

Università di Trieste
Corso di Laurea Geologia
A.A. 2022/23

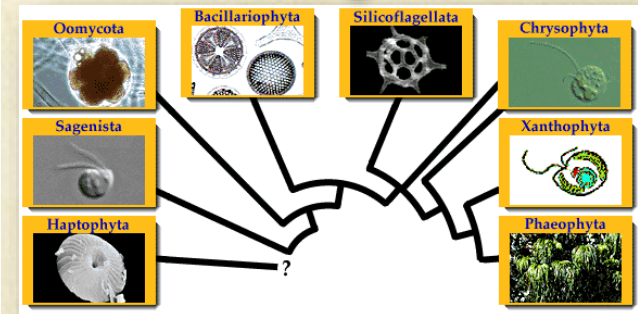
Paleontologia
con elementi di micropaleontologia
Prof. Romana Melis

Foraminiferi

Regno	organizzazione cellulare	nutrizione	riproduzione	motilità
<i>Monera</i>	procariotica (priva di nucleo); unicellulare e/o coloniale	autotrofi (fotosintesi 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 Sarcomastigophora
Sub-phylum Sarcodina
Classe Foraminiferida



- 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

<https://www.youtube.com/watch?v=-jpJhDHSWow>

<https://www.youtube.com/watch?v=BYQNT52tiVU>

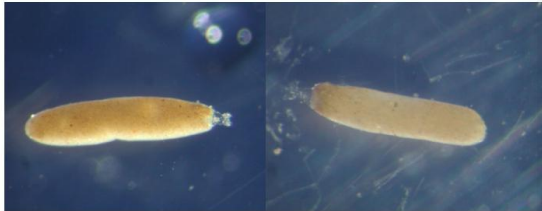


Guscio e diverse tipologie

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.

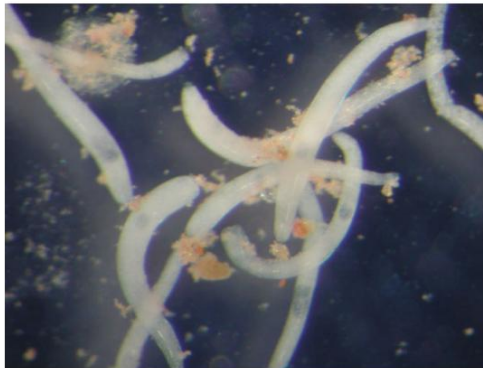
1) Il **guscio pseudochitinoso** è caratteristico delle forme più primitive, generalmente uniloculari.

Gloioquillmia eurystoma



Large morphotypes from Adventford (AF1)

Hippocrepinella alba



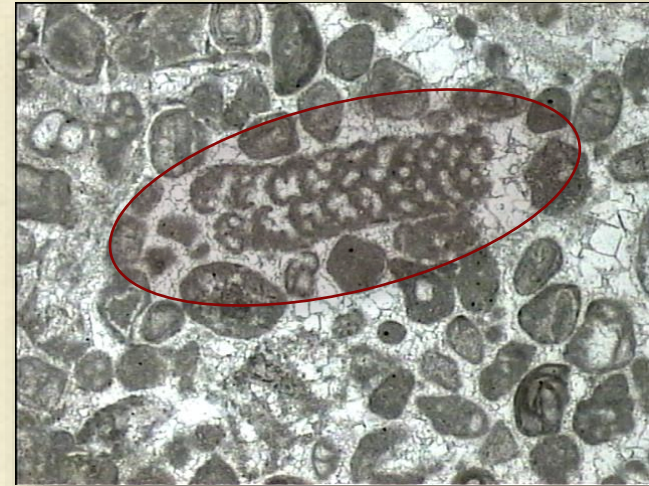
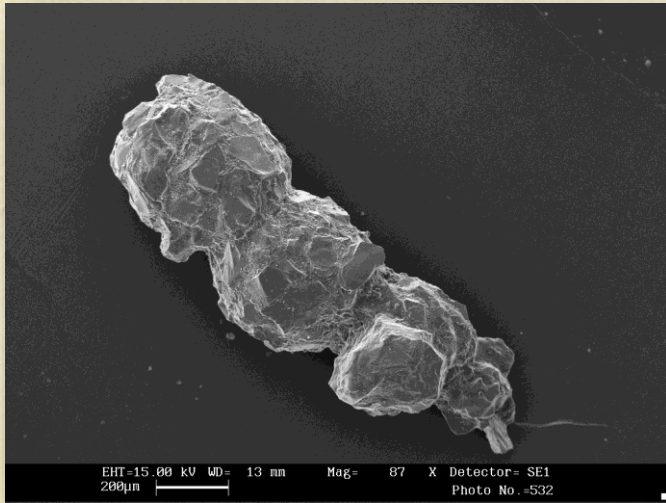
Pilulina argentea



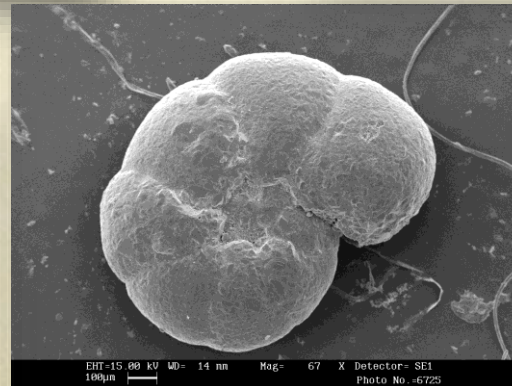
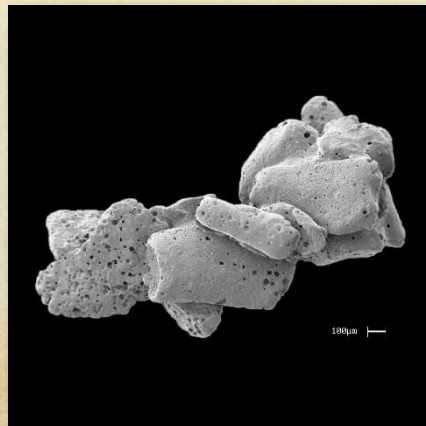
Foto tratte da

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**



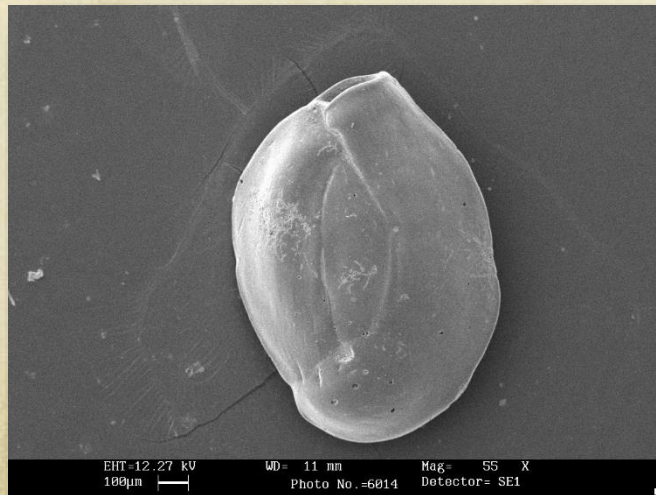
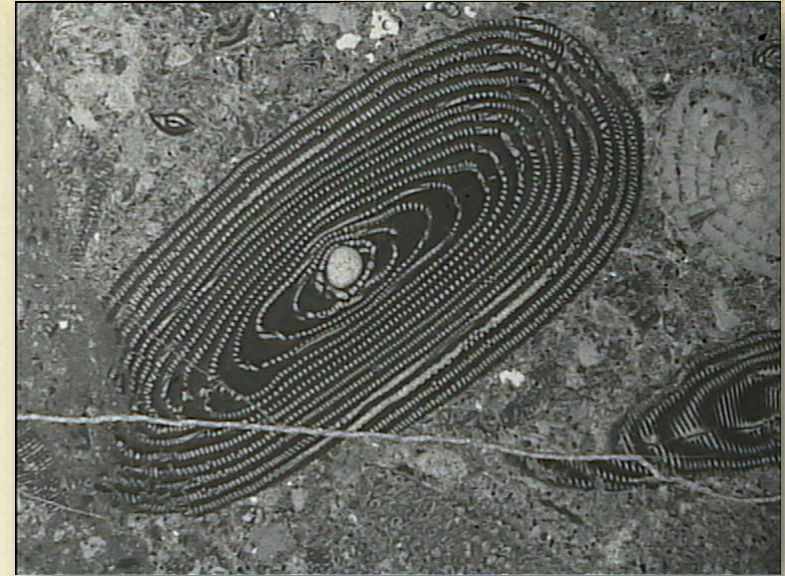
Visione in sezione sottile



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.

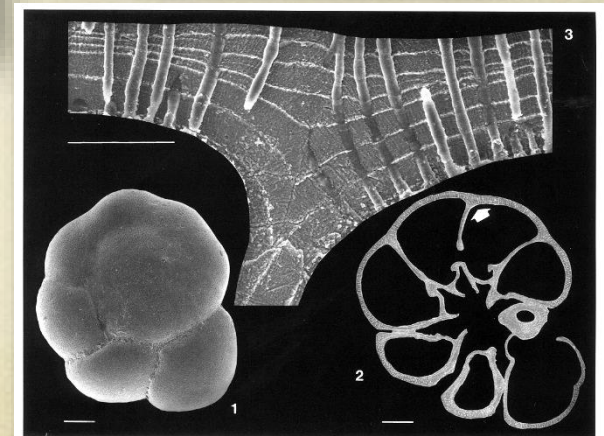
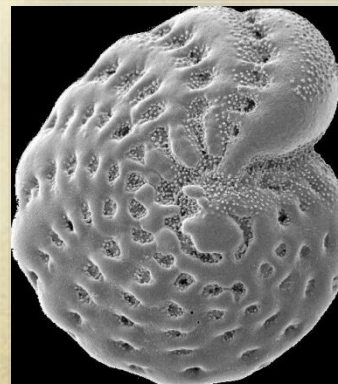
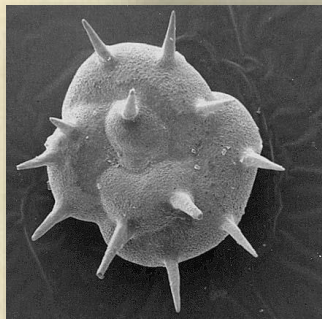
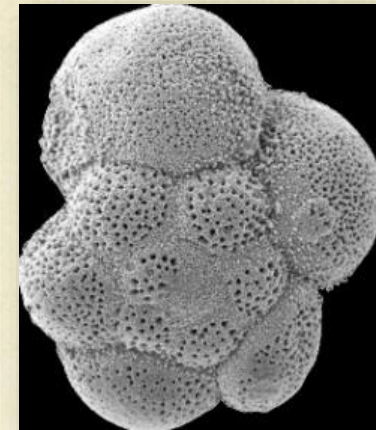
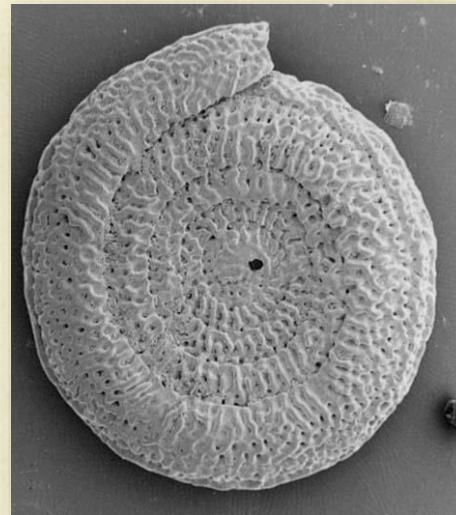
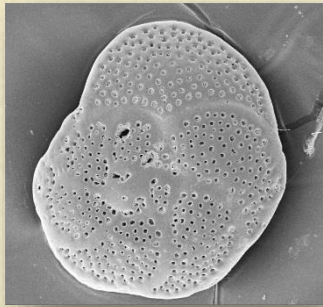
E' formato da cristalli di calcite e/o magnesite in proporzioni variabili, di dimensioni di circa 1.5 μm , disposti senza orientazione.

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

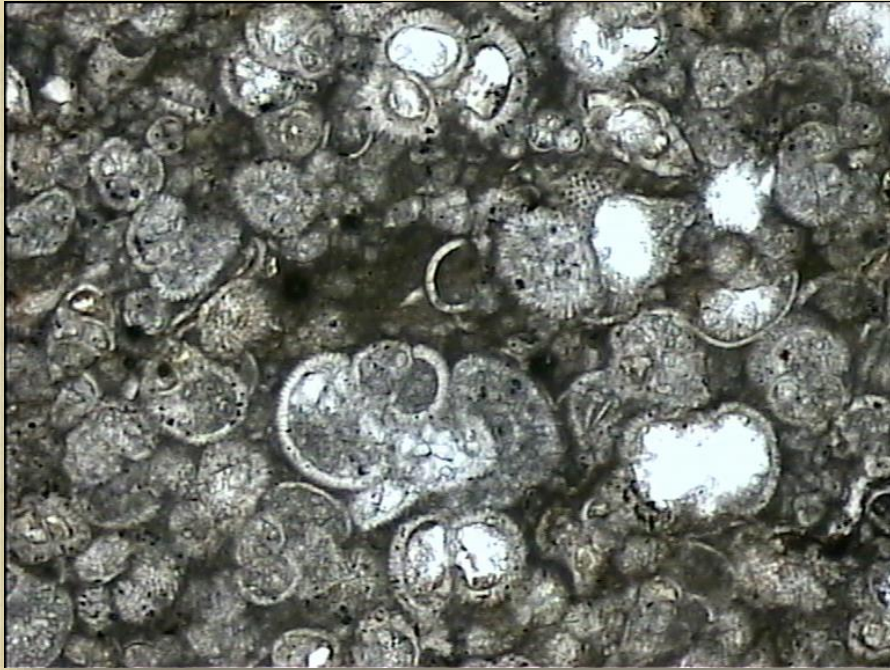


4) Il guscio calcareo ialino ha un aspetto vetroso ed è costituito da cristalli di calcite, il cui asse principale è disposto perpendicolarmente alla superficie.

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

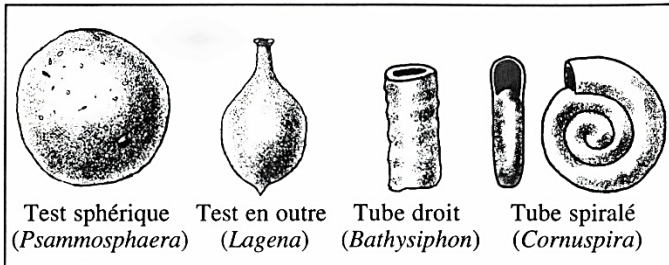


FIGURE 1.27. - Exemples de tests uniloculaires.

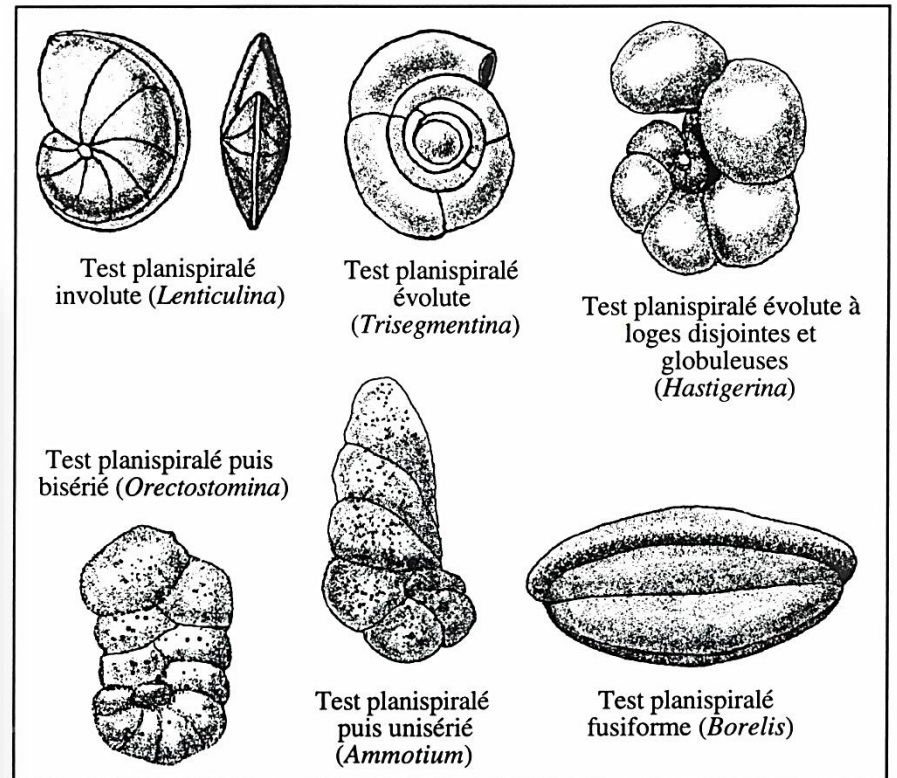


FIGURE 1.29. - Exemples de tests planispiralés.

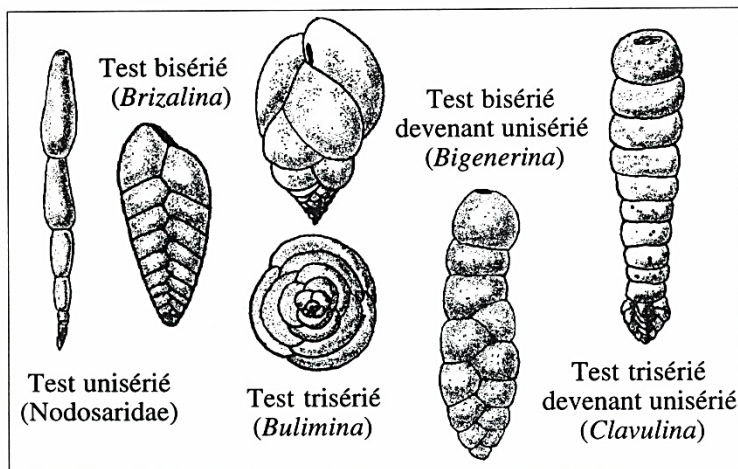
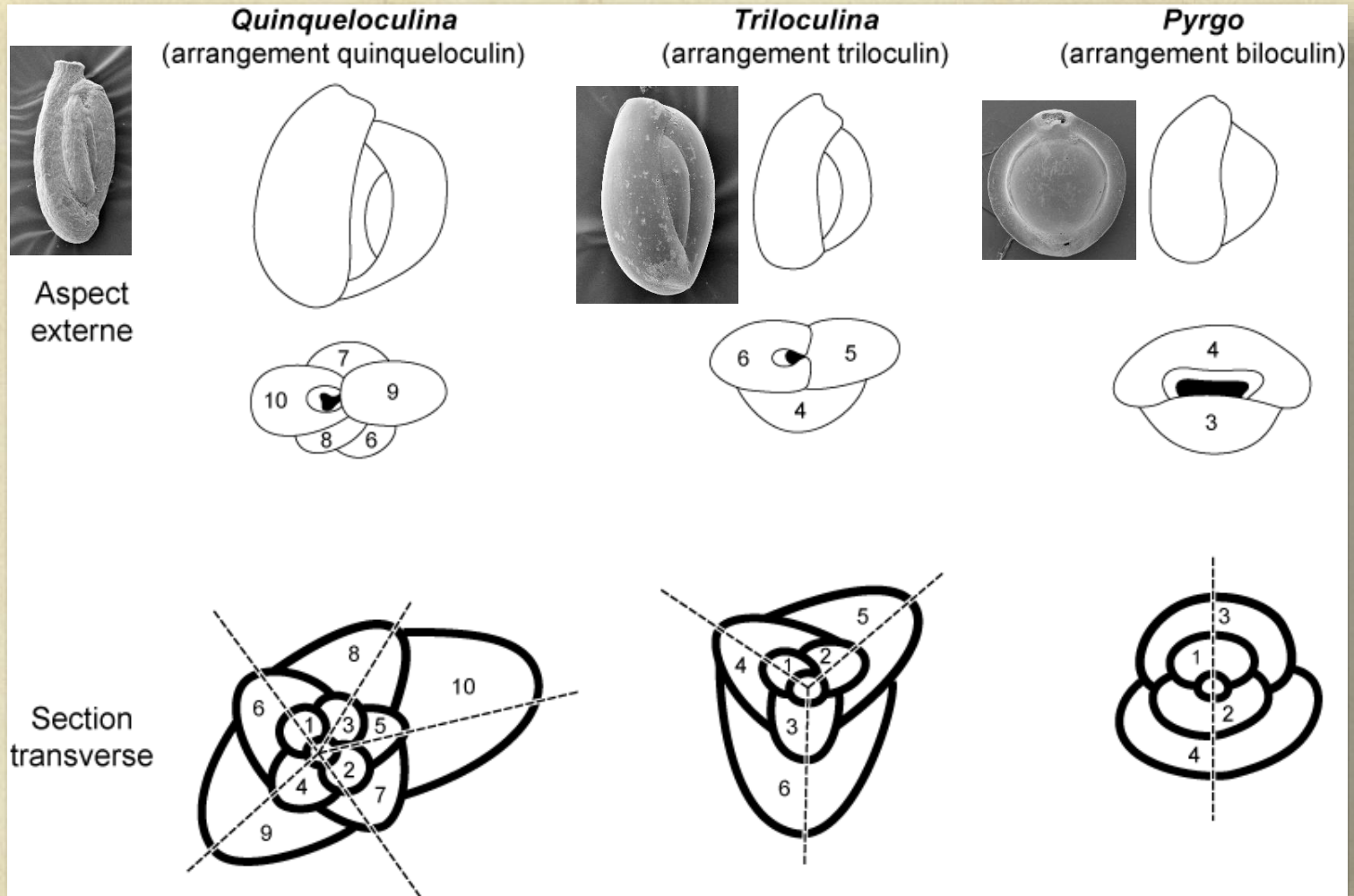


FIGURE 1.28. - Exemples de tests sériés.

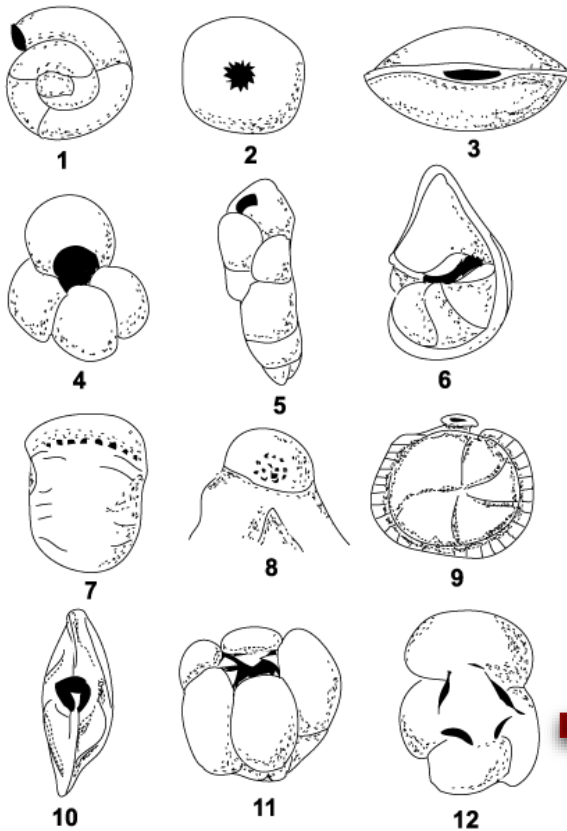
Tassia di tipo «milioliforme», nei foraminiferi porcellanacei



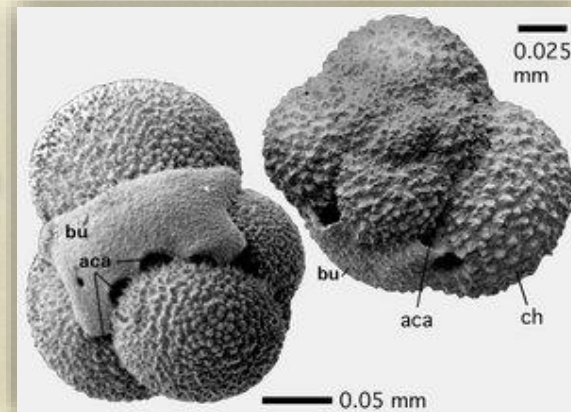
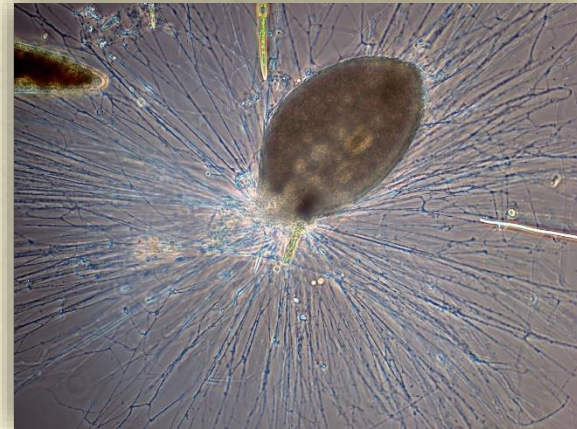
Modalità di formazione di una camera:

<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.

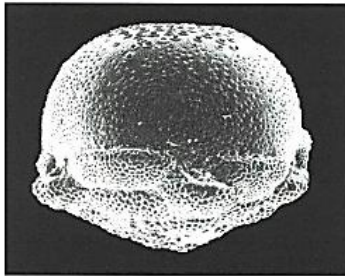


FIGURE 1.59. - « Tretomphalus bulloides » (x 80).

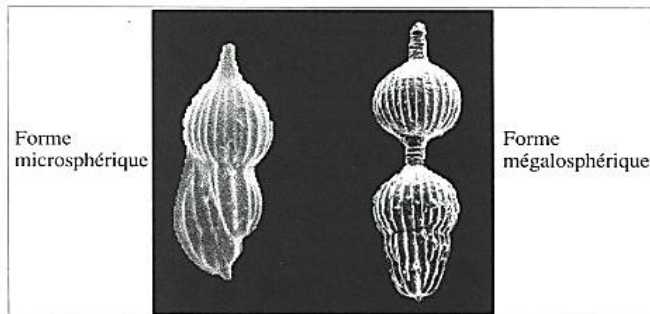


FIGURE 1.60. - Dimorphisme sexuel (Amphicoryna) (x 50).

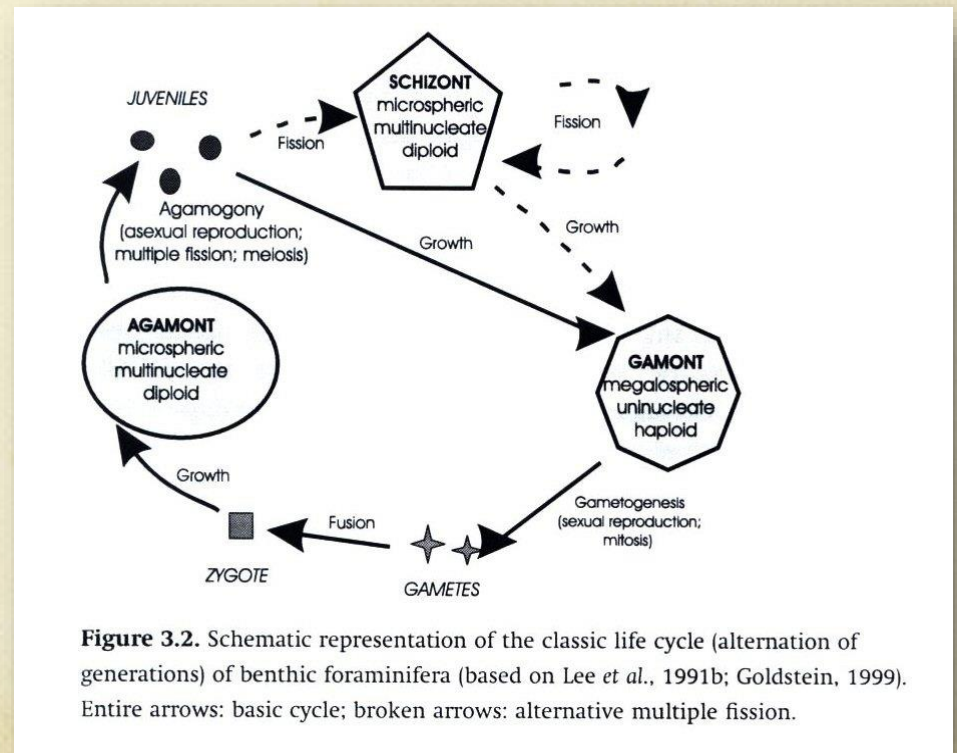


Figure 3.2. Schematic representation of the classic life cycle (alternation of generations) of benthic foraminifera (based on Lee *et al.*, 1991b; Goldstein, 1999). Entire arrows: basic cycle; broken arrows: alternative multiple fission.

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:

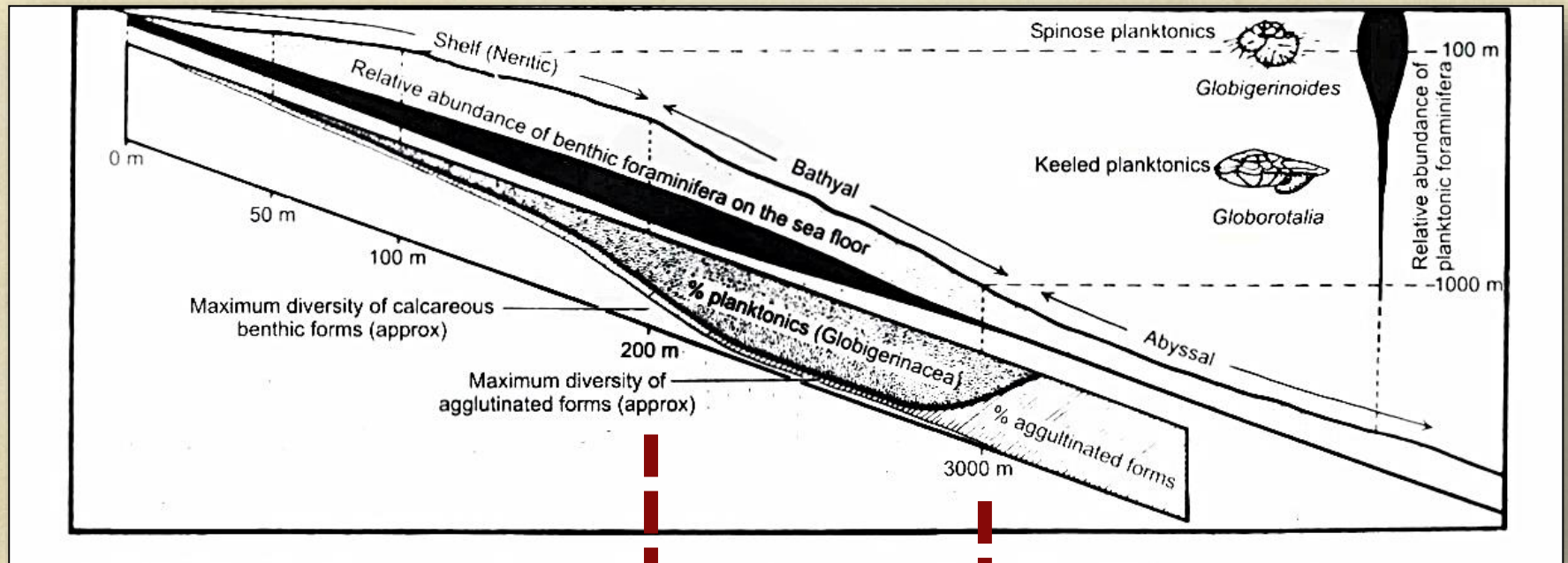
- in casi di deboli tenori di ossigeno disciolto il guscio diventa più sottile, meno ornamentato, più appiattito. In questi casi anche la perforazione tende ad aumentare (scambio dei gas).

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	<p>Flexible, thin and tectinuous</p> <p>Loosely attached grains</p>	Allogromiina
Agglutinated	<p>Agglutinated wall</p> <p>Organic lining</p> <p>Alveoli (labyrinthic wall)</p>	Textulariina
Porcelaneous	<p>Ordered outer layer</p> <p>Random CaCO₃ crystals in organic matrix</p> <p>Ordered inner layer</p> <p>Pseudopunctae</p> <p>Organic lining</p>	Milioliina
Microgranular + Microgranular compound	<p>Microgranular wall (imperforate)</p> <p>Microgranular layer</p> <p>Fibrous layer</p> <p>Mural pore</p>	Fusulinina
	<p>Pore</p> <p>Organic lining</p> <p>Bilamellar wall (with microgranular ultrastructure)</p> <p>Cryptolamellar wall (with microgranular ultrastructure)</p> <p>Pore</p> <p>Successive laminae</p> <p>Pore diaphragm</p> <p>Organic lining</p>	Globigerinina Spirillinina Involutinina (arag) Robertinina (arag)
Hyaline	<p>Radial</p> <p>Oblique</p> <p>Intermediate</p> <p>Compound</p>	Rotaliina

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

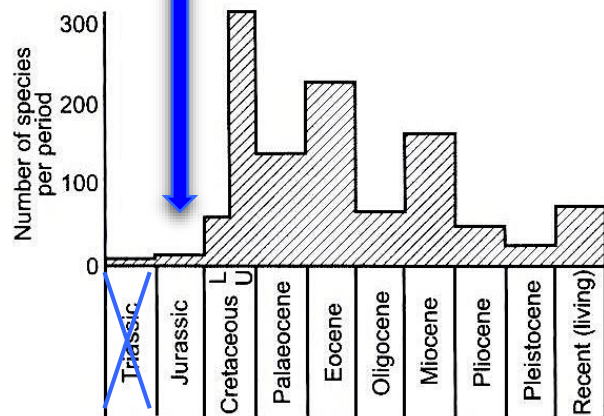


Fig. 15.33 Changes in the specific diversity of planktonic foraminifera through time. Because of the complex evolutionary history, the likely existence of many cryptic taxa and the varied life habits and habitats measures of standing diversity in the foraminifera are probably less meaningful than in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

Storia geologica, con dettaglio sui foraminiferi planctonici (in alto)

Quaternary

Tertiary

Cretaceous

Jurassic

Triassic

Permian

Carboniferous

Devonian

Silurian

Ordovician

Cambrian

Precambrian

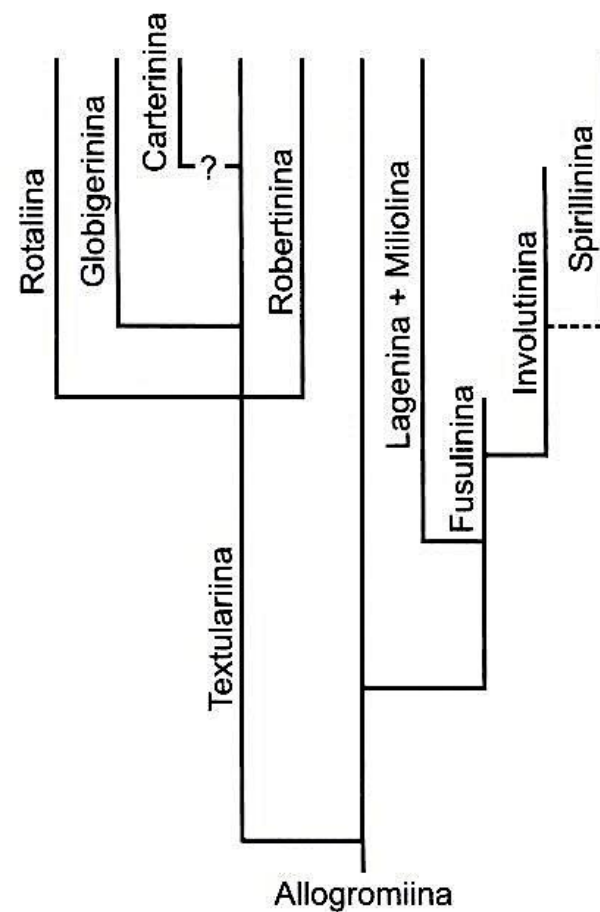


Fig. 15.32 Subordinal phylogeny of the Foraminiferida. (Modified from Tappan & Loeblich 1988, figure 9.)

Campi di applicazione: biostratigrafia, paleoecologia, paleoceanografia, biomonitoraggio

Storia geologica

La distribuzione dei foraminiferi va dal Cambrico all'Attuale, ma nel corso di questo enorme intervallo di tempo, la loro presenza ha subito una continua evoluzione.

All'inizio del **Paleozoico** i primi foraminiferi che compaiono sono bentonici appartenenti al **sottordine Allogromiina**, dotati quindi di un guscio di natura tectinica. Sono forme semplici, unicamerale, che vivono in ambienti marini epicontinentali, poco profondi.

A questo gruppo si uniscono in seguito foraminiferi a guscio agglutinante debolmente cementato (**sottordine Textulariina**), sempre a tassa molto semplice.

A partire dal Devoniano (circa metà Paleozoico) si assiste ad una importante radiazione adattativa che vede la comparsa di:

- foraminiferi a tassa multicamerale;
- foraminiferi provvisti di guscio calcareo microgranulare;
- foraminiferi provvisti di guscio calcareo fibroso.

Questo evento è probabilmente da mettere in relazione con una maggiore saturazione di CaCO_3 negli ambienti marini; questo periodo è, infatti, caratterizzato da estese facies carbonatiche di piattaforma.

Se fino ad ora il ruolo biostratigrafico dei foraminiferi è decisamente poco importante, a partire dal **Carbonifero** (parte alta del Paleozoico) si assiste ad una nuova importante radiazione adattativa con la comparsa di foraminiferi bentonici appartenenti al **sottordine Fusulinina** (guscio calcareo microgranulare). I Fusulinidi in un breve intervallo di tempo si diversificano in circa 100 generi e 5.000 specie e si diffondono negli ambienti marini di piattaforma carbonatica di tutto il mondo.

Nello stesso periodo (Carbonifero-Permiano) compaiono i primi foraminiferi porcellanacei (guscio calcareo imperforato, **sottordine Miliolina**).

Alla fine del Paleozoico, per motivi climatici, tettonici e vulcanici, si assiste ad una importante estinzione di numerosi taxa, fra i quali anche i foraminiferi subiscono delle perdite notevoli, con l'estinzione globale dei Fusulinidi.

Nel Trias (Mesozoico) la ripresa evolutiva dei foraminiferi è piuttosto lenta; ancora una volta si ripopolano gli ambienti poco profondi di mari epicontinentali, ma in seguito comincia la colonizzazione di ambienti marini più profondi. Compaiono le prime forme a guscio calcareo perforato (**sottordine Rotaliina**).

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**).

Durante il Cretaceo (fine Mesozoico) le favorevoli condizioni climatiche, unitamente ad estese correnti oceaniche temperate, creano le condizioni per una spettacolare radiazione adattativa dei foraminiferi, sia bentonici che planctonici.

Negli ambienti di piattaforma carbonatica del mare della Tetide sono molto diffusi i foraminiferi porcellanacei della famiglia delle **Alveolinidae** e macroforaminiferi calcarei perforati denominati **Orbitoidi** (*Orbitoides*).

Nella parte terminale del Cretaceo, l'utilizzo biostratigrafico dei foraminiferi planctonici (ad esempio *Globotruncana* e *Heterohelix*) è molto elevato, in quanto questi presentano tutti i caratteri di buoni fossili guida, con una risoluzione temporale di circa 1 milione di anni.

Alla fine del Cretacico si assiste ad **un'estinzione globale di moltissimi taxa**; tra i foraminiferi scompaiono la maggior parte dei planctonici e buona parte dei bentonici di ambienti marini poco profondi.

Nel Paleocene la ripresa è lenta, ma comunque si assiste nuovamente ad una colonizzazione della colonna d'acqua superficiale da parte dei planctonici e dei mari epicontinentali poco profondi da parte dei bentonici. Per quanto riguarda i foraminiferi planctonici, la maggior parte delle **specie attuali** compaiono a partire dal Miocene; attualmente sono presenti circa una cinquantina di specie.

Tra i foraminiferi bentonici, nel Paleogene (Paleocene - Oligocene) hanno grande sviluppo ancora i rappresentanti del gruppo degli **Orbitoidi**, quelli della famiglia **Nummulitidae** e, subordinatamente, rappresentanti della famiglia **Alveolinidae**. Di questi, i pochi rappresentanti attuali sono confinati nelle zone tropicali.

I foraminiferi attuali (bentonici e planctonici) popolano tutti gli ambienti marini a partire dalle zone più costiere a quelle abissali; le forme attuali appartengono a circa 5.000 specie, delle quali solo una parte molto esigua è conosciute da un punto di vista biologico.

I foraminiferi "celebri"



Ordine Fusulinida,

famiglia Fusulinidae, (Carbonifero – Permiano)

SONO ESTINTE

genere *Fusulina*

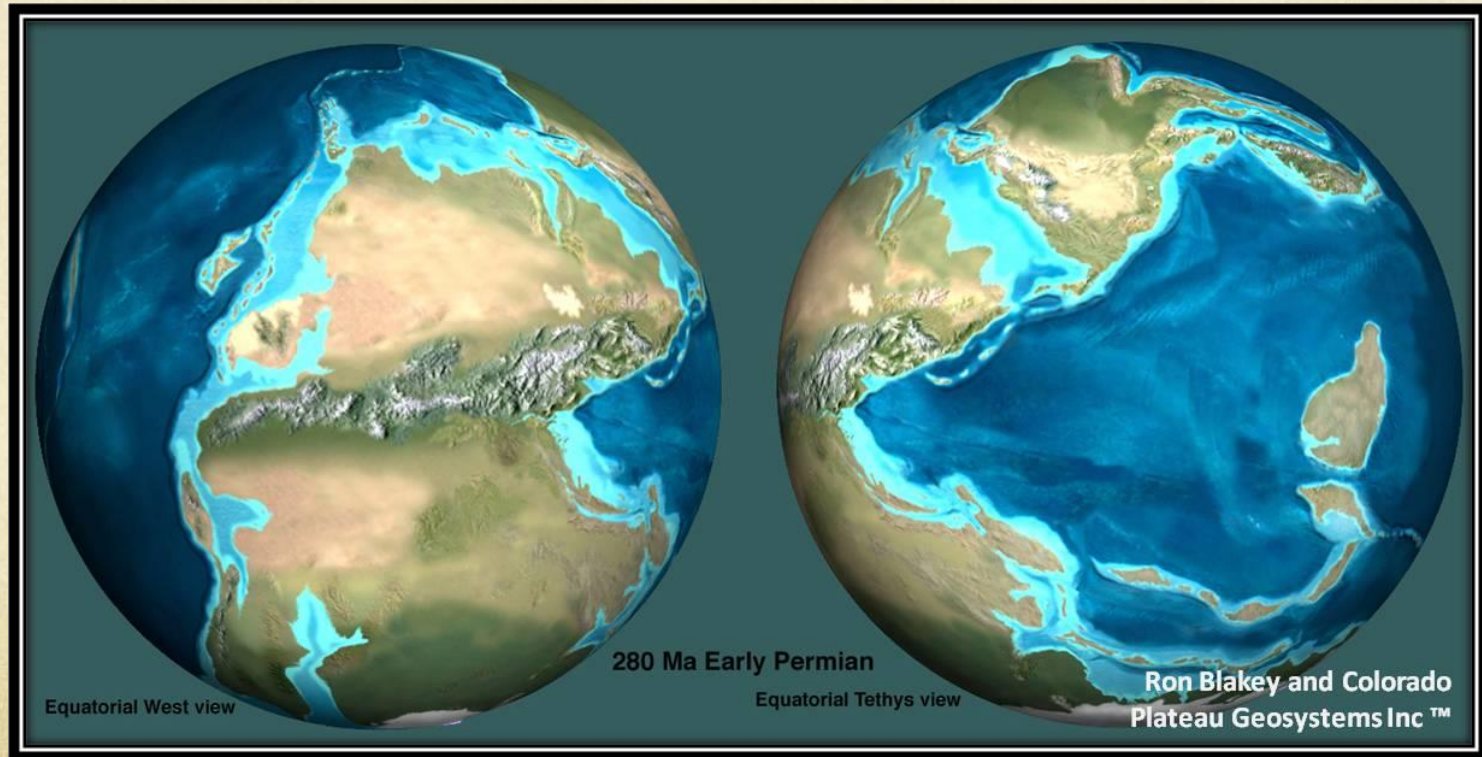
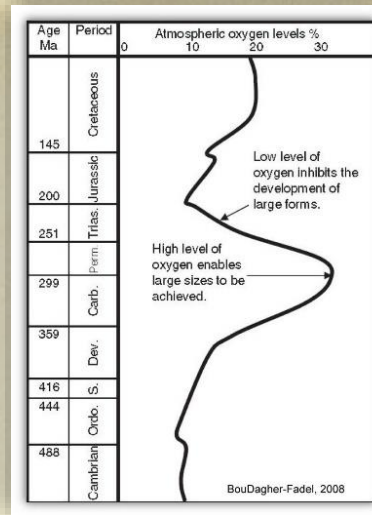
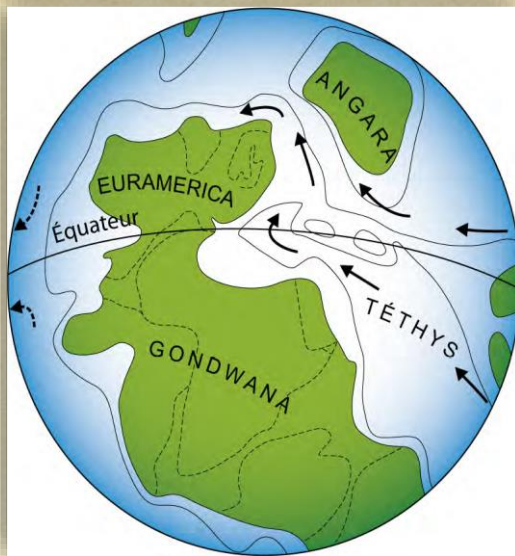


Generalità:

il guscio è costituito da una lamina calcarea con spessore di circa $5 \mu\text{m}$ (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

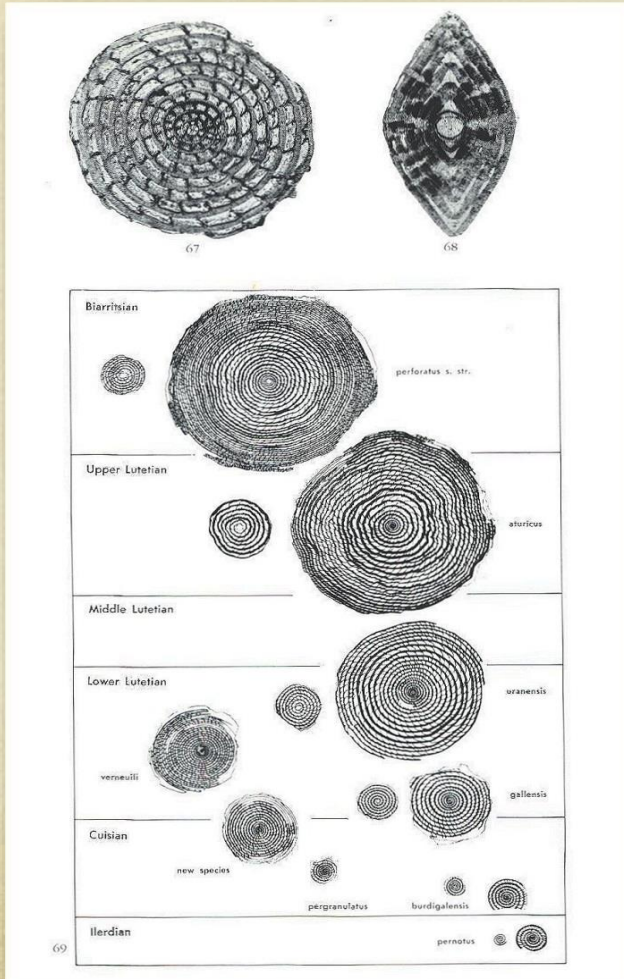


Ordine Rotaliida, famiglia Nummulitidae, (Paleocene – Attuale)

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.



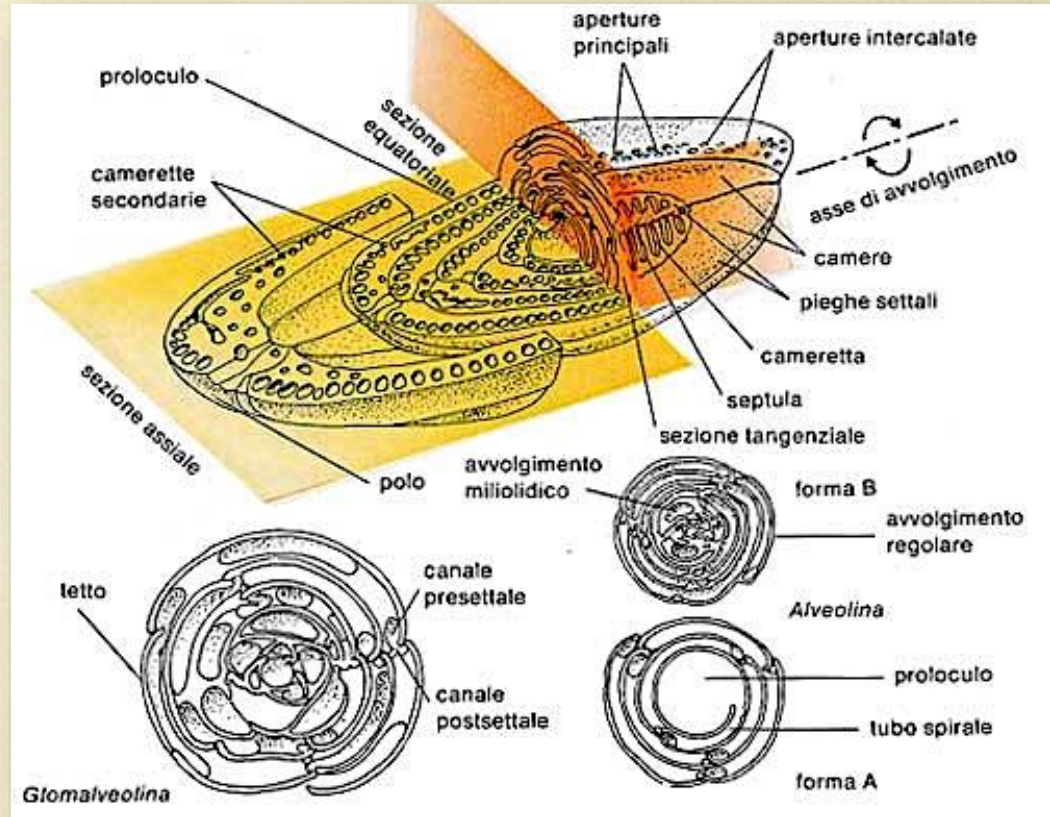
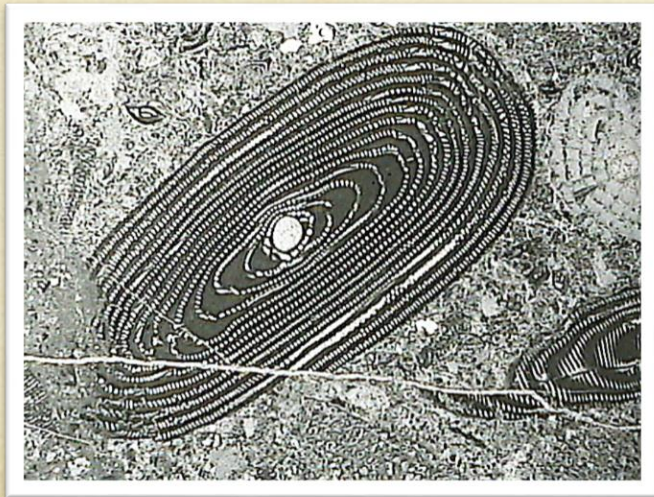
Calcarei nummulitici di età eocenica sono stati utilizzati nell'antichità come materiale per costruire le grandi piramidi.

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

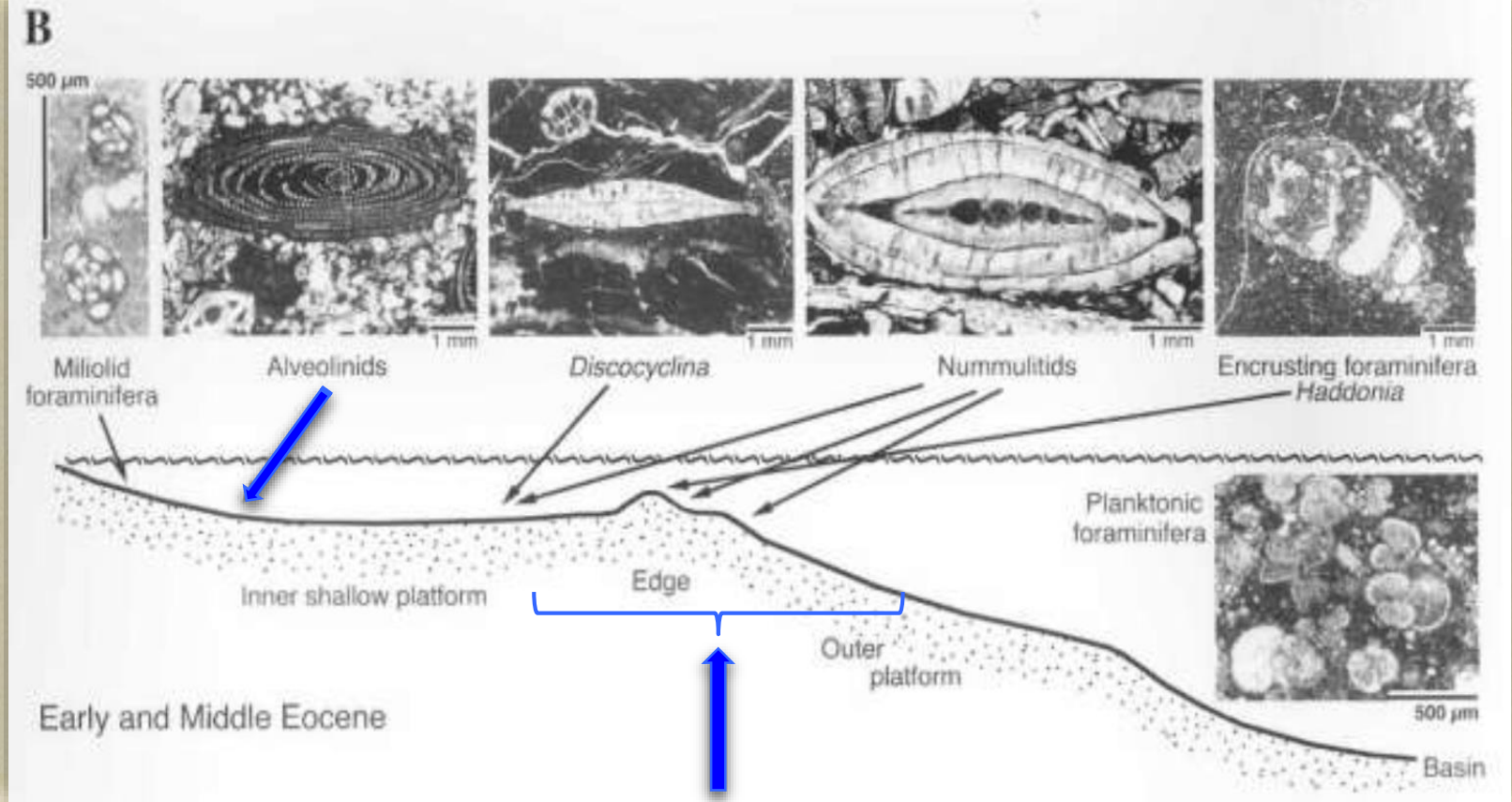


Ordine Miliolida, famiglia Alveolinidae, (Cretaceo – Attuale)

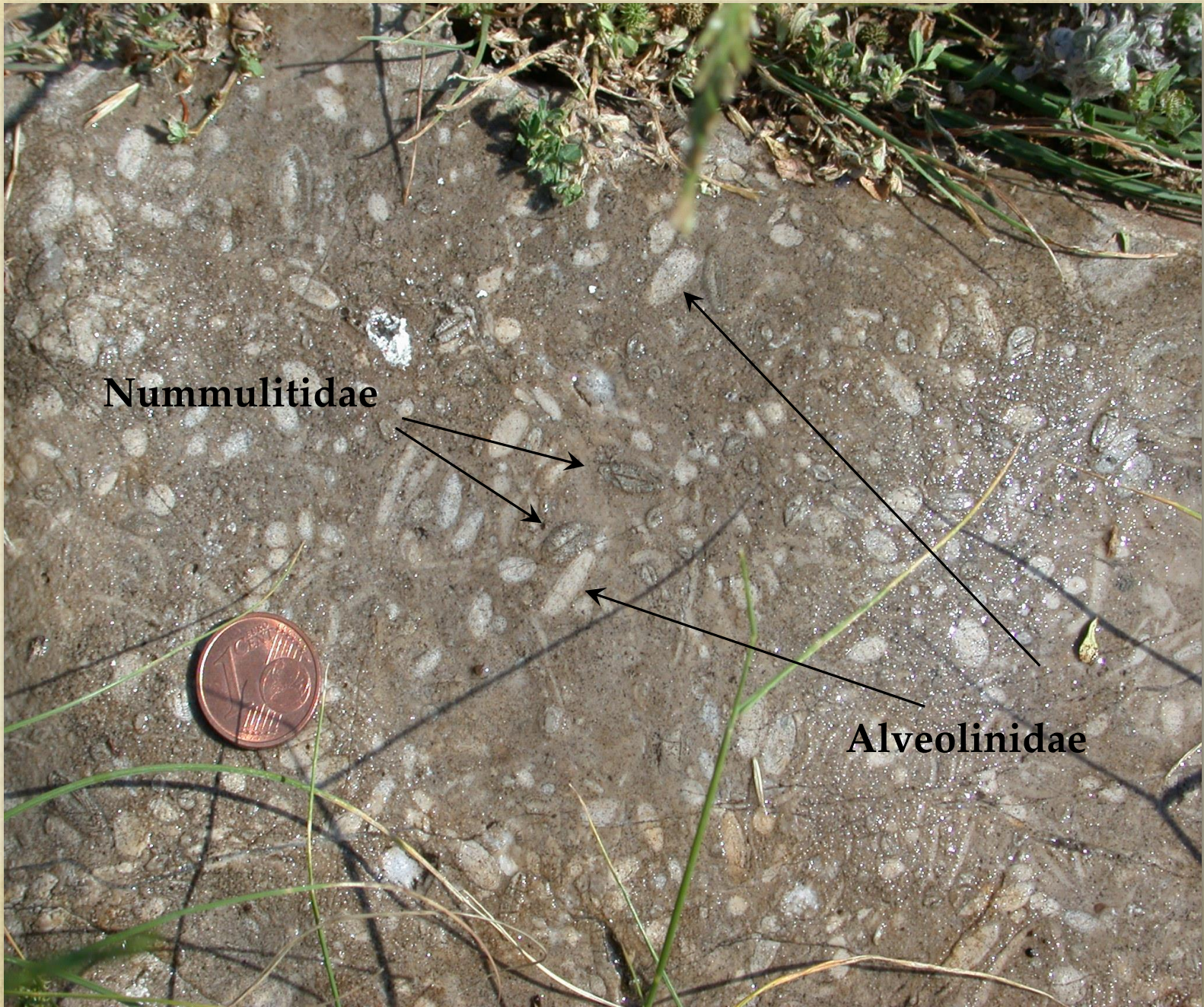
Genere *Alveolina* (Paleocene-Eocene: **ESTINTO**); foraminiferi calcarei imperforati, guscio porcellanaceo.
Presenti in ambienti poco profondi di piattaforma carbonatica



Genere *Alveolina*



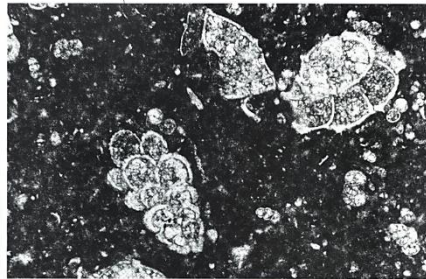
ambienti di vita di Alveolinidae e Nummulitidae: piattaforme a sedimentazione carbonatica, mari caldi



Nummulitidae

Alveolinidae

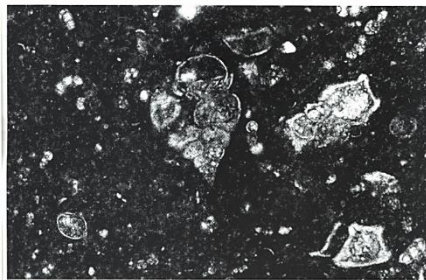
Foraminiferi planctonici, ordine Globigerinida (Giurassico – Attuale) guscio calcareo bilamellare perforato



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

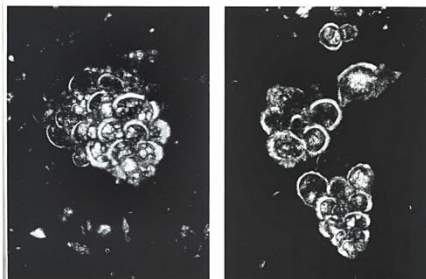
NEOCOMAN										BERNANIAN			
MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN

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



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

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



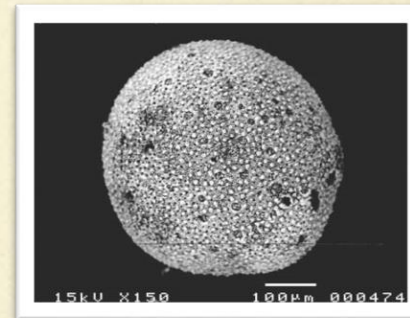
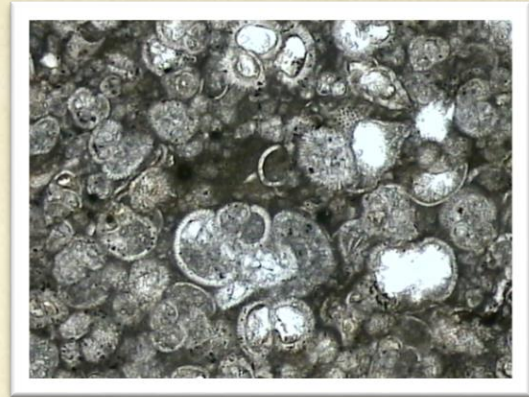
Heterohelicidae (X 80) (left), MAASTRICHTIAN of Monte Conero, Marche, Italy.

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

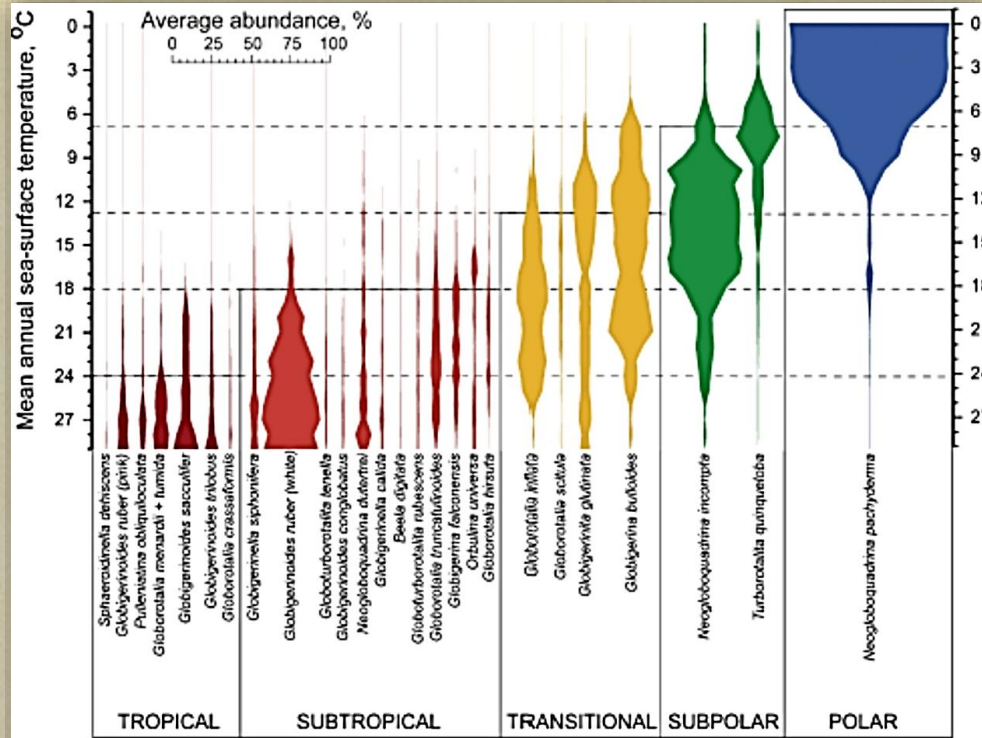
NEOCOMAN										BERNANIAN			
MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN	MASTRICHTIAN

Multiserial *Heterohelicidae* are typical of the MAASTRICHTIAN.

Mesozoico: prevalenti forme con profilo acuto, carenato

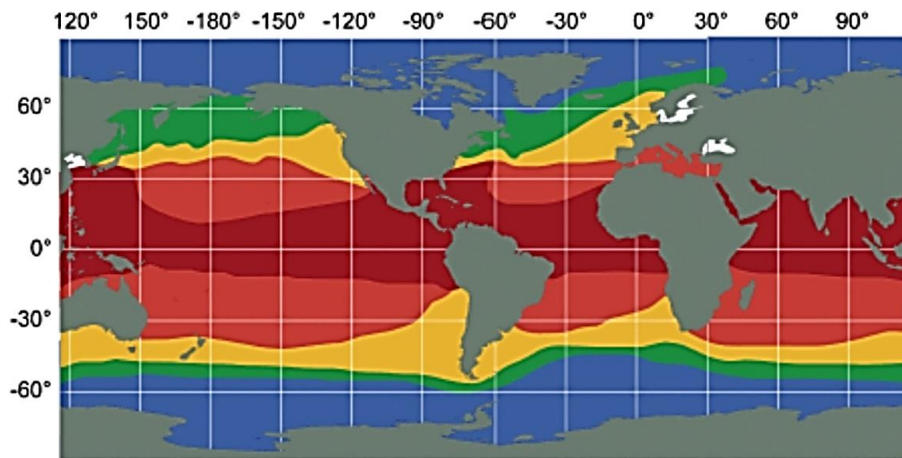


Cenozoico: prevalenti forme con profilo più arrotondato, parete cancellata, comparsa delle spine

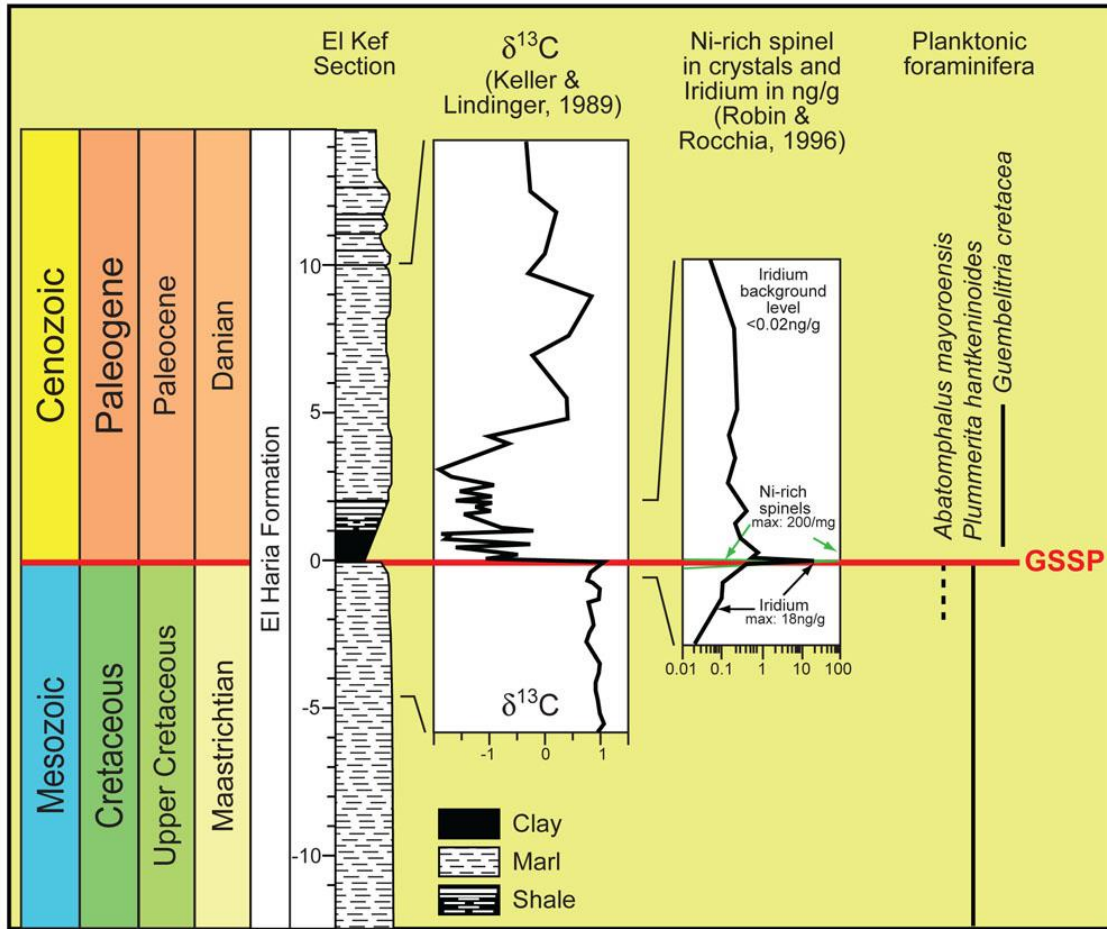


Distribuzione dei
foraminiferi
planctonici attuali:

**forte dipendenza
dalla temperatura
dell'acqua**



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



Le applicazioni

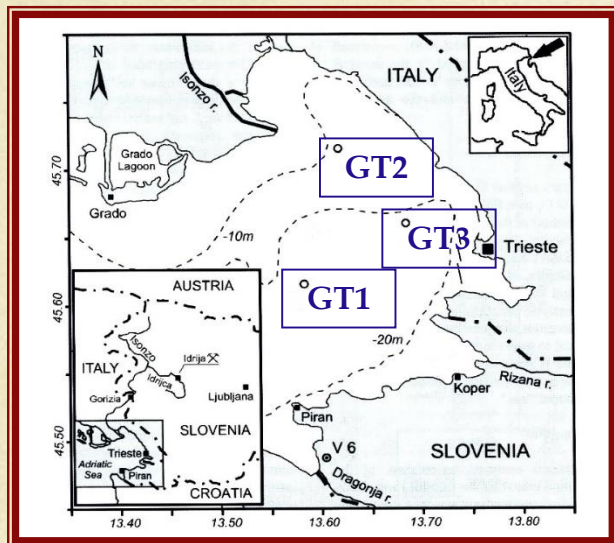
Applicazione biostratigrafica

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

Passaggio Cretaceo-Paleocene, in

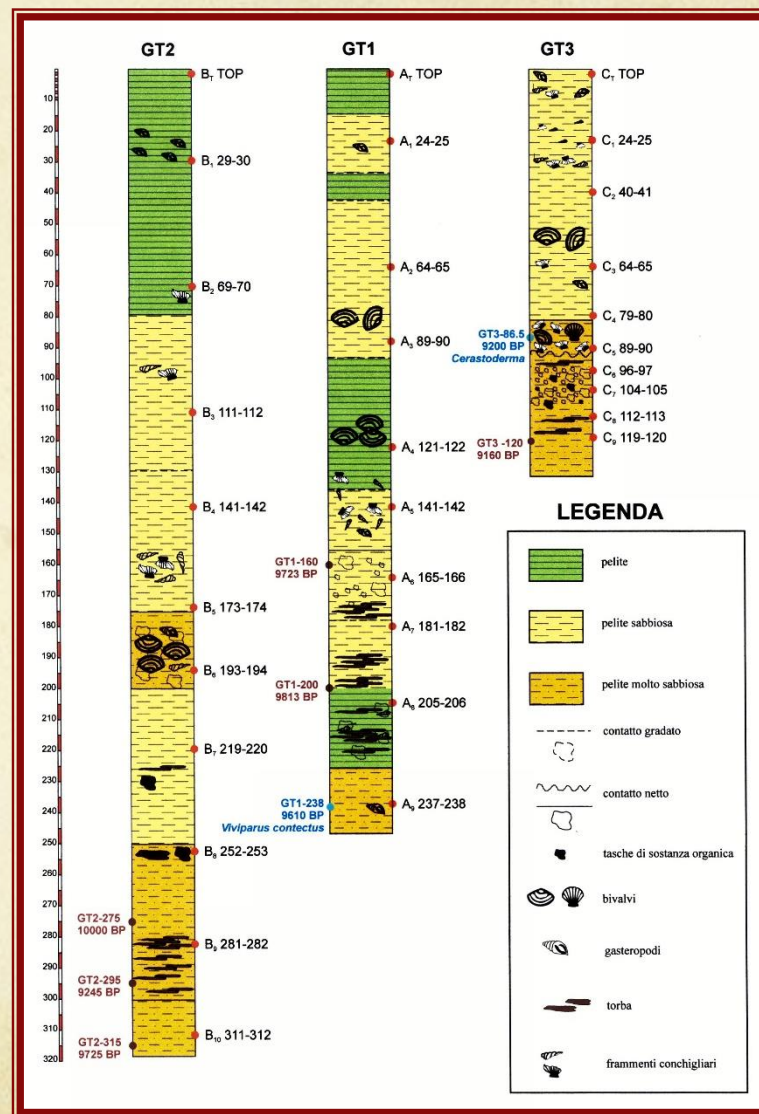
<http://www.stratigraphy.org>

Applicazione paleoambientale



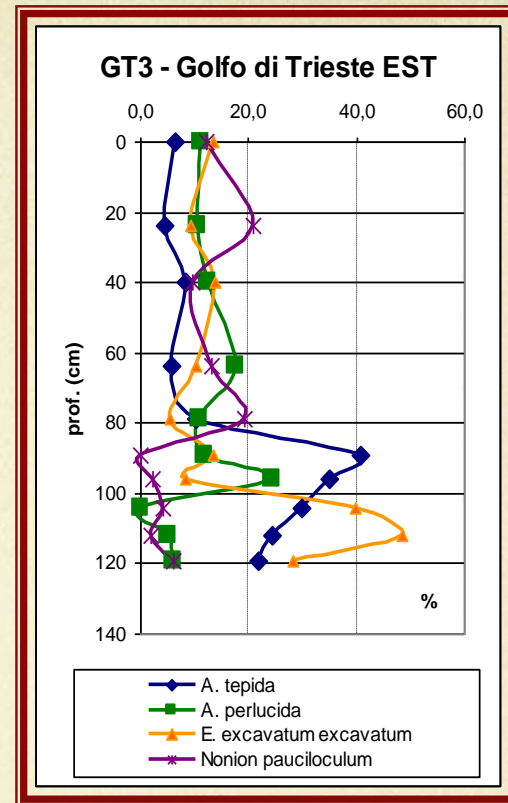
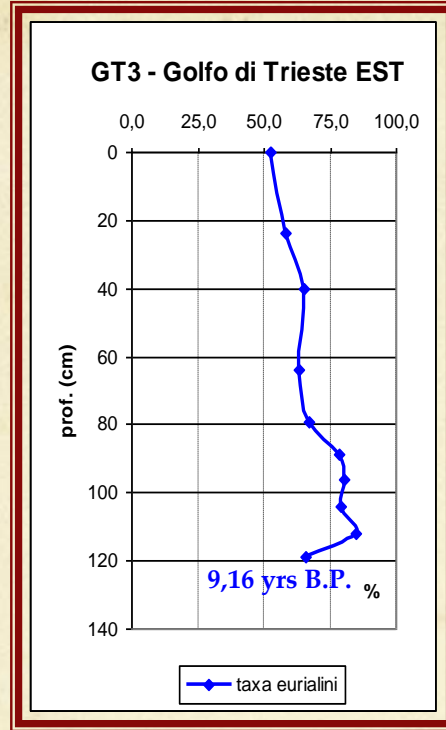
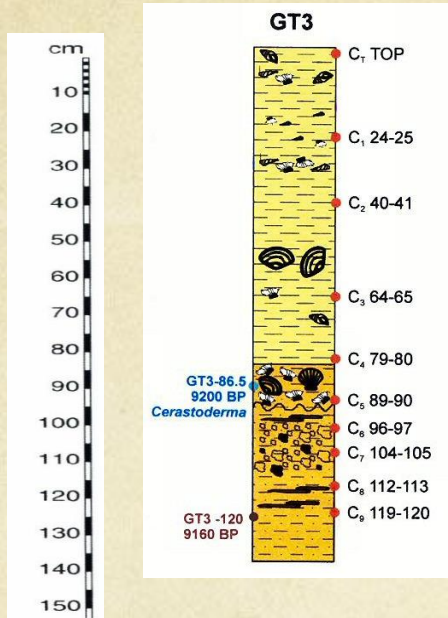
Da Covelli et al., 2006

Il Golfo di Trieste



Da Covelli et al., 2006

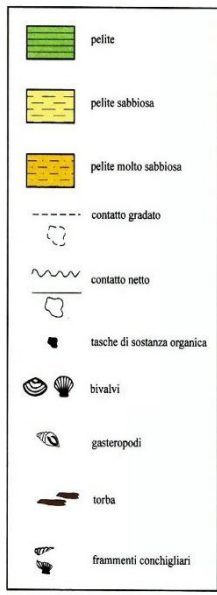
posizione antistante alla città di Trieste



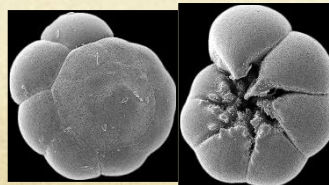
Ambienti
infralitorali

Ambienti
salmastri

LEGENDA



Ammonia tepida – foraminifero
lagunare (eurialino)

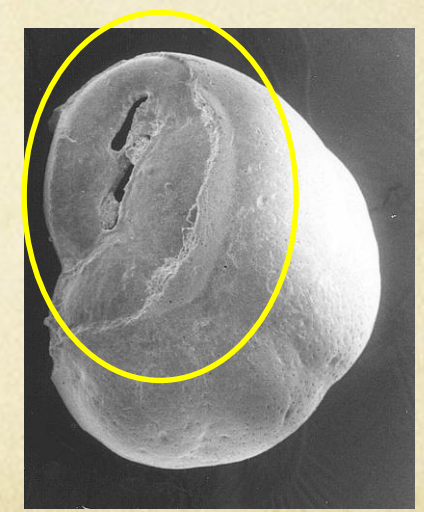
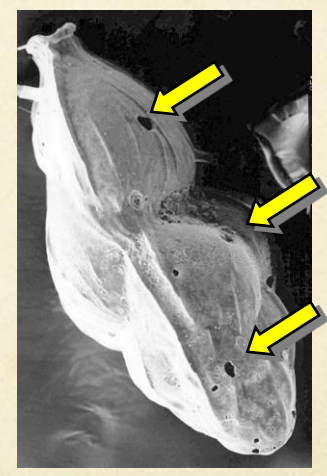
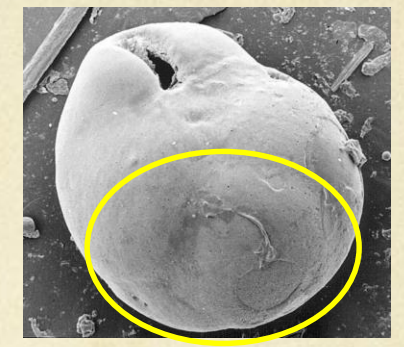
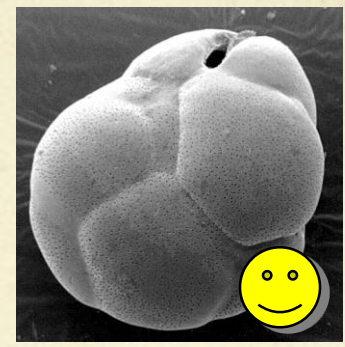
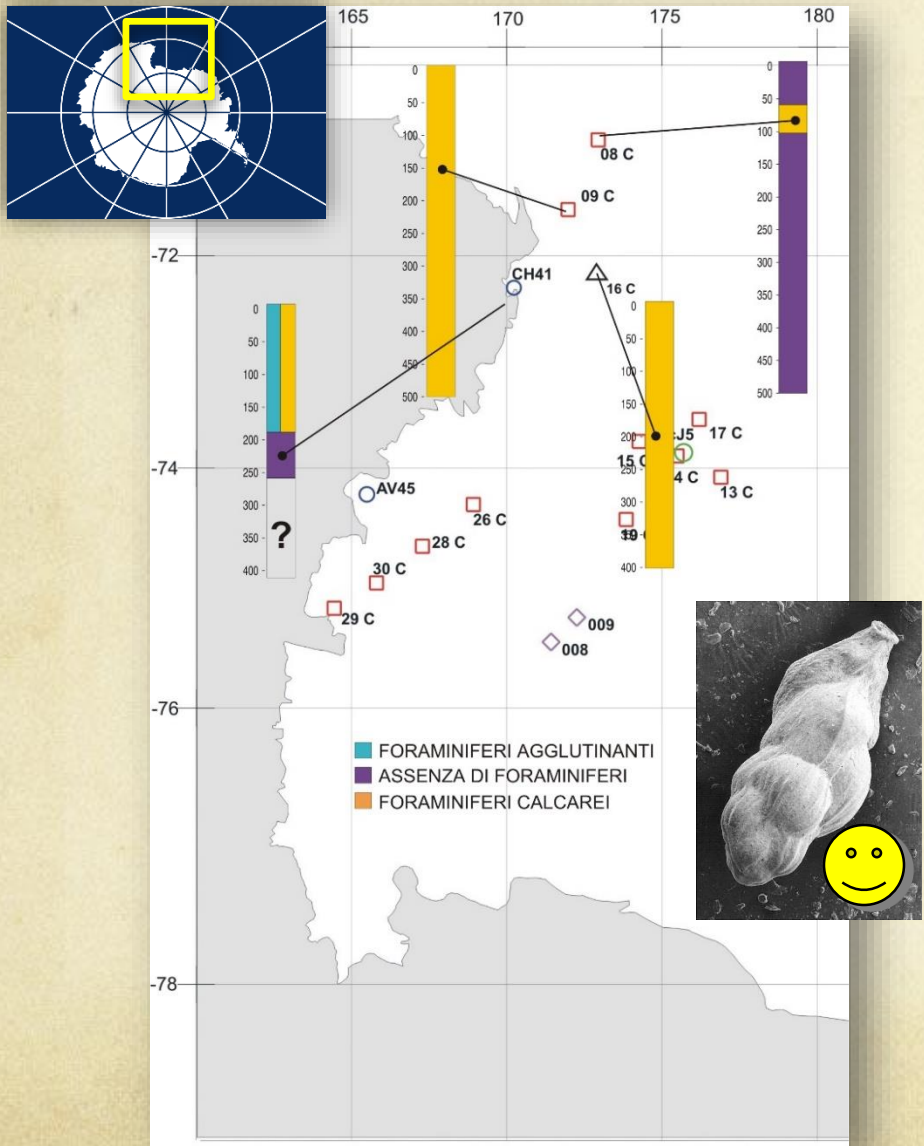



Foraminiferi marini
infralitorali

Applicazione paleoceanografica (1)

Mare di Ross, Antartide:

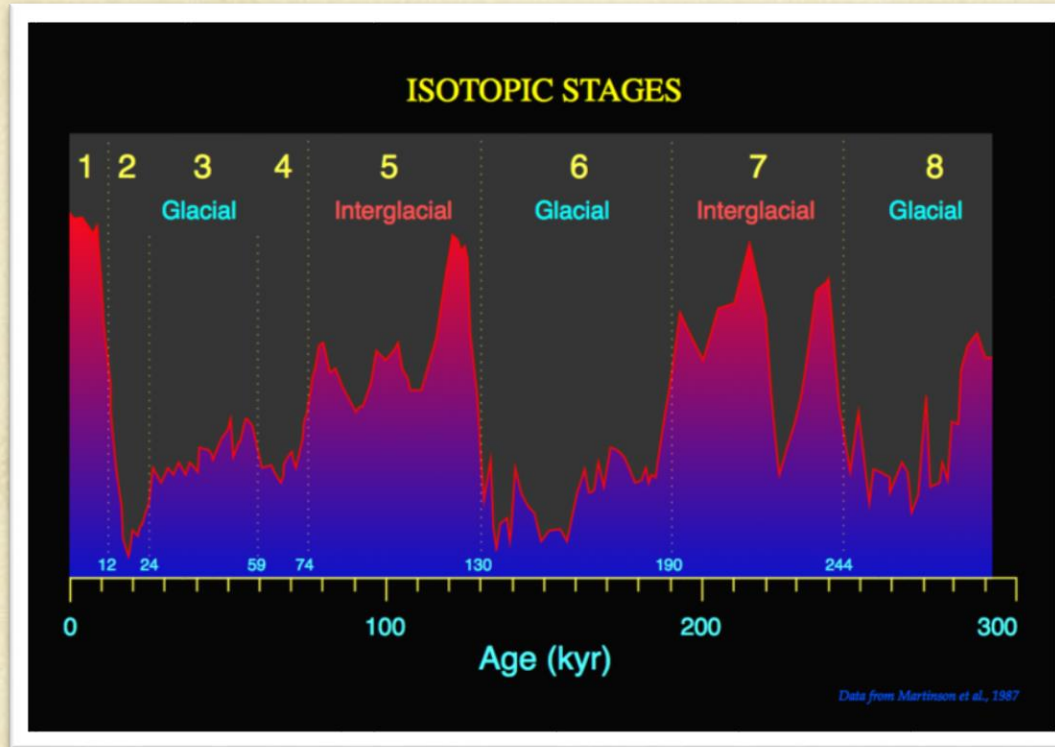
la dissoluzione dei gusci, relazione con le caratteristiche delle masse d'acqua – profondità del CCD



 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)



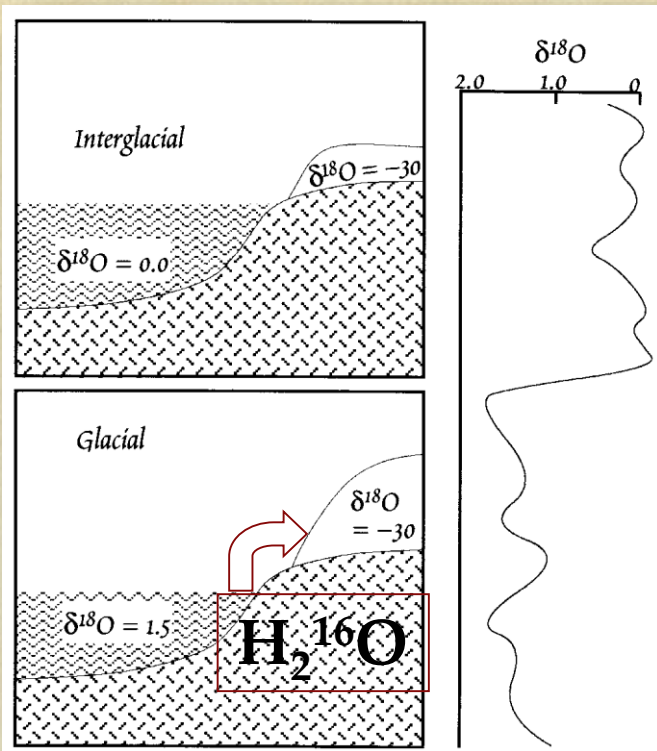
Applicazione:
paleotemperatura
e paleosalinità
delle masse
d'acqua

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)

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



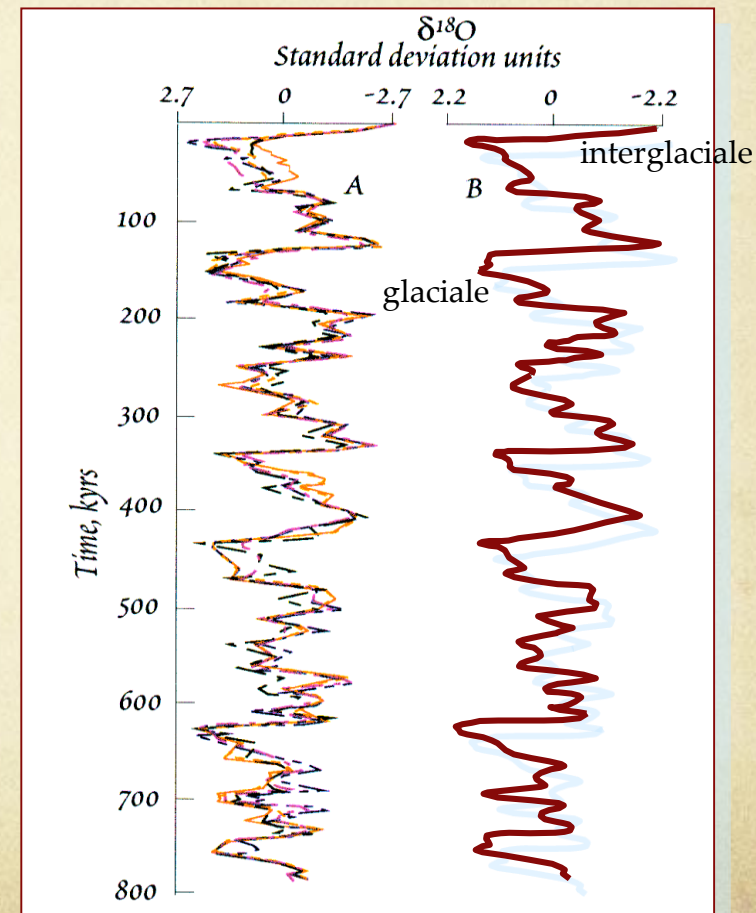
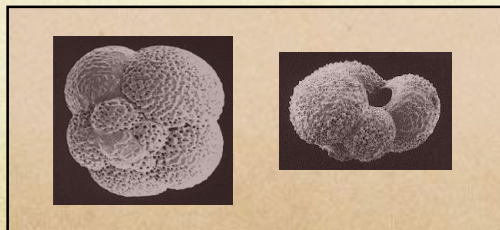
➔ less ice


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 ship with a white superstructure and a tall, striped mast is docked. To its right, a white passenger ship is docked. In the background, several other ships are docked along a pier, and a city with various buildings is visible on the shore. The water is dark and calm.

I foraminiferi e il biomonitoraggio

Le principali fonti di inquinamento sono:

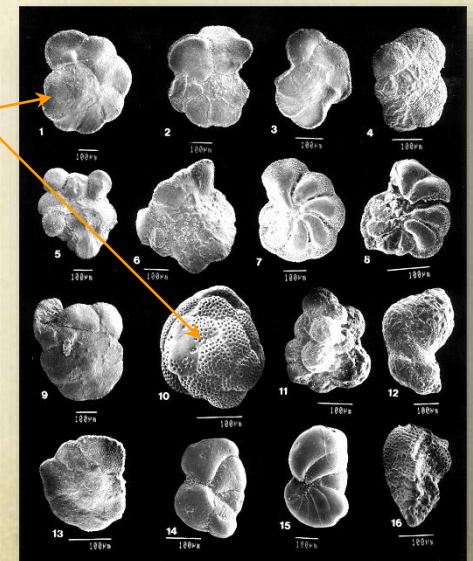
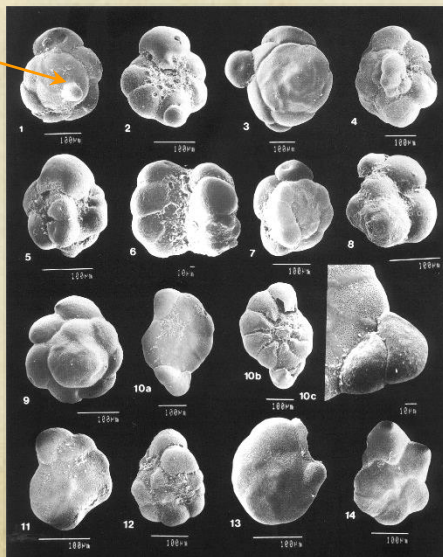
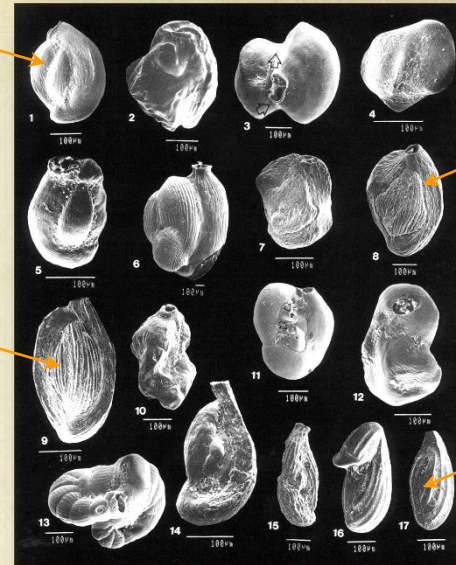
- apporto di sostanza organica (domestica e industriale)
 - diminuzione dell'ossigeno disciolto
- apporto di sostanze tossiche, quali i metalli pesanti



- NON E' FACILE VALUTARE L'INFLUENZA DEI DIFFRENTI INQUINANTI
- 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

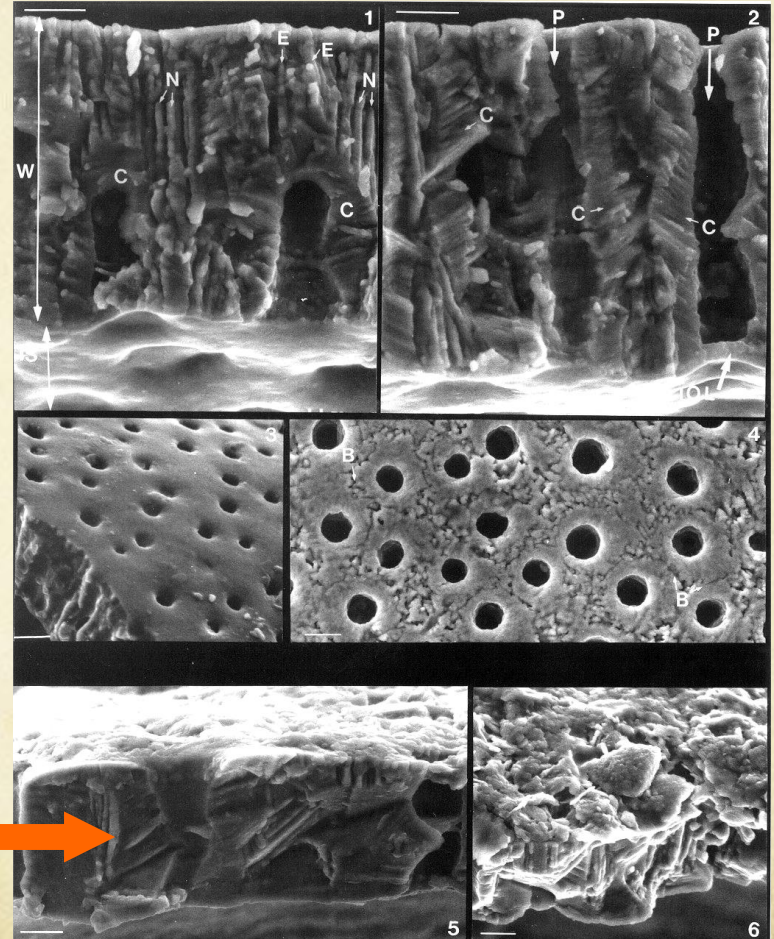
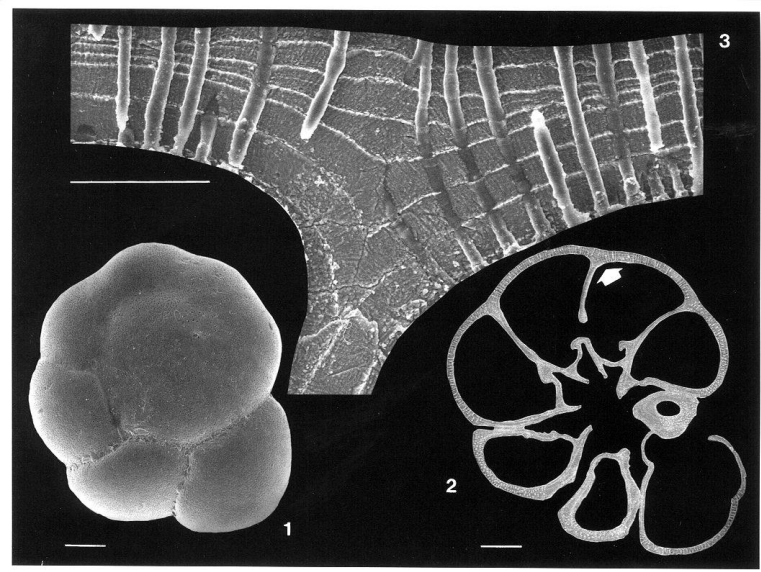
La deformazione dei gusci

- aperture doppie o molto più grandi
- riduzioni anormali delle dimensioni
- presenza anomala di protuberanze
- deformazioni nell'avvolgimento delle forme spiralate
- forma aberrante di una o più camere
- gusci "siamesi"



Fotografie da Yanko *et al.*,
1994

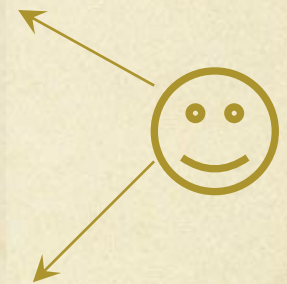
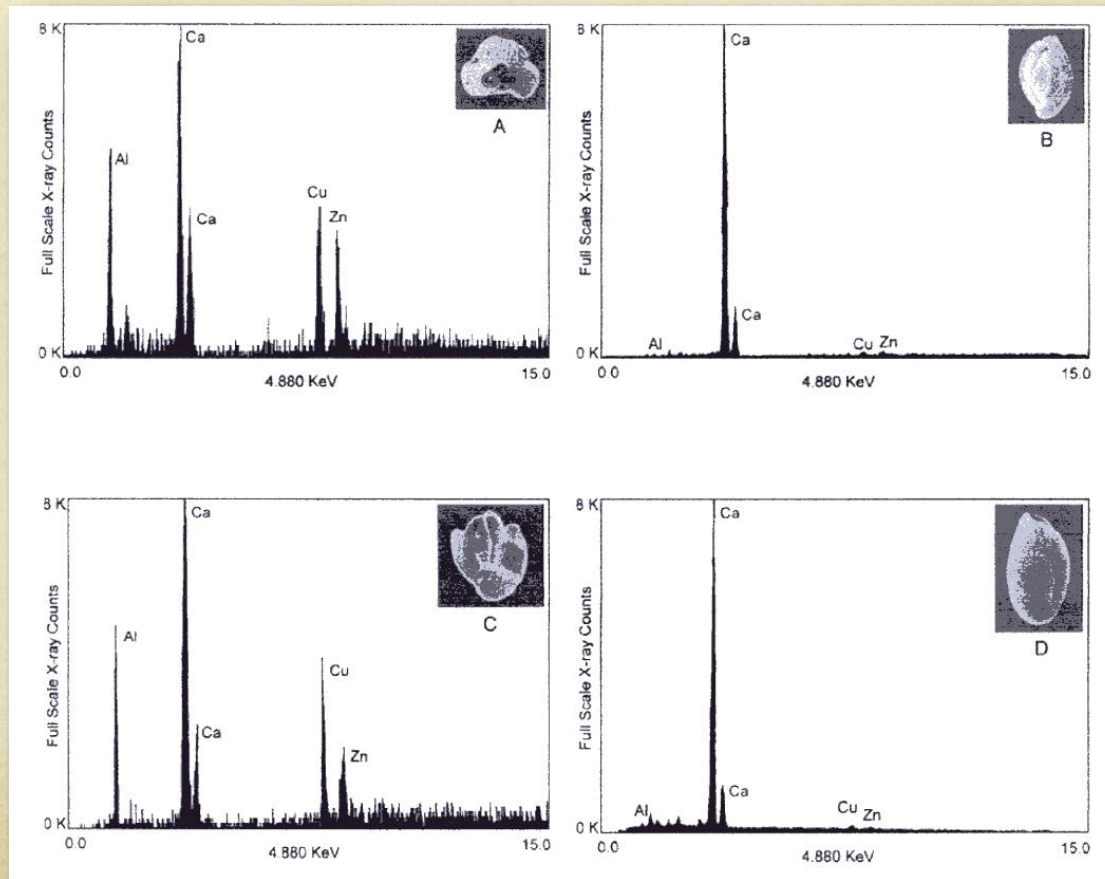
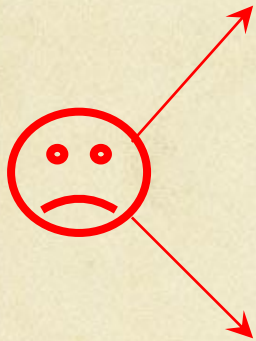
Il caso di *Ammonia tepida* (Geslin *et al.*, 1998)



l'inquinamento provoca una distribuzione disordinata dei cristalli di calcite

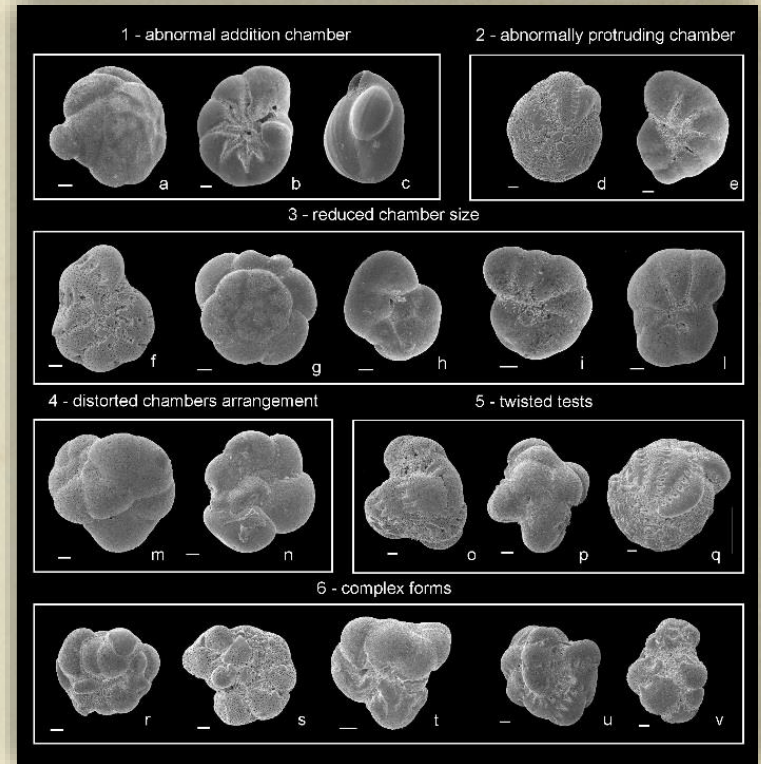
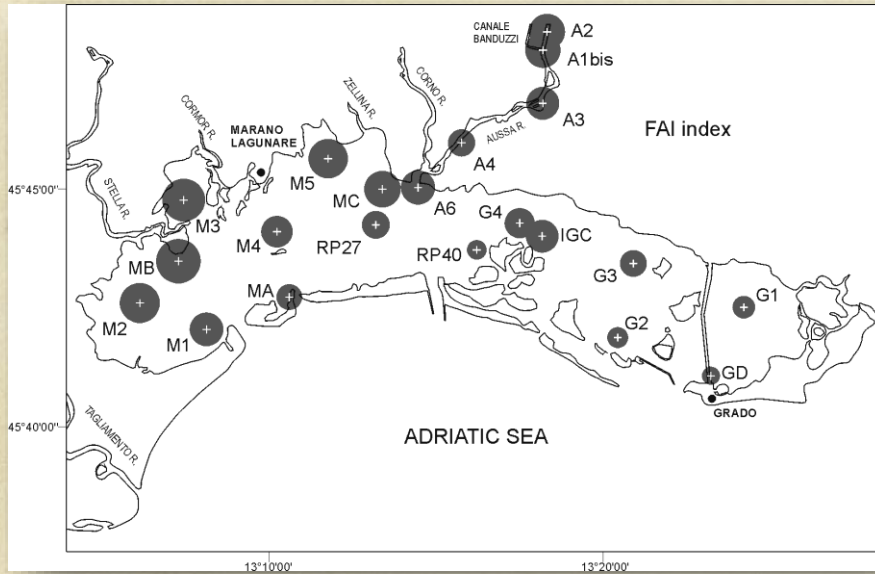
Studi in ambienti portuali

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



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

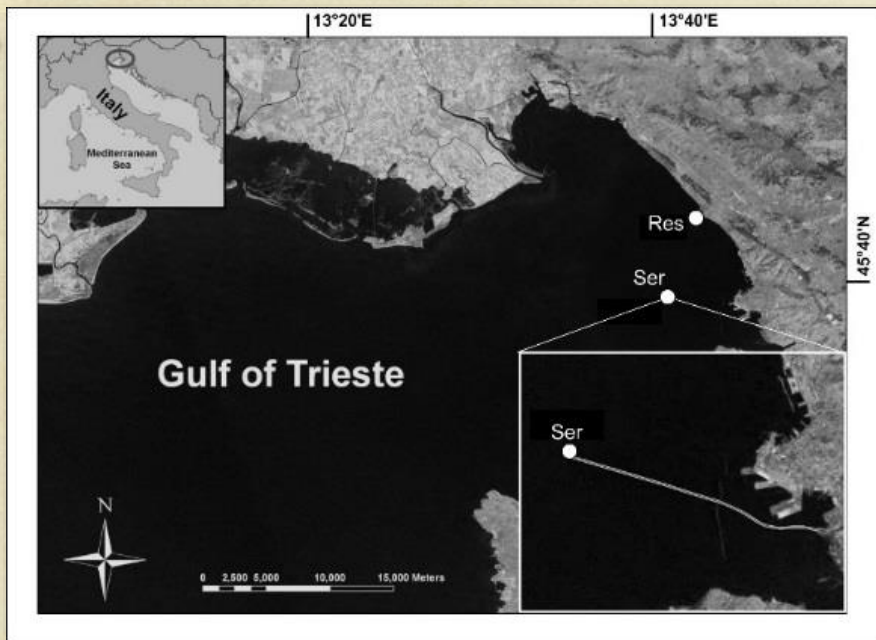
indice FAI = n° gusci deformati * 100 / (n° deformati + n° non deformati)



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

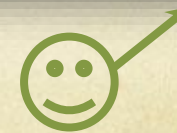
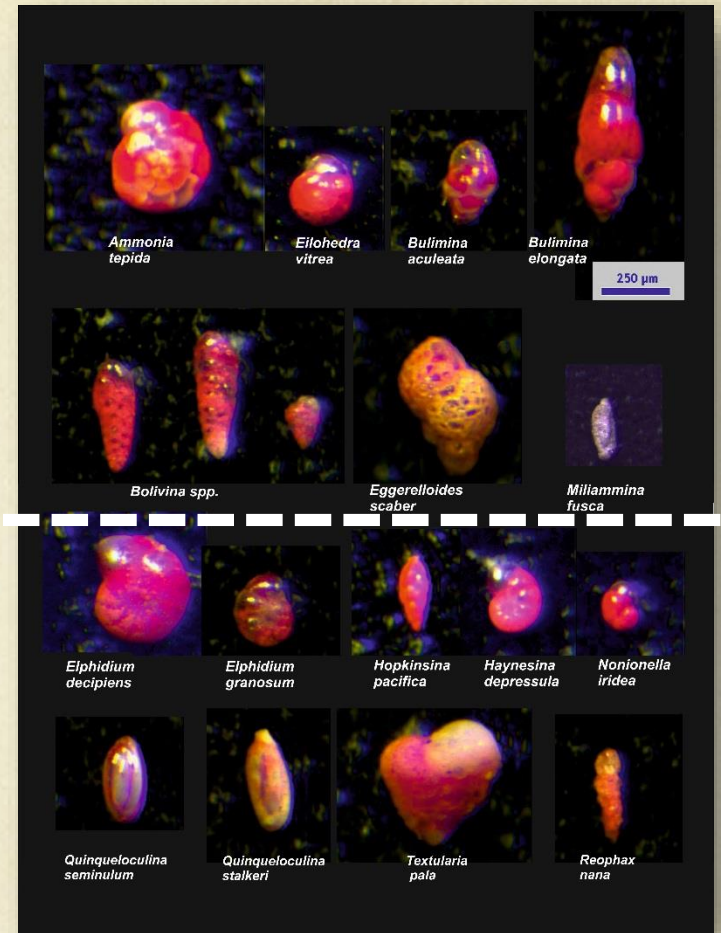
Melis *et al.* (2019) – Seasonal response of benthic foraminifera to anthropogenic pressure in two stations of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea, Italy): the marine protected area of Miramare versus the Servola water sewage outfall.

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»