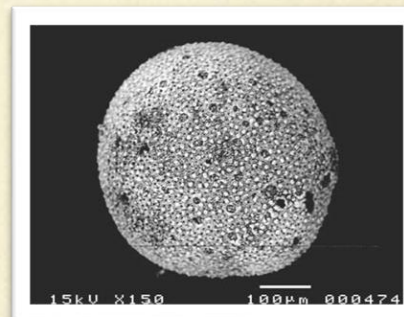
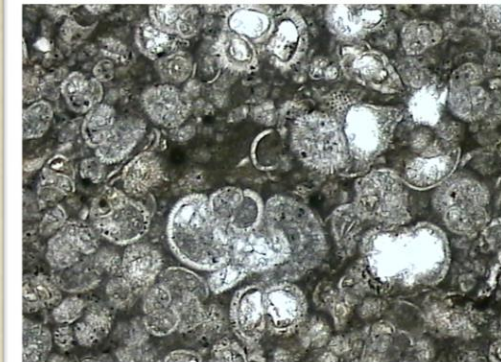


Heterohelicoidea (X 70) (right). MAASTRICHTIAN of Gubbio, Umbria, Italy.

NEOCOMIAN										SENOKIAN			
BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT
BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT
BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT	BARRETT

Multiserial *Heterohelicoidea* are typical of the MAASTRICHTIAN.

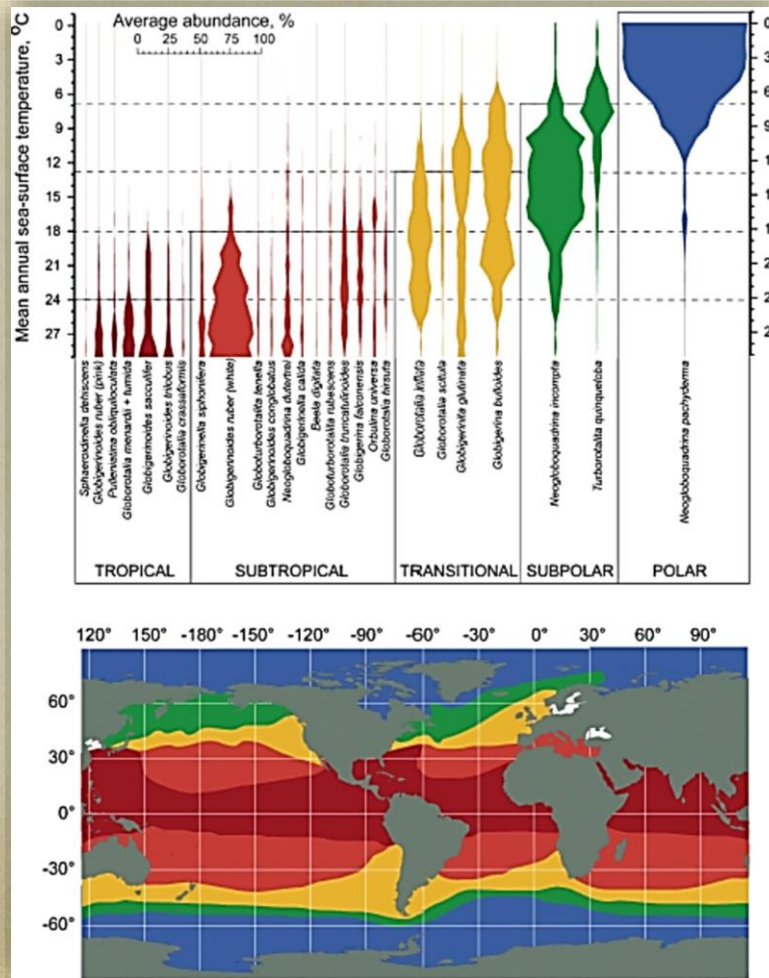
Mesozoico: prevalenti forme con profilo acuto, carenato



Cenozoico: prevalenti forme con profilo più arrotondato, parete cancellata, comparsa delle spine

DA RICORDARE!!

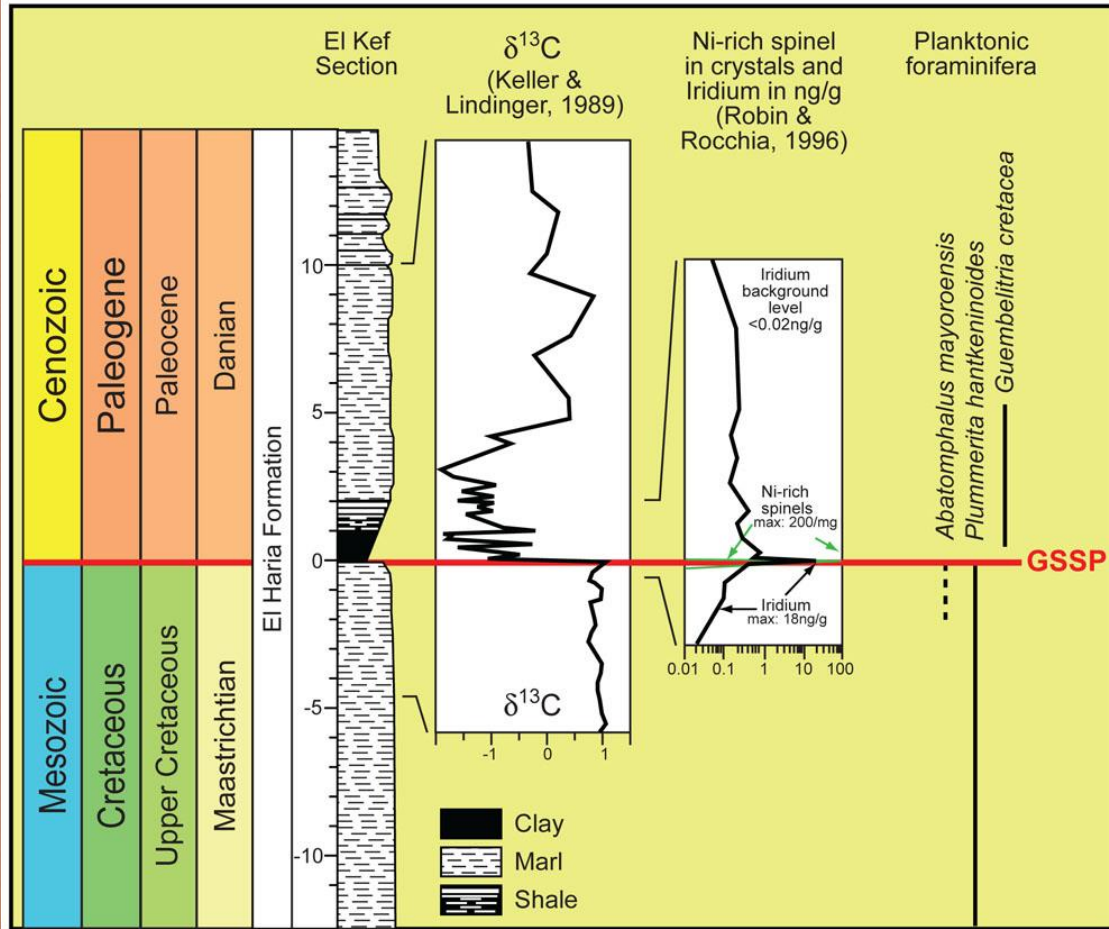
A partire dal Giurassico inizia un nuovo capitolo della storia oceanica mondiale: con l'apertura dell'oceano Atlantico si hanno fasi di trasgressione marina; il clima diventa stabile e caldo. Tutto questo porta ancora una volta ad una maggiore diversificazione dei foraminiferi; il fatto più importante è comunque la comparsa dei primi foraminiferi planctonici (guscio calcareo perforato, sottordine Globigerinina).



Distribuzione dei
foraminiferi
planctonici attuali:

**forte dipendenza
dalla temperatura
dell'acqua**

Base of the Danian Stage of the Paleogene System at El Kef, Tunisia



Le applicazioni

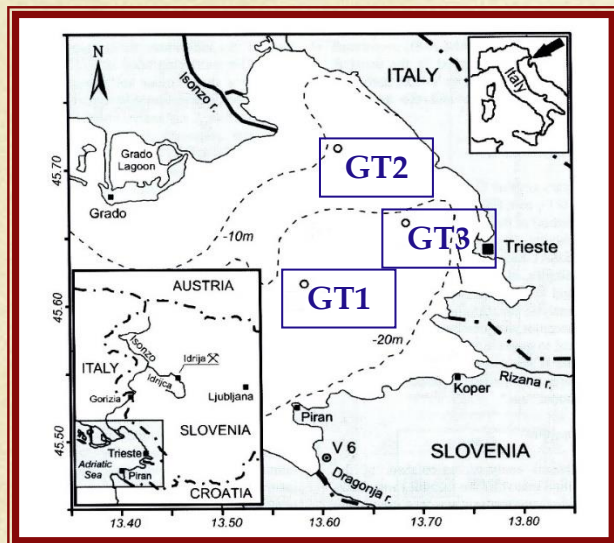
Applicazione biostratigrafica

Esempio di stratotipo del limite nel quale i segnali chemiostratigrafico, mineralogico e biostratigrafico sono determinanti.

Passaggio Cretaceo-Paleocene, in

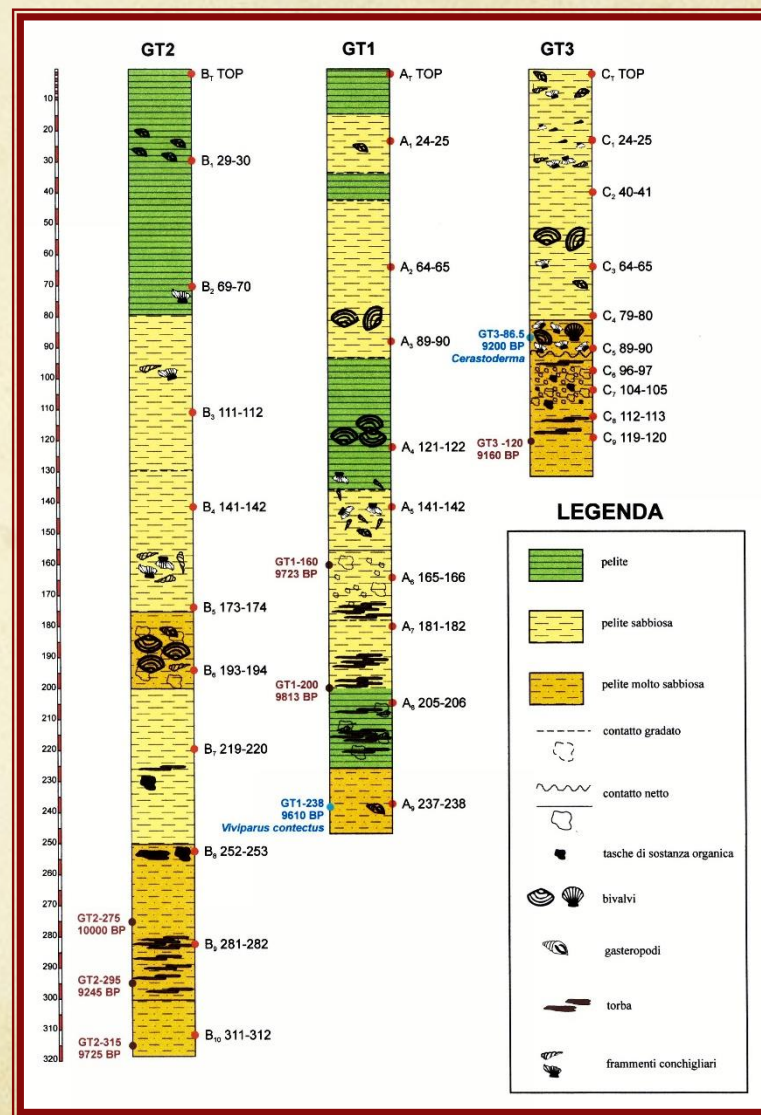
<http://www.stratigraphy.org>

Applicazione paleoambientale



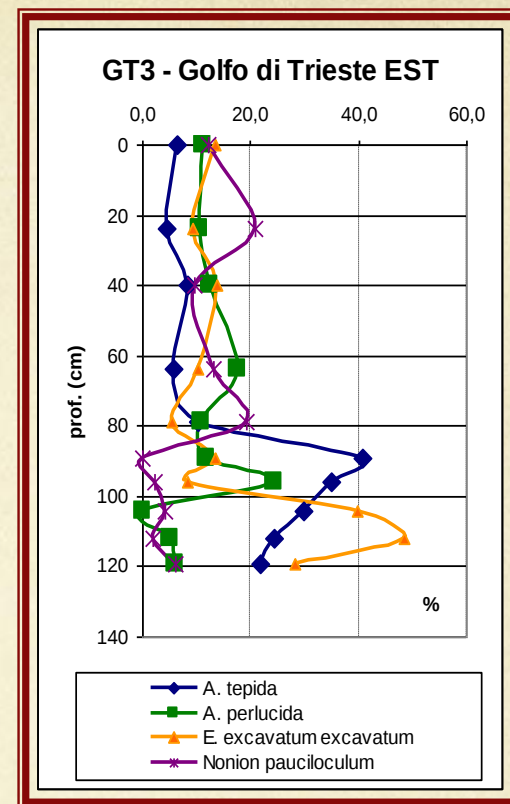
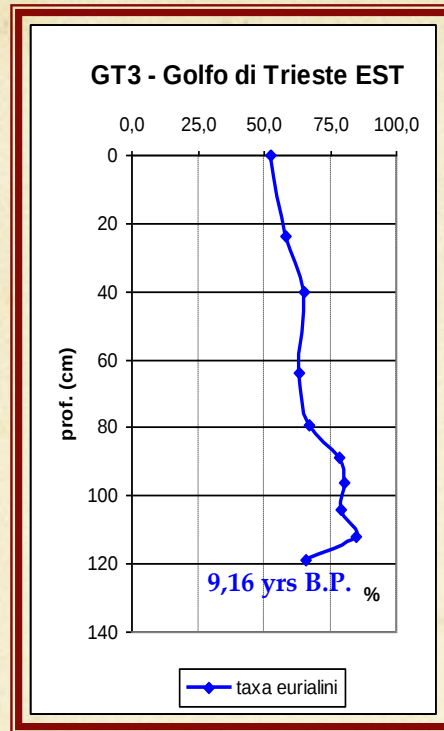
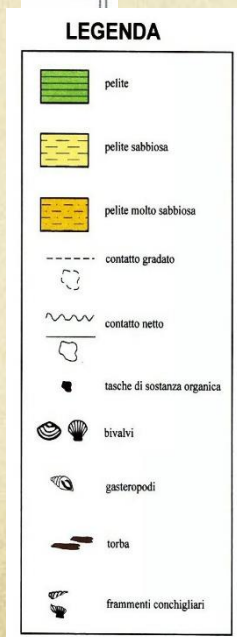
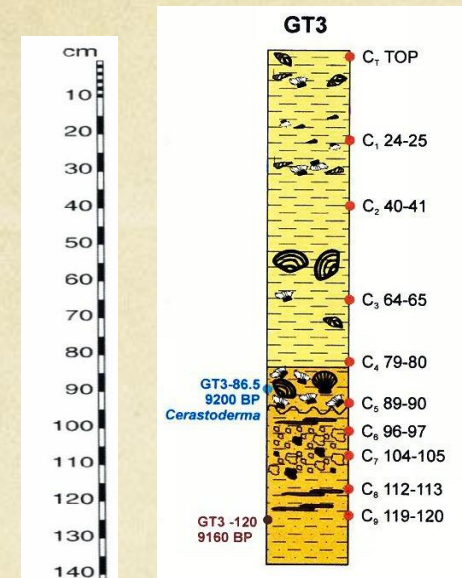
Da Covelli et al., 2006

Il Golfo di Trieste



Da Covelli et al., 2006

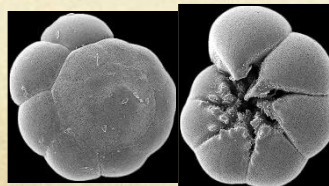
posizione antistante alla città di Trieste



Ambienti
infralitorali

Ambienti
salmastri

Ammonia tepida – foraminifero
lagunare (eurialino)

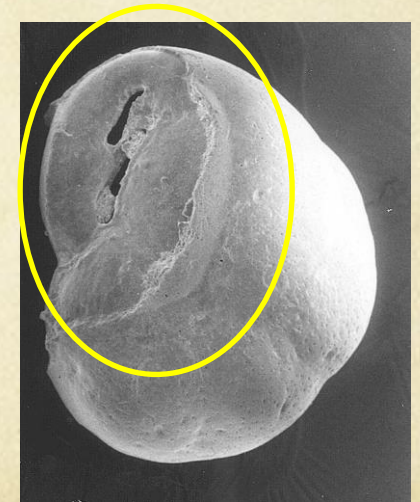
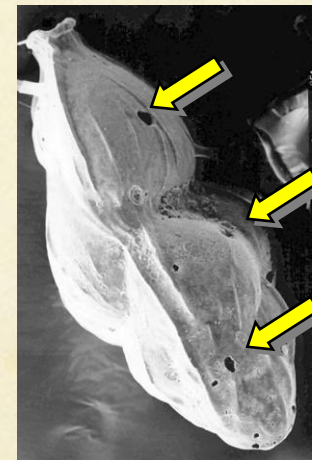
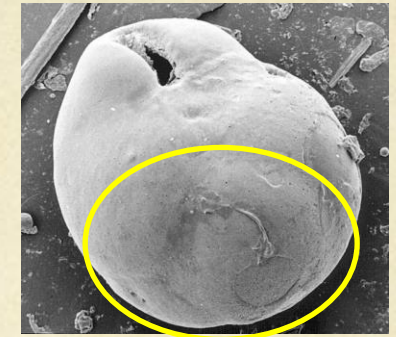
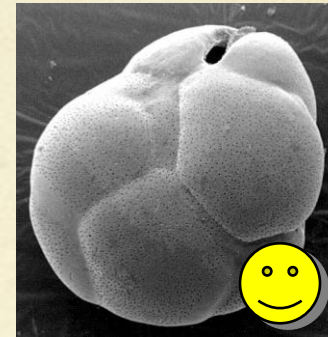
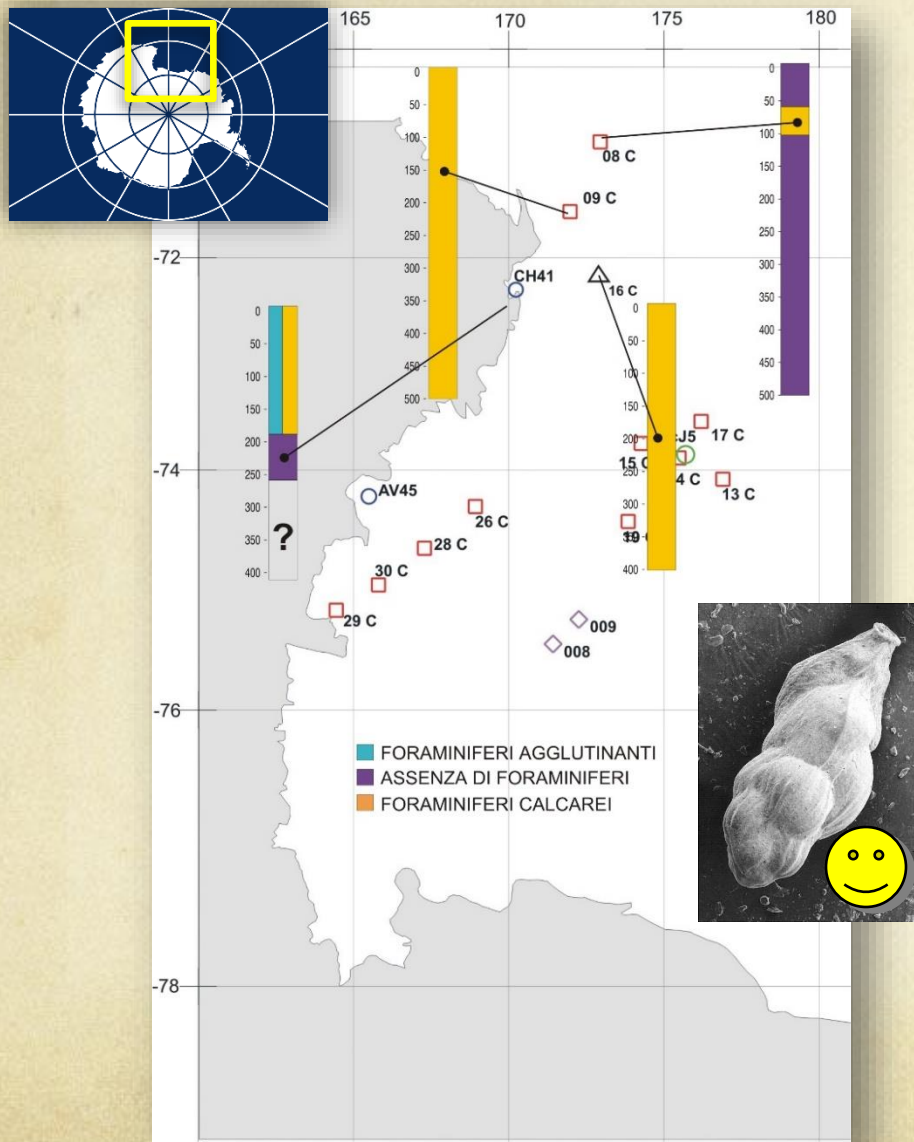


Foraminiferi marini
infralitorali

Applicazione paleoceanografica (1)

Mare di Ross, Antartide:

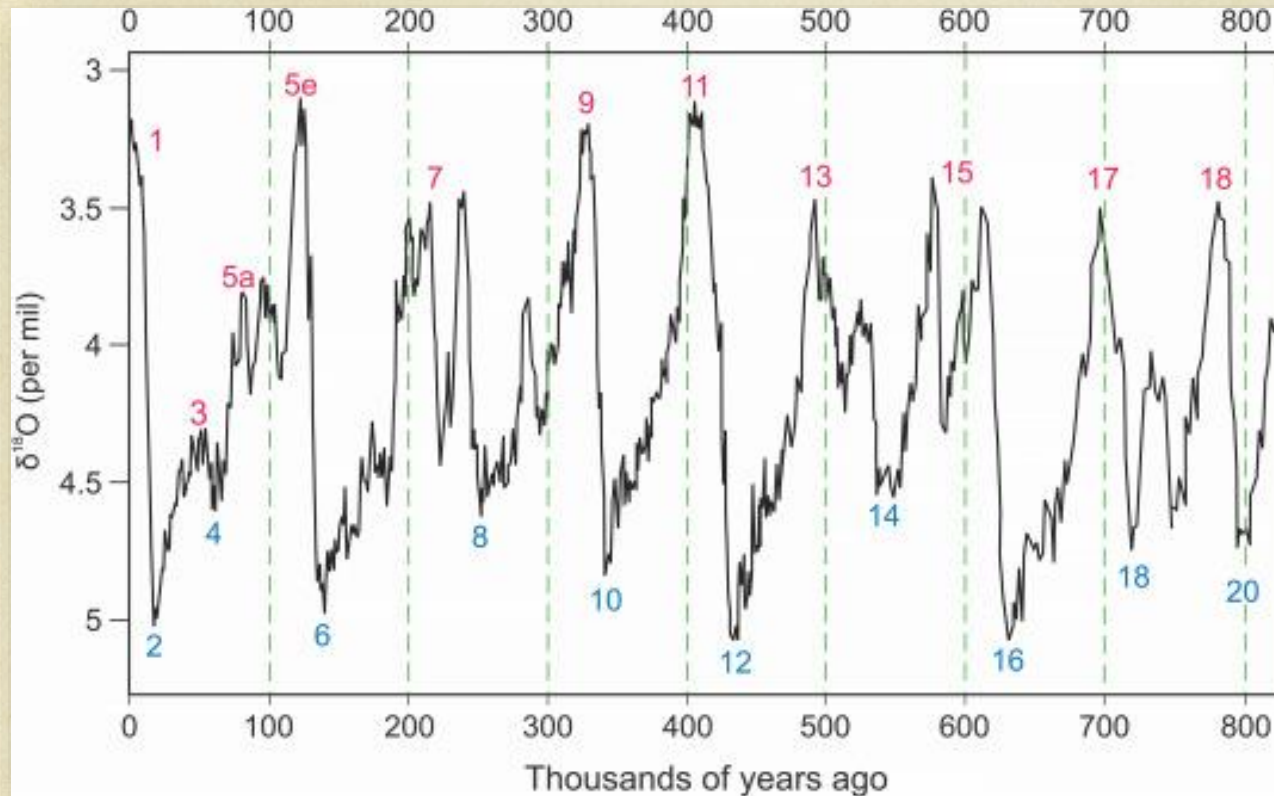
la dissoluzione dei gusci, relazione con le
caratteristiche delle masse d'acqua – profondità del
CCD



conservazione ottimale

Applicazione paleoceanografica (2)

Nel guscio di CaCO_3 sono registrati segnali chimici importanti attraverso gli isotopi stabili dell'ossigeno (^{18}O e ^{16}O) e del carbonio (^{13}C e ^{12}C)



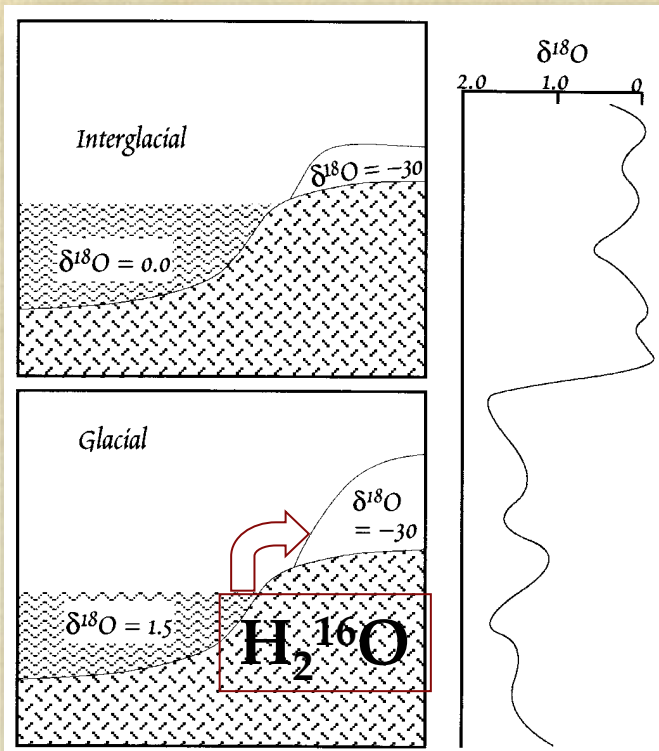
Applicazione:
paleotemperatura
e paleosalinità
delle masse
d'acqua

MIS = marine isotopic stage (n° dispari, interglaciale, n° pari = glaciale). Circa 103 MIS riconosciuti fino ad ora

L'acqua (H₂O), può contenere:

- ¹⁶O >> H₂¹⁶O (più leggera)
- ¹⁸O >> H₂¹⁸O (più pesante)

$$^{18}\text{O} / ^{16}\text{O} = \delta^{18}\text{O}$$



less ice

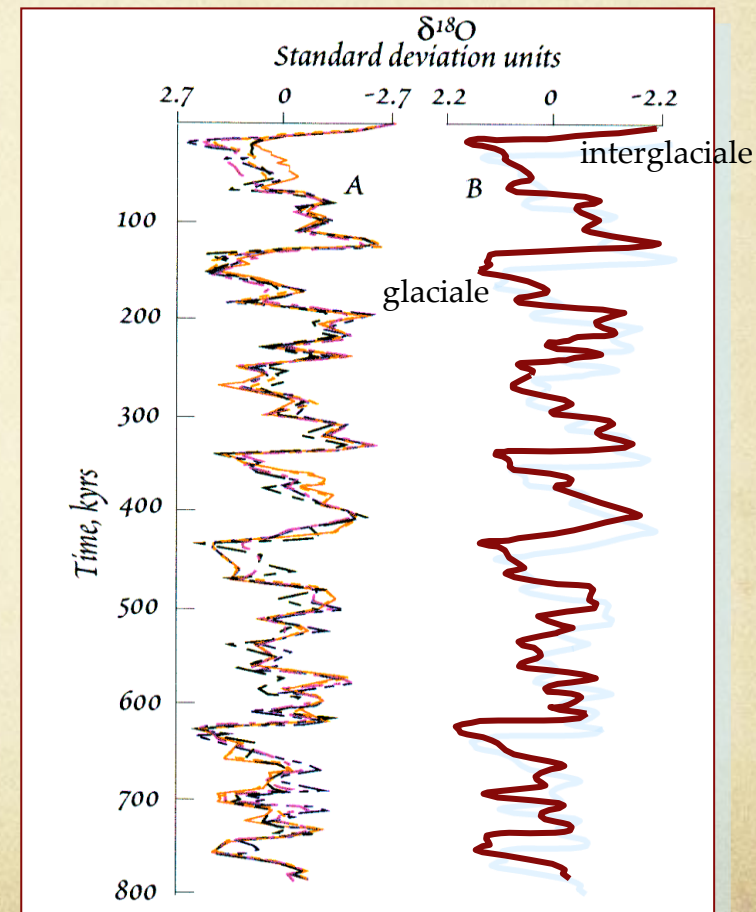
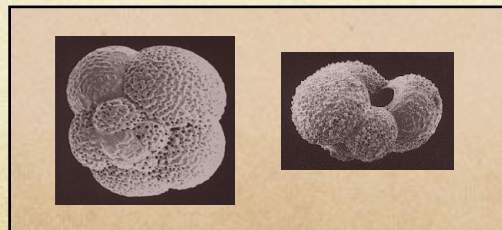
negative excursion



more ice

positive excursion

Curva media del $\delta^{18}\text{O}$ tramite lo studio di 5 carotaggi oceanici. Da Imbrie et al. (1984)



An aerial photograph of a harbor. In the foreground, a large dark-hulled cargo ship with a white superstructure and a crane is docked. To its right, a white ferry is docked. In the background, several other ships are docked along a quay lined with industrial buildings. The water is dark and calm.

I foraminiferi e il biomonitoraggio

Le principali fonti di inquinamento sono:

- apporto di sostanza organica (domestica e industriale)
 - diminuzione dell'ossigeno disciolto
- apporto di sostanze tossiche, quali i metalli pesanti

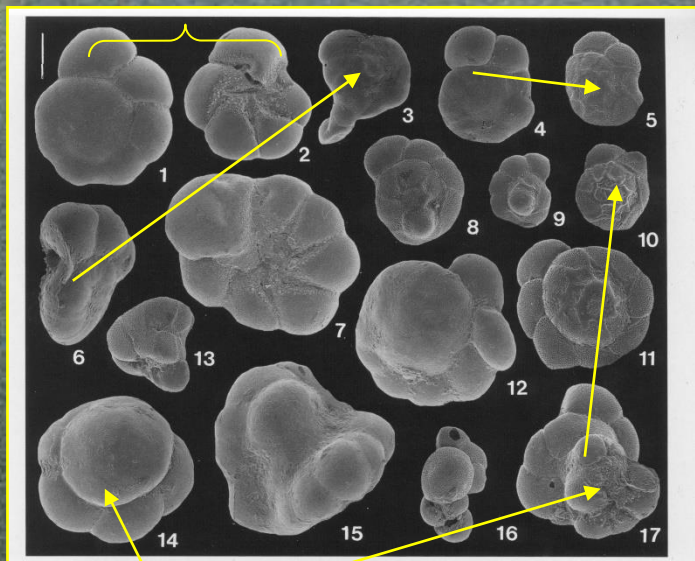


COME REGOLA GENERALE NELLE ASSOCIAZIONI A FORAMINIFERI:

- 1) Diminuzione della ricchezza specifica
- 2) **Scomparsa** di specie più sensibili in prossimità degli apporti inquinanti
- 3) **Arricchimento** di specie più tolleranti nell'immediata periferia delle zone inquinate
- 4) Gusci deformati, in alcuni gruppi di specie



guscio normale



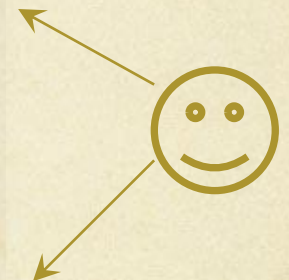
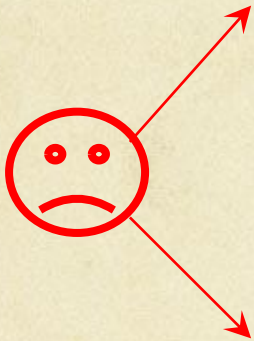
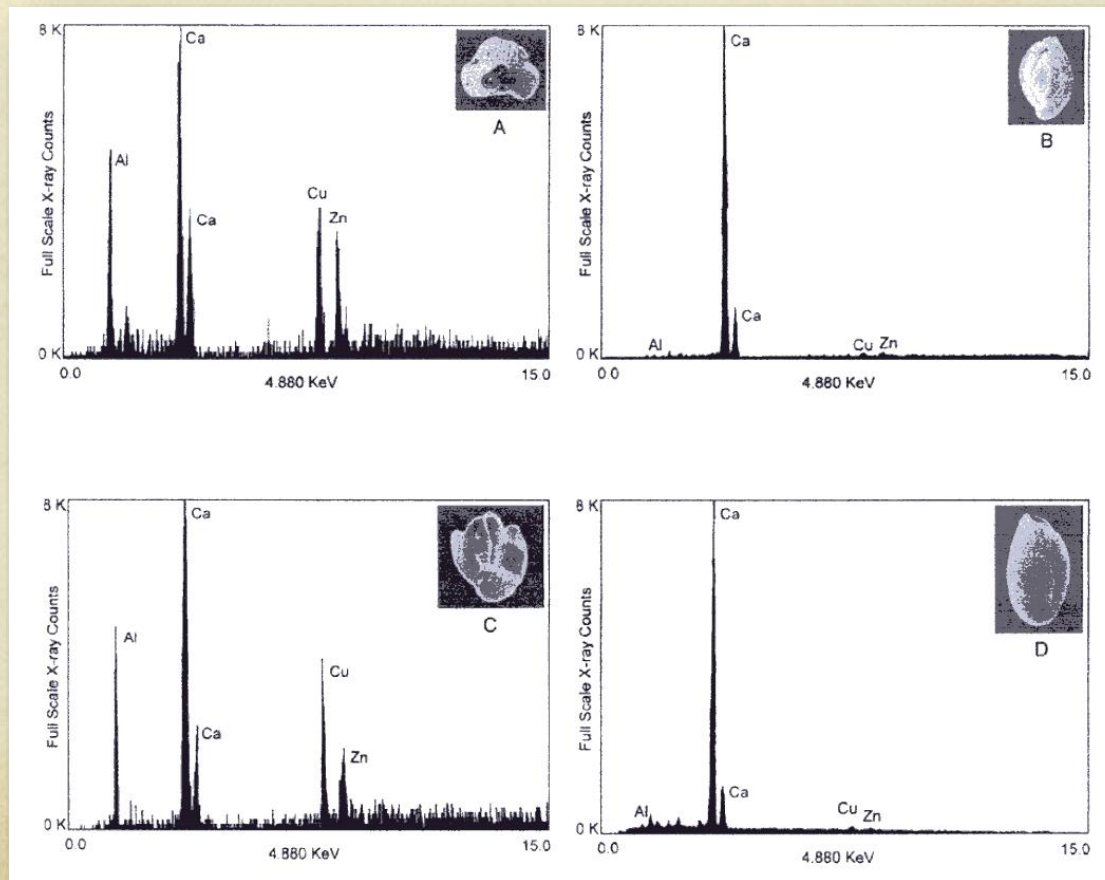
deformazione dei gusci in ambienti
inquinati da metalli pesanti



guscio deformato

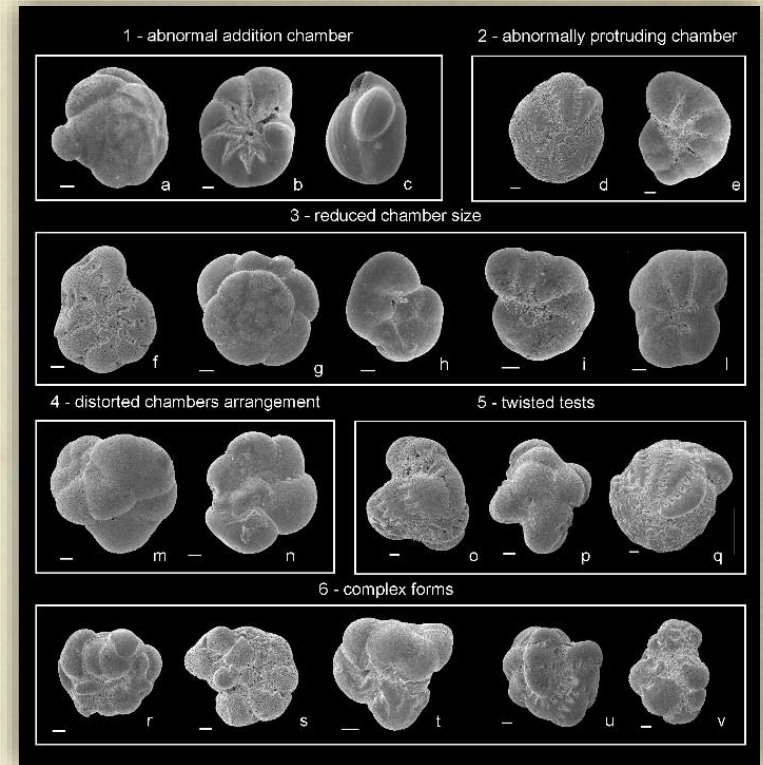
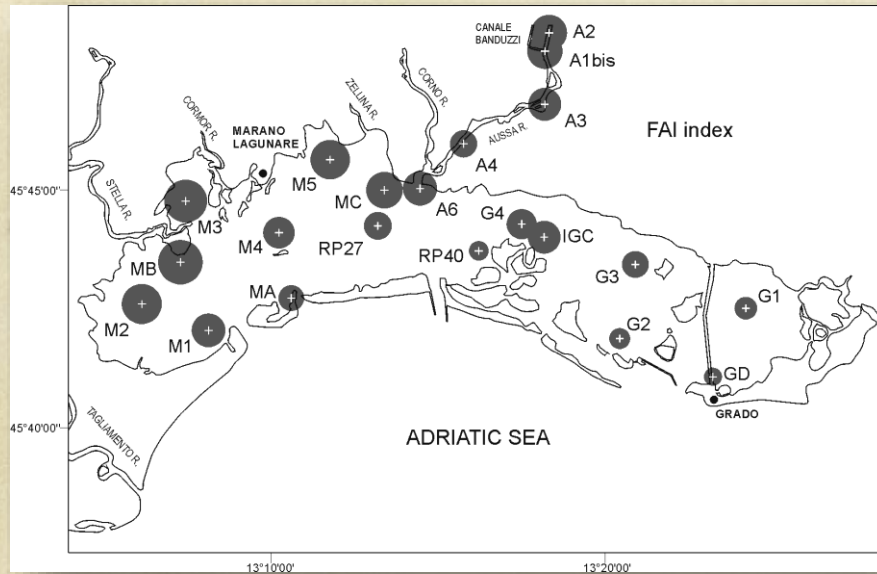
Studi in ambienti portuali

Ambienti costieri inquinati (Alessandria d'Egitto), Samir & El-Din (2001)



Studi in ambienti lagunari mediterranei (Melis & Covelli, 2013)

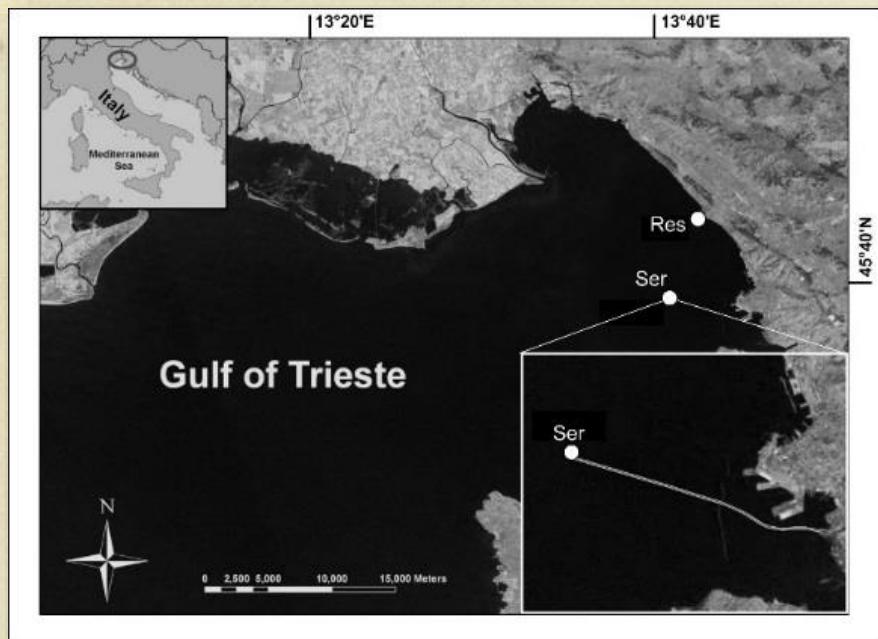
indice FAI = n° gusci deformati * 100 / (n° deformati + n° non deformati)



Foraminiferi indicatori di inquinamento: *Ammonia tepida*, *Elphidium gunteri*, *Haynesina germanica*

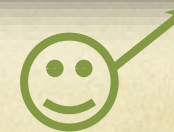
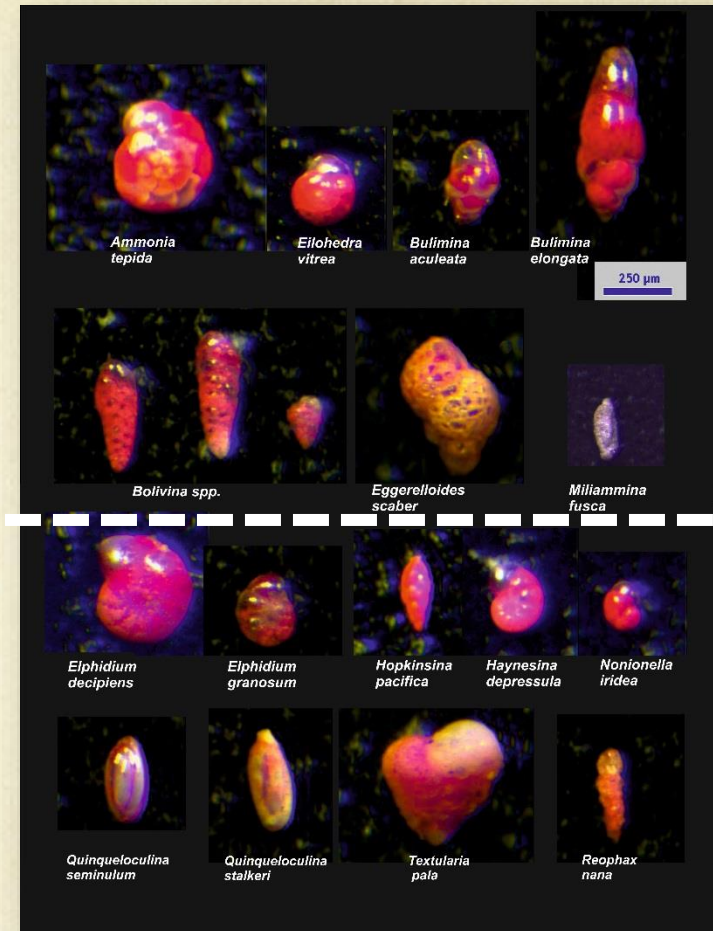
Melis *et al.* (2019) – Seasonal response of benthic foraminifera to anthropogenic pressure in two stations of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea, Italy): the marine protected area of Miramare versus the Servola water sewage outfall.

Foraminiferi in biocenosi (vivi al momento del prelievo)



Confronto fra una stazione nella Riserva di Miramare e una stazione nei pressi del «tubone» che apporta gli scarichi urbani della città di Trieste (Servola)

Specie adattate agli apporti «inquinanti»



Specie che scompaiono in prossimità degli apporti «inquinanti»