

Introduzione alla micropaleontologia

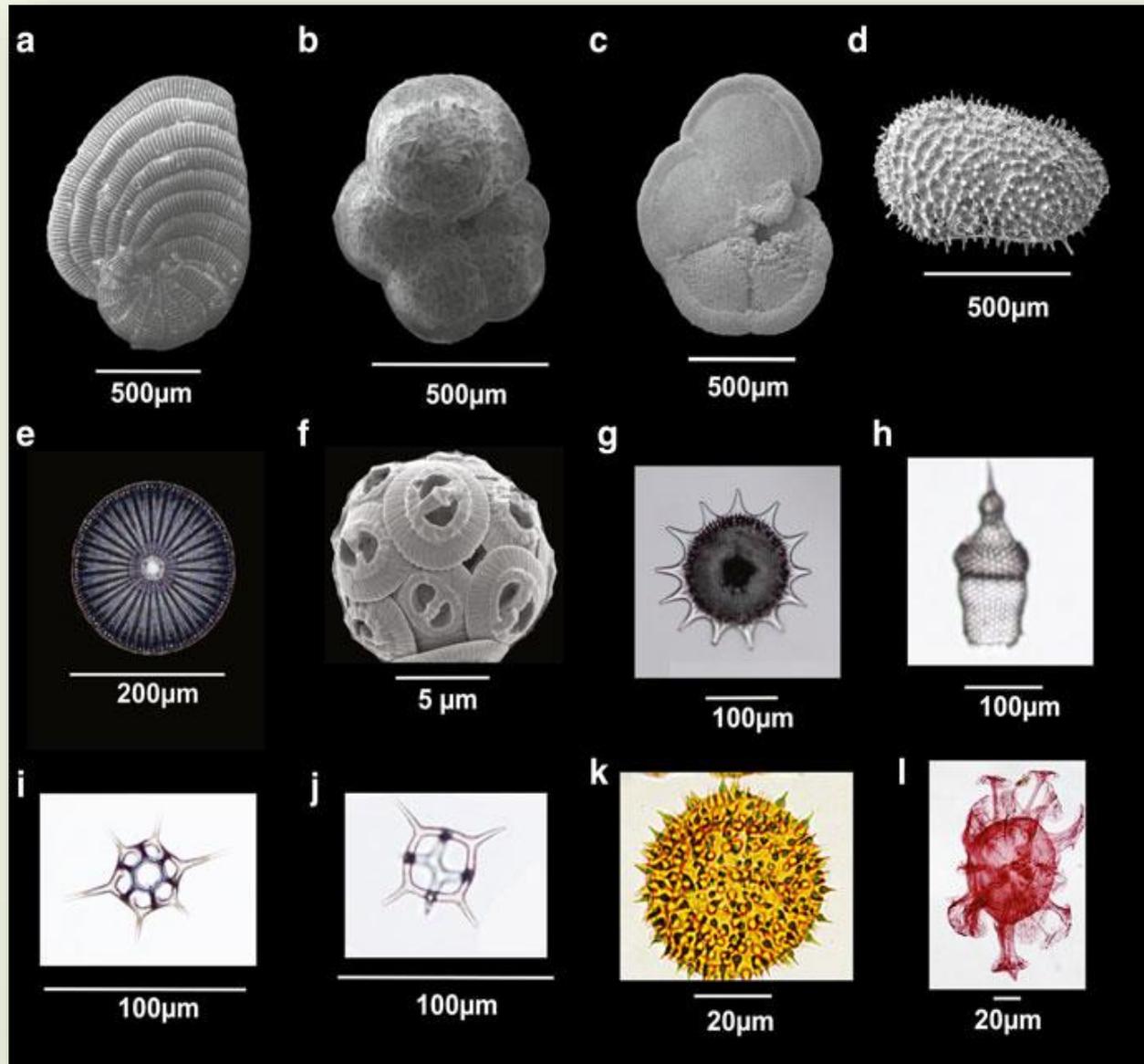
- Si differenzia dalla paleontologia per le dimensioni dei fossili da studiare: utilizzo del microscopio
- Comprende una grande varietà di gruppi tassonomici (protisti, alghe, piante, parti microscopiche di organismi pluricellulari) in parte presenti dal Precambriaco
- Il vantaggio della disciplina è collegato alla grande abbondanza di microfossili anche in piccoli volumi di roccia o di sedimento
- Applicazione biostratigrafica (inizialmente), quindi paleoambientale e paleoclimatica
- Ritenuti attualmente la miglior evidenza dell'evoluzione organica sulla Terra (vedi anche esplorazione extra-terrestre)

Table 1.1 Types of microfossils based on test composition, their size range, environmental distribution and geologic age

Microfossil	Test composition	Size range	Environment	Geologic age
Foraminifera	Calcareous, agglutinated, siliceous, chitinous	0.1 mm–10 cm	Marine	Cambrian–recent
Ostracoda	Calcareous, chitinous	0.5–5 mm	Marine–freshwater	Ordovician–recent
Calcareous nannoplankton	Calcareous	<20 µm	Marine	Jurassic–recent
Pteropods	Calcareous	2.5–10 mm	Marine	Eocene–recent
Radiolaria	Siliceous, strontium-sulphate	100–2000 µm	Marine	Cambrian–recent
Silicoflagellates	Siliceous	20–100 µm	Marine	Cretaceous–recent
Diatoms	Siliceous	5–2000 µm	Marine–freshwater	Cretaceous–recent
Conodonts	Phosphatic	0.1–3 mm	Marine	Cambrian–Triassic
Spores/pollens	Organic	5–200 µm	Terrestrial, brackish to freshwater	Silurian–recent
Dinoflagellates	Organic	20–150 µm	Marine–freshwater	Permian–recent
Acritarchs	Organic	<100 µm	Marine	Precambrian–recent
Chitinozoa	Organic	30–1500 µm	Marine	Ordovician–Devonian

Gruppi tassonomici che rientrano nello studio della micropaleontologia/palinologia (vedi la parentesi graffa)

Fig. 1.1 Representative microfossils belonging to Foraminifera (a, b, c), Ostracoda (d), Diatoms (e), Calcareous nannoplankton (f), Radiolaria (g, h), Silicoflagellate (i, j), Pollen (k) and Dinoflagellate (l), from SARASWATI & SRINIVASAN (2016)

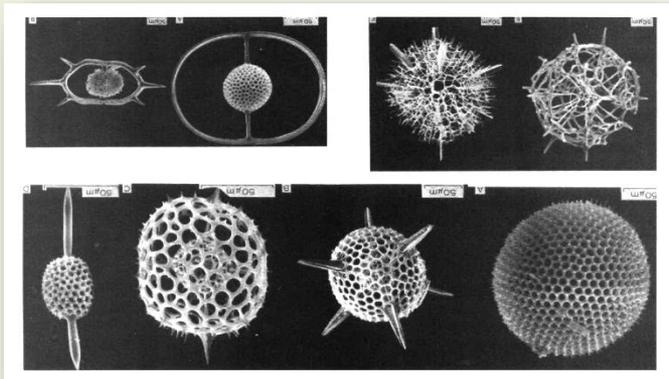


Regno dei **Protisti**: è una categoria residuale, artificiosa, una sorta di contenitore per tutti gli organismi **eucarioti** non inseribili in altri regni.

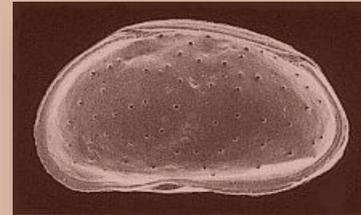
Foraminiferi - sarcodina (amoeba)



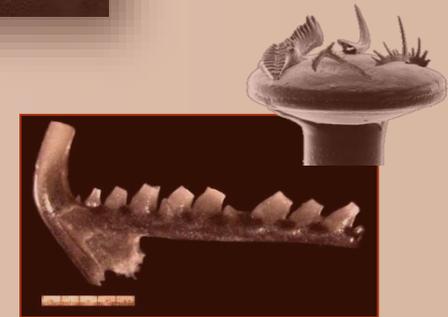
Radiolari - Spumellaria



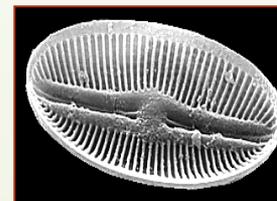
Ostracodi – Arthropoda



Conodonti
Vertebrata



Alghe



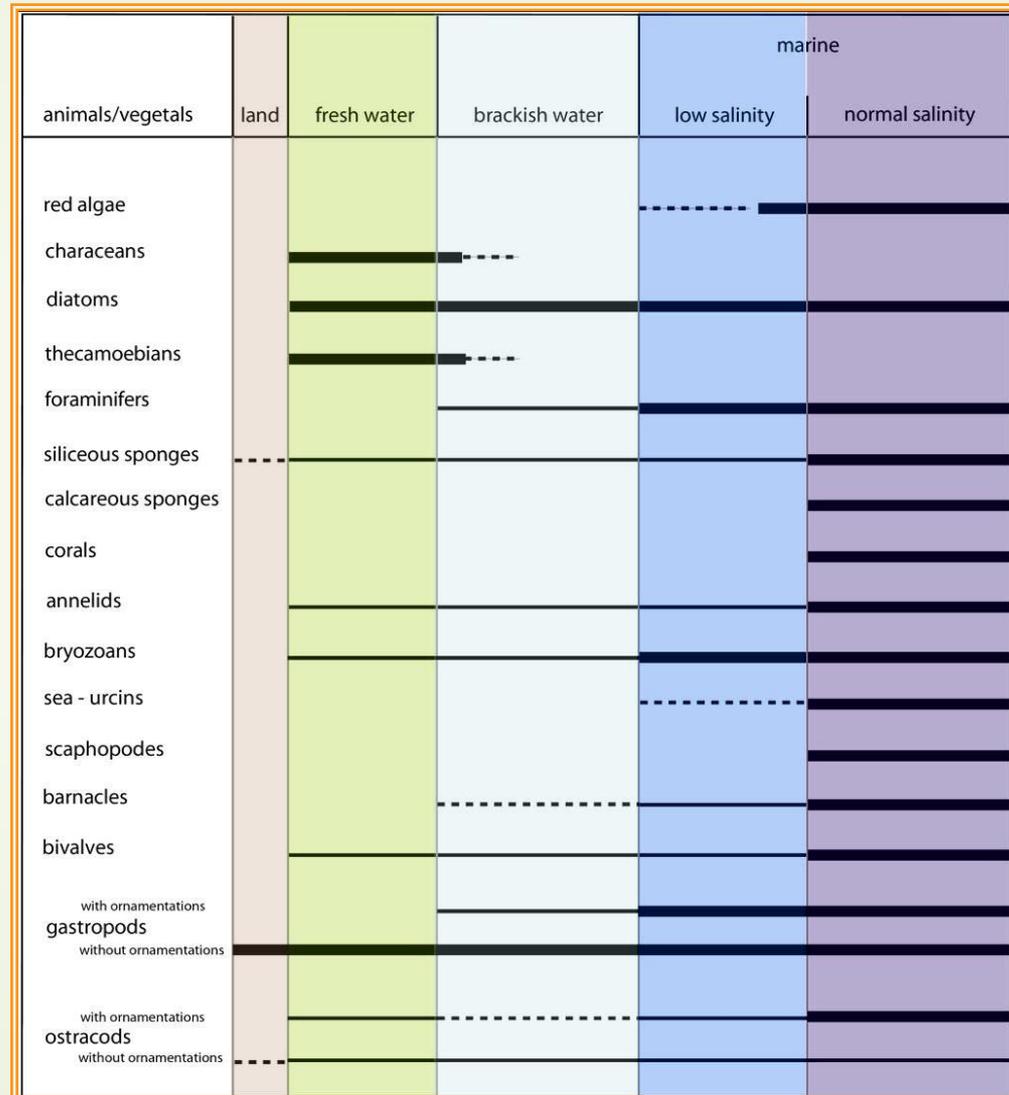
Esempi di applicazioni utilizzando i microfossili



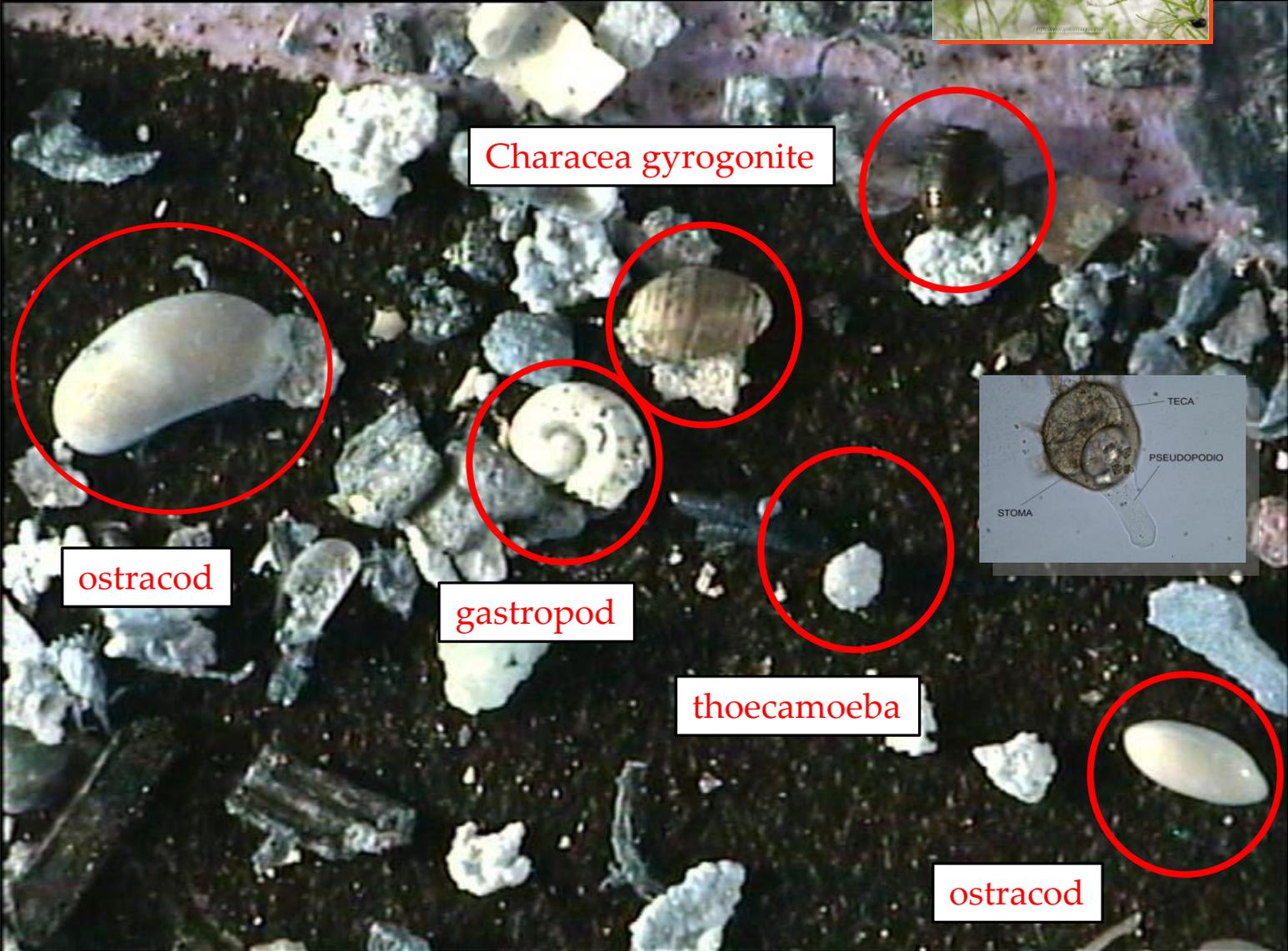
1. Microfossili e paleoambiente

Basato sulla conoscenza del comportamento dei microrganismi nell'ambiente attuale

Distribuzione negli ambienti acquatici attuali dei principali gruppi tassonomici che possono rientrare nello studio micropaleontologico



Sample: example 1



Characea gyrogonite



ostracod



gastropod



thoecamoeba



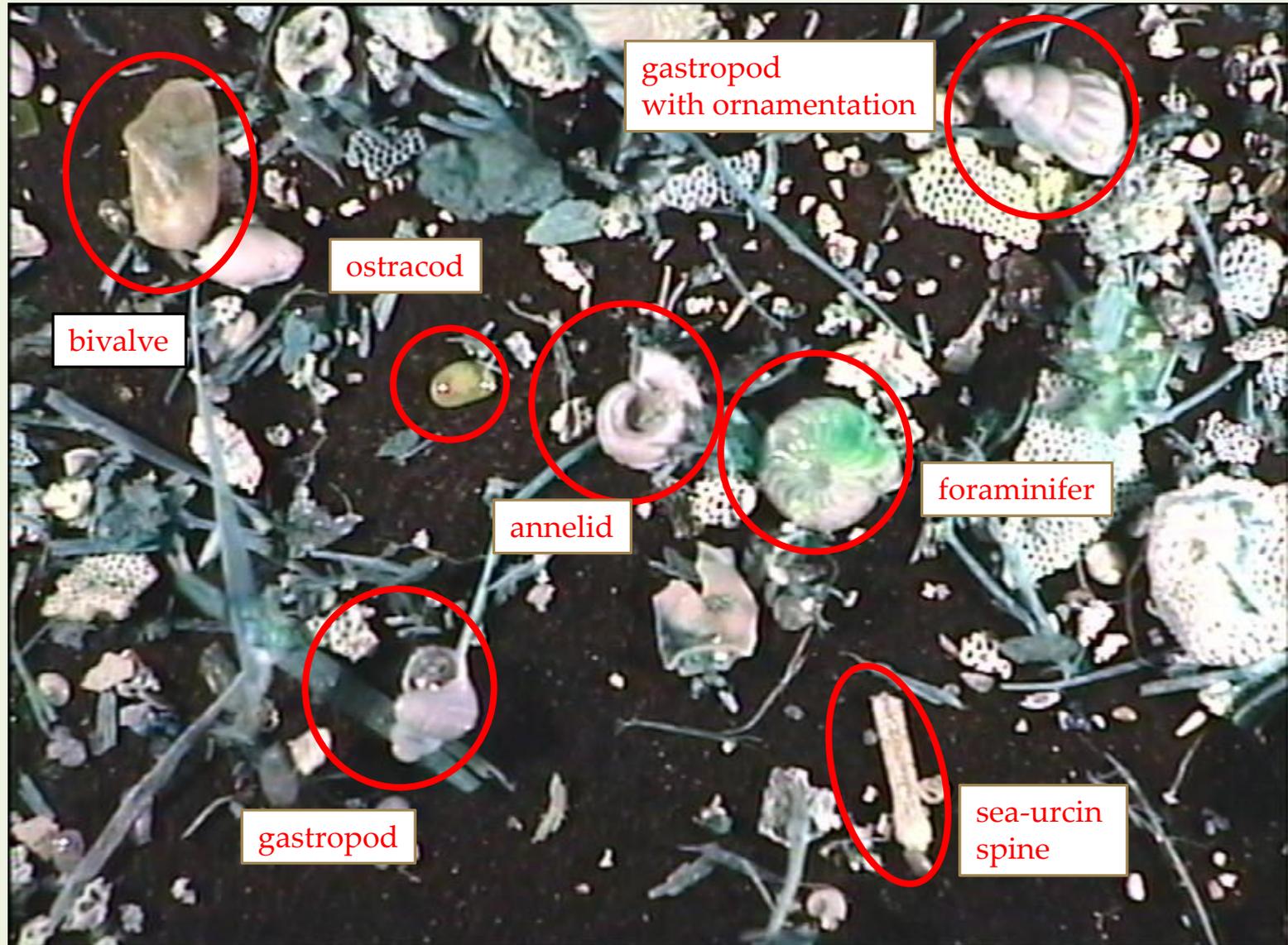
ostracod





animals/vegetals	land	fresh water	brackish water	marine	
				low salinity	normal salinity
red algae				-----	—————
characeans		—————	-----		
diatoms		—————	—————	—————	—————
thecamoebians		—————	-----		
foraminifers			—————	—————	—————
siliceous sponges	-----				—————
calcareous sponges					—————
corals					—————
annelids					—————
bryozoans				—————	—————
sea - urchins				-----	—————
scaphopodes					—————
barnacles			-----	—————	—————
bivalves					—————
with ornamentalions gastropods			—————	—————	—————
without ornamentalions		—————	—————	—————	—————
with ornamentalions ostracods			-----	—————	—————
without ornamentalions		-----	—————	—————	—————

Sample: example 2



animals/vegetals	land	fresh water	brackish water	marine	
				low salinity	normal salinity
red algae				-----	—————
characeans		—————	-----		
diatoms		—————	—————	—————	—————
thecamoebians		—————	-----		
foraminifers			—————	—————	—————
siliceous sponges	-----	—————	—————	—————	—————
calcareous sponges					—————
corals					—————
annelids		—————	—————	—————	—————
bryozoans		—————	—————	—————	—————
sea - urchins				-----	—————
scaphopodes					—————
barnacles			-----	—————	—————
bivalves		—————	—————	—————	—————
gastropods			—————	—————	—————
with ornamentations			—————	—————	—————
without ornamentations	-----	—————	—————	—————	—————
ostracods		—————	-----	—————	—————
with ornamentations		—————	-----	—————	—————
without ornamentations	-----	—————	—————	—————	—————



Distribuzione negli ambienti marini attuali dei principali generi di foraminiferi bentonici in relazione alle profondità del fondale

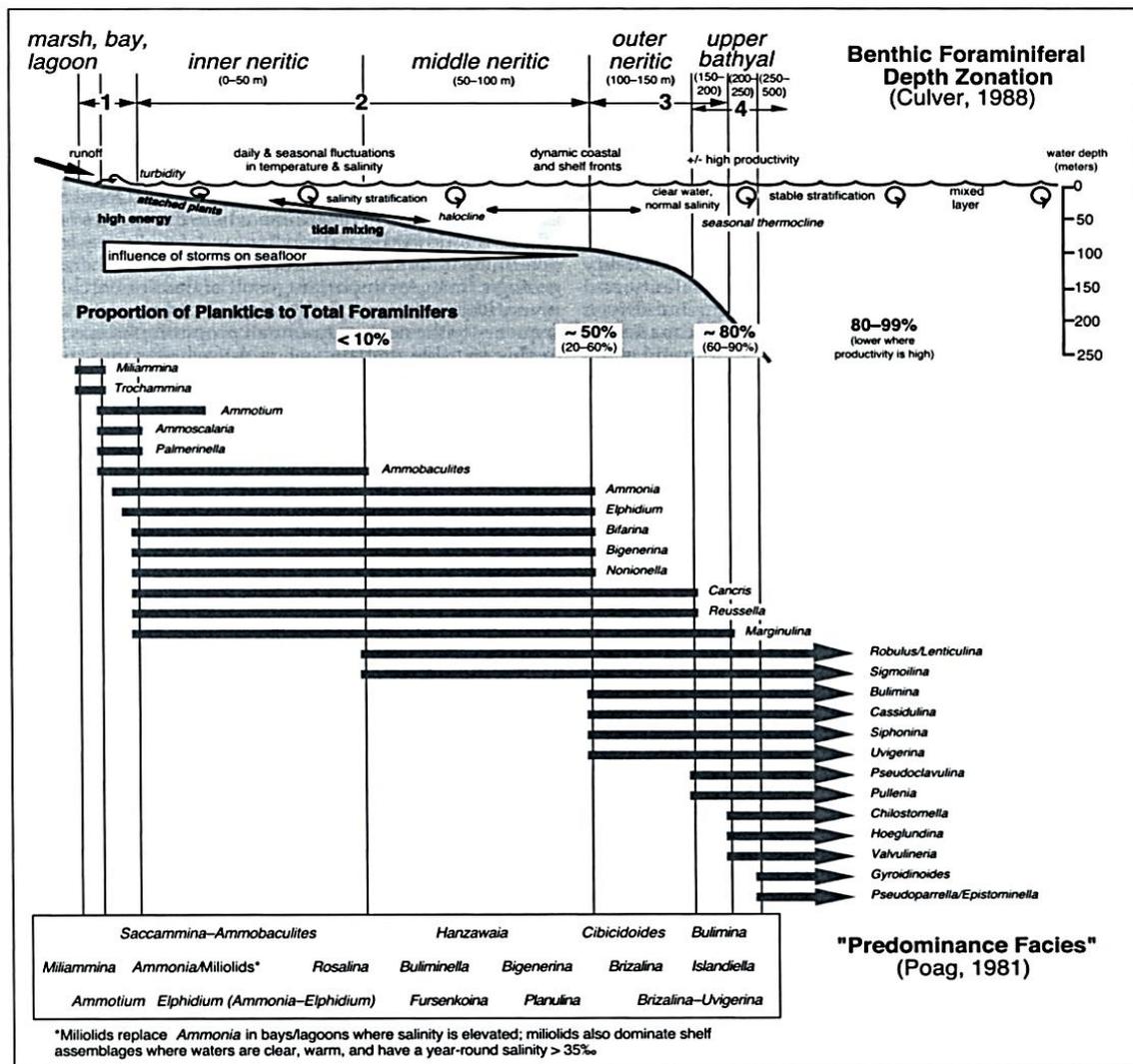
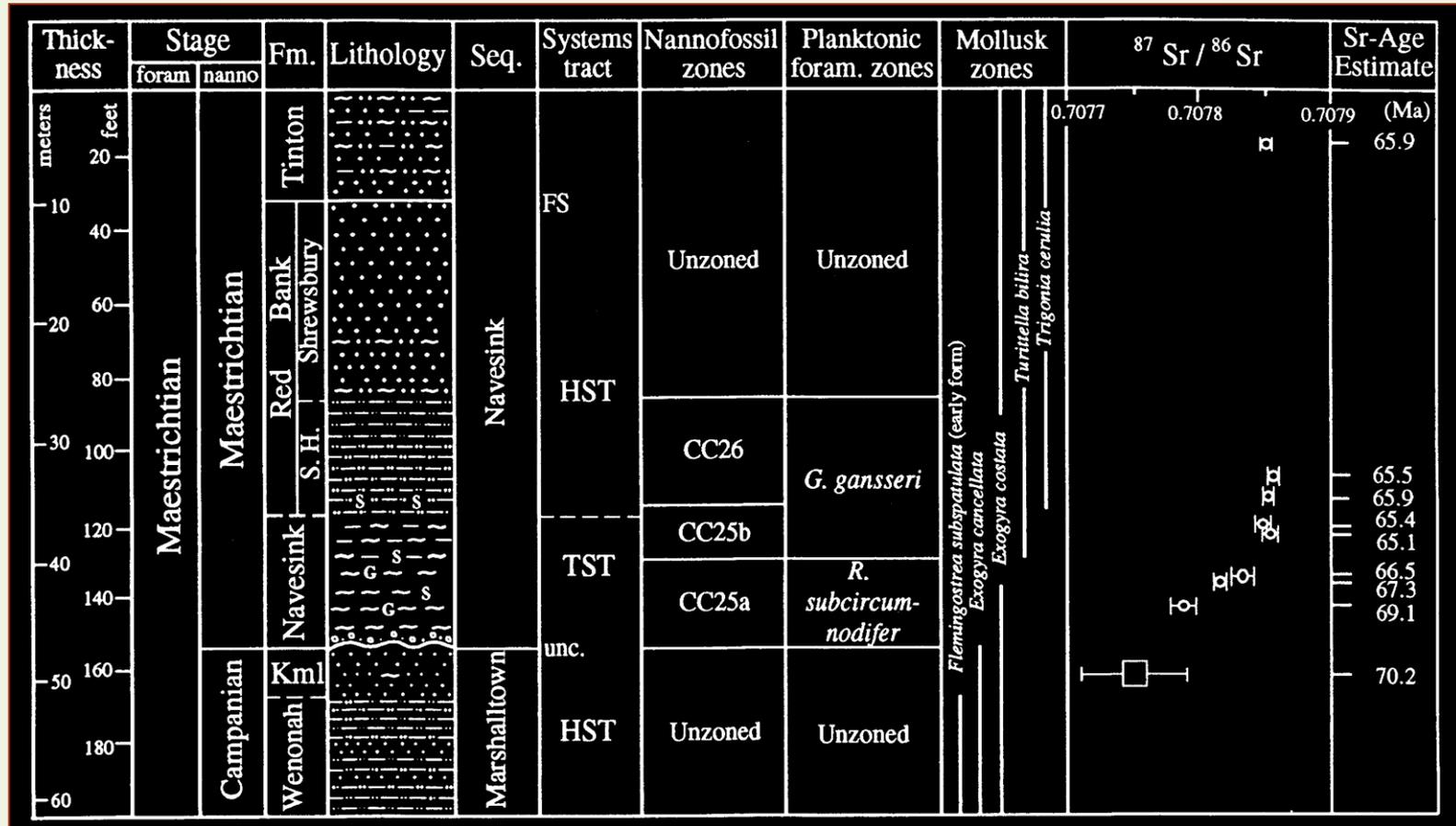


FIG. 2.—Summary of general benthic foraminiferal biofacies trends observed across the northern Gulf of Mexico. Benthic foraminiferal depth zonations are based on Culver (1988). General depth distributions of selected benthic foraminiferal genera are based on persistence within each depth zone (i.e., genera are not necessarily restricted to these zones). Predominance facies of the Gulf of Mexico are based on Poag (1981). In addition to these widespread biofacies, there are several restricted predominance facies off the Mississippi River delta, including *Epistominella*, *Nonionella*, *Nouria*, and *Goesella*. *Amphistegina* is concentrated on submerged carbonate banks, and the Miliolid-*Archaias*-*Homotrema* predominance facies characterizes reefs (Poag, 1981). Values of percent planktic foraminifera (relative to total foraminifera) are based on the data presented by Gibson (1989).

2. Microfossili e biostratigrafia

- Abbondanti nelle rocce
- Grande distribuzione geografica
- Utili anche per la stratigrafia continentale (es: spore/pollini, ostracodi, diatomee)

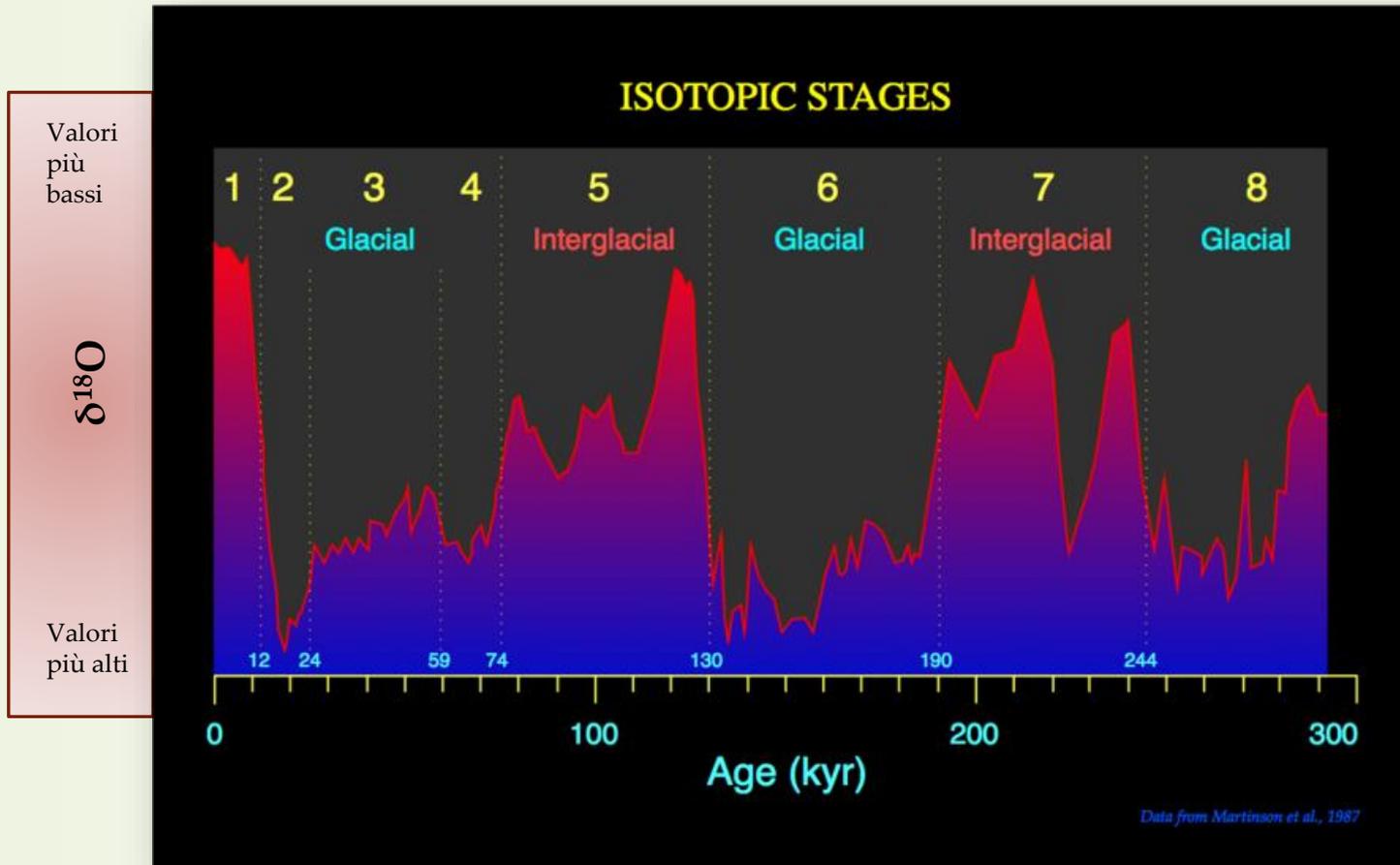


Da Sugarman et. al, 1995



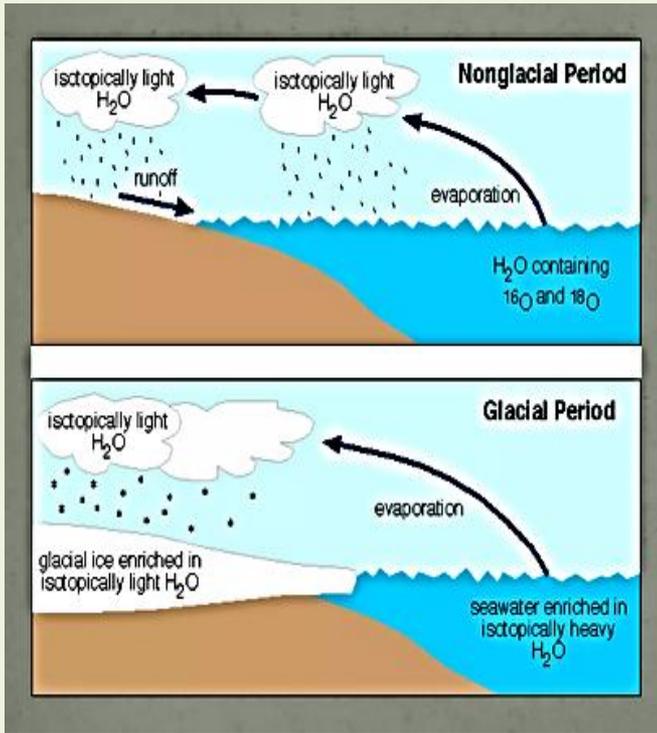
3. Microfossili e paleoceanografia

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, fasi alternate di clima caldo/freddo (n° dispari, interglaciale, n° pari, glaciale). Circa 103 MIS riconosciuti fino ad ora



➔ less ice

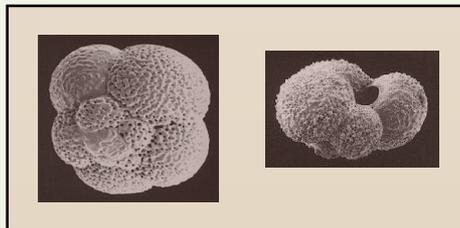
negative excursion

➔ more ice

positive excursion

RAYLEIGH DISTILLATION

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



L'acqua (H_2O), può contenere:

- ^{16}O >> $H_2^{16}O$ (più leggera)
- ^{18}O >> $H_2^{18}O$ (più pesante)

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

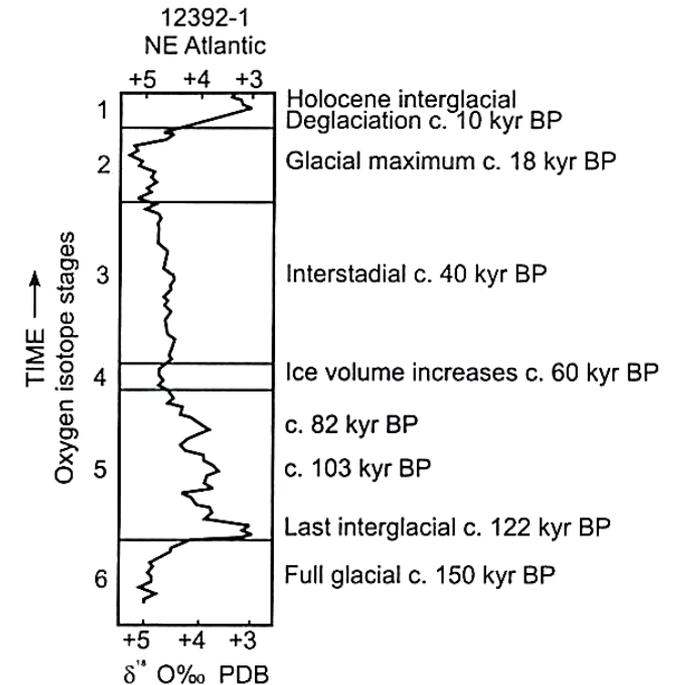
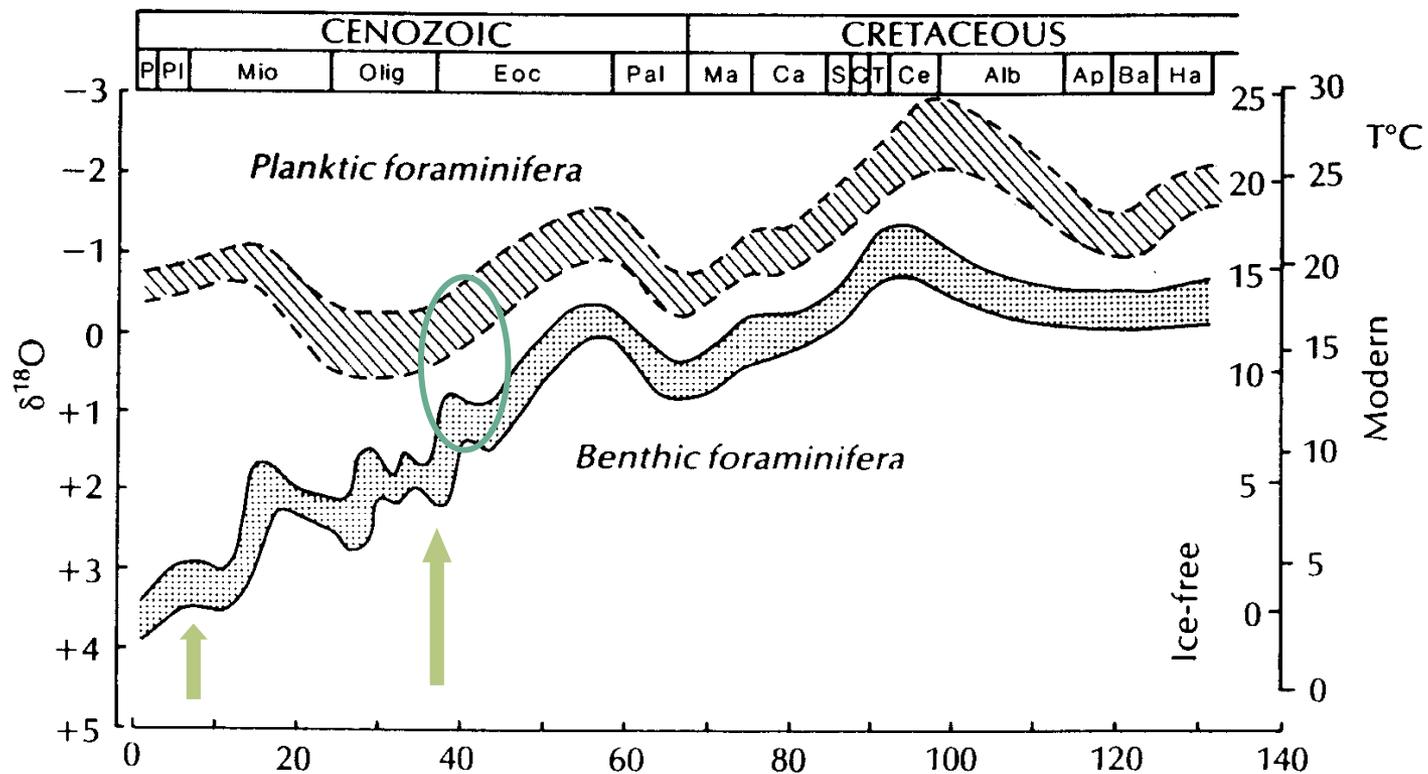


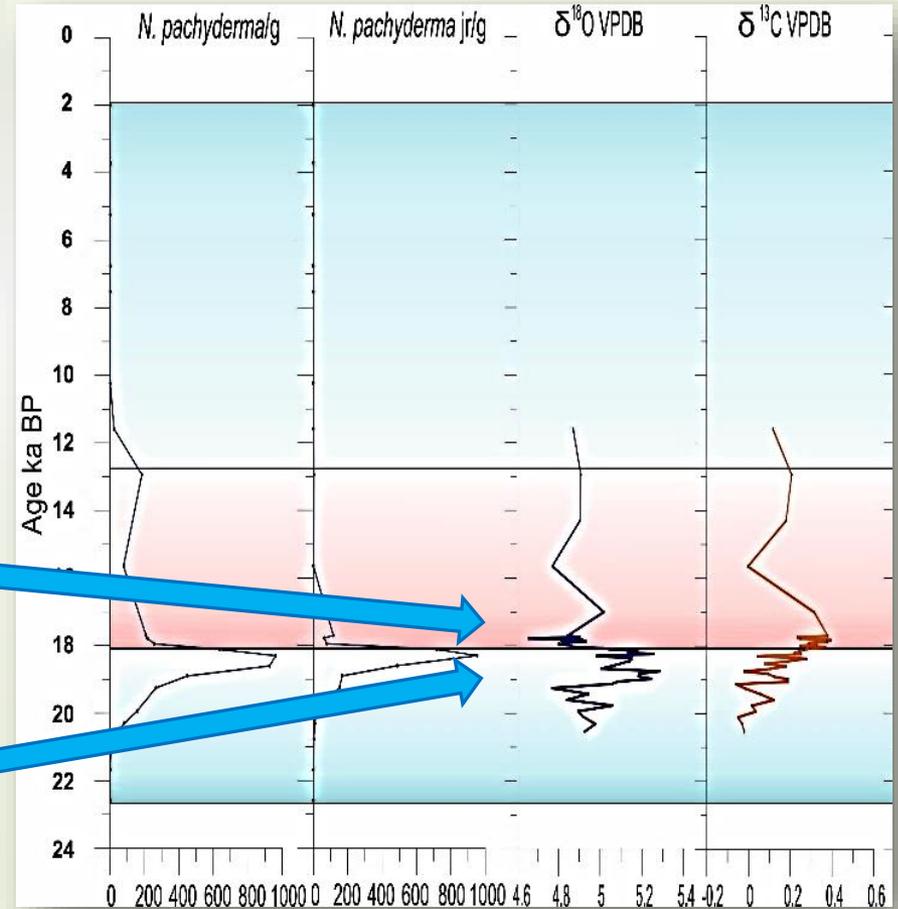
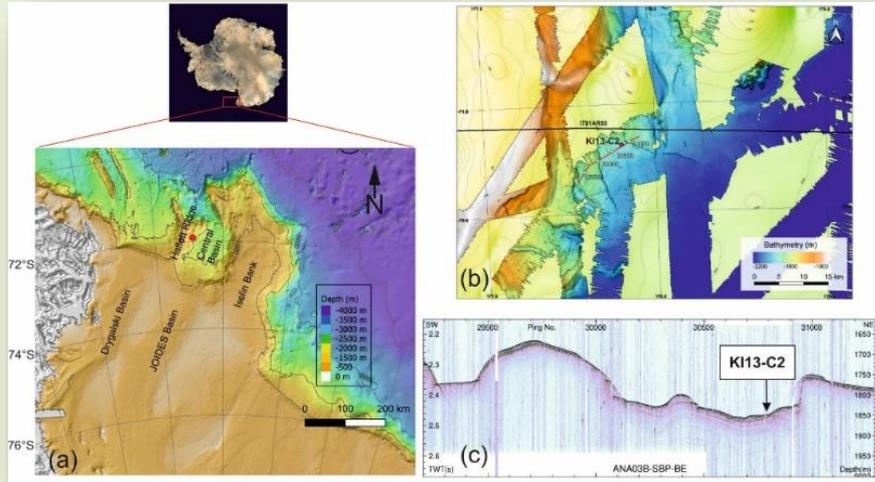
Fig. 4.1 Changes in oxygen isotope ratios of epibenthic foraminiferid calcite tests through the last 150,000 years, showing fluctuations related to changing ice volume. Core 12392-1 North East Atlantic. (Modified from data in Brasier 1995.)

Le due curve seguono la stessa tendenza fino all'inizio dell'Oligocene, momento in cui si sviluppano masse fredde d'acqua profonda (vedi curva dei bentonici) che dipendono dalla crescita della calotta antartica.

Nel Pliocene viene registrata anche lo sviluppo della calotta glaciale dell'Artico. Le masse d'acqua superficiali (vedi planctonici) rimangono più calde (da Hudson & Anderson, 1989).



Melis *et al.*, 2021: Last Glacial - Holocene paleoenvironmental and climate variability determined from marine microfossils at the Hallett Ridge (northwestern Ross Sea, Antarctica)



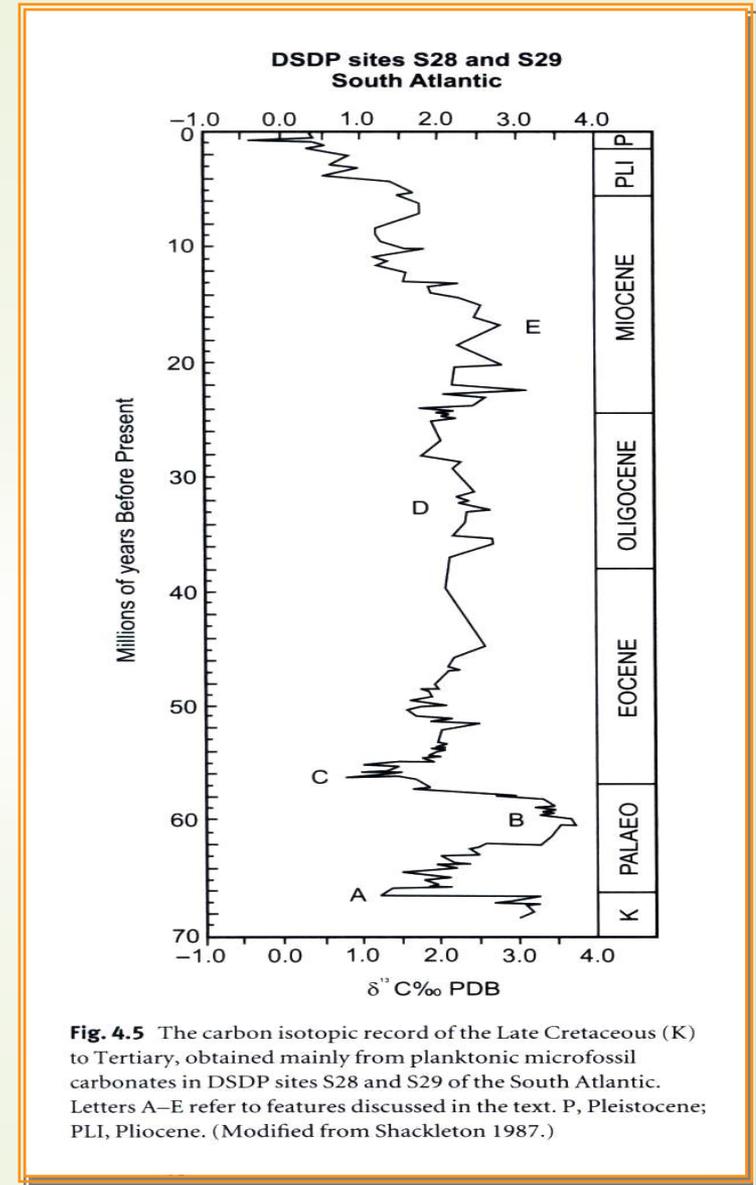
Riscaldamento della parte superficiale colonna d'acqua
– fase DEGLACIALE

Raffreddamento della parte superficiale colonna d'acqua
– fase GLACIALE

¹²C 12.00000 98.89%	¹³C 13.00335 1.11%	¹⁴C 14.0 t _{1/2} = 5715yrs
Stable	Stable	Radioactive Cosmogenic/ anthropogenic

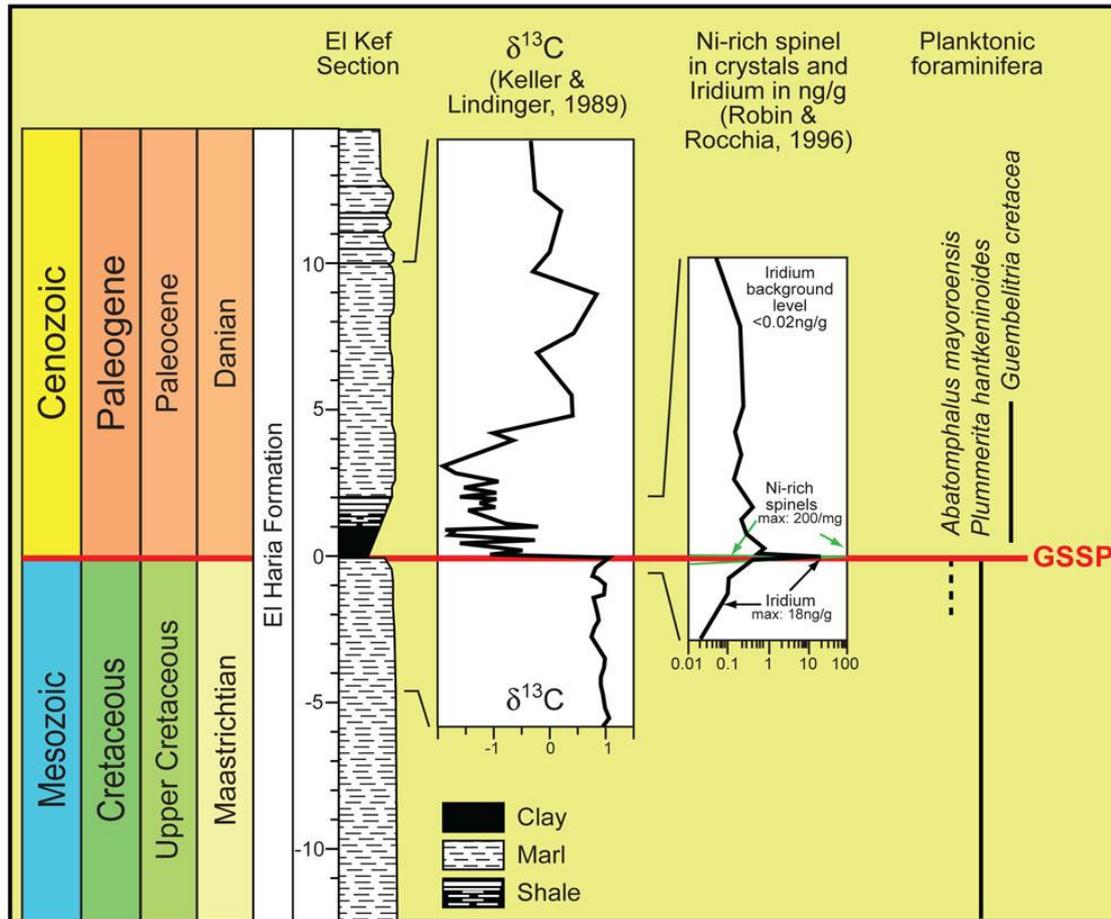
Il frazionamento degli isotopi stabili del carbonio:

- il segnale isotopico del C è influenzato dalle variazioni di temperatura (vedi esempio del Paleocene-Eocene Thermal Maximum – PETM) ed è meno sensibile all'effetto diagenetico rispetto al $\delta^{18}\text{O}$
- durante il processo di fotosintesi gli organismi autotrofi selezionano l'isotopo più leggero del C, quindi il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = \delta^{13}\text{C}$ tende ad aumentare.
- il rapporto aumenta anche durante le fasi anossiche e le trasgressioni
- è ritenuto uno dei segnali stratigrafici più affidabili in serie pelagiche pre-quatinarie



Applicazione: paleoproduttività degli ambienti acquatici

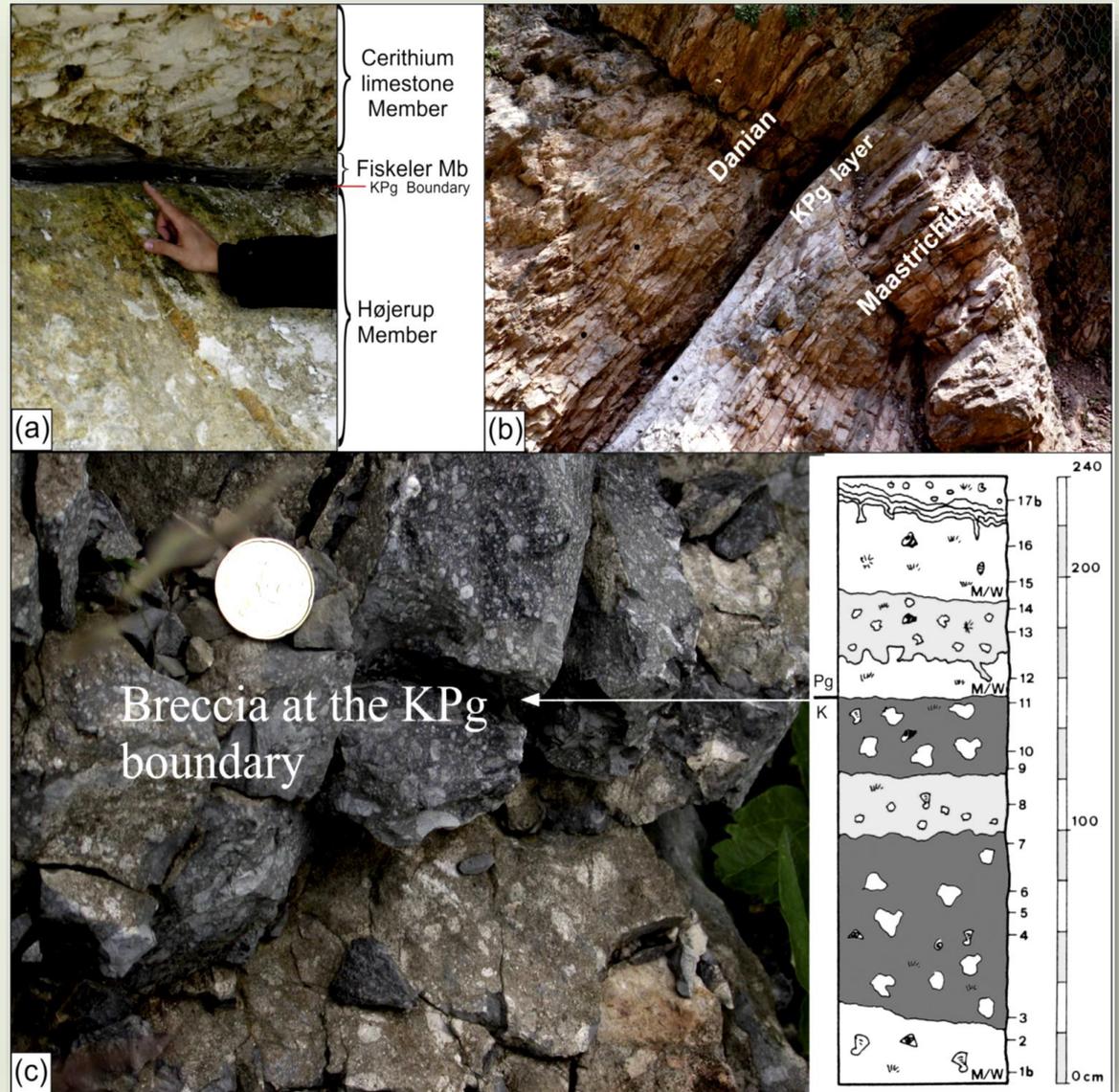
Base of the Danian Stage of the Paleogene System at El Kef, Tunisia



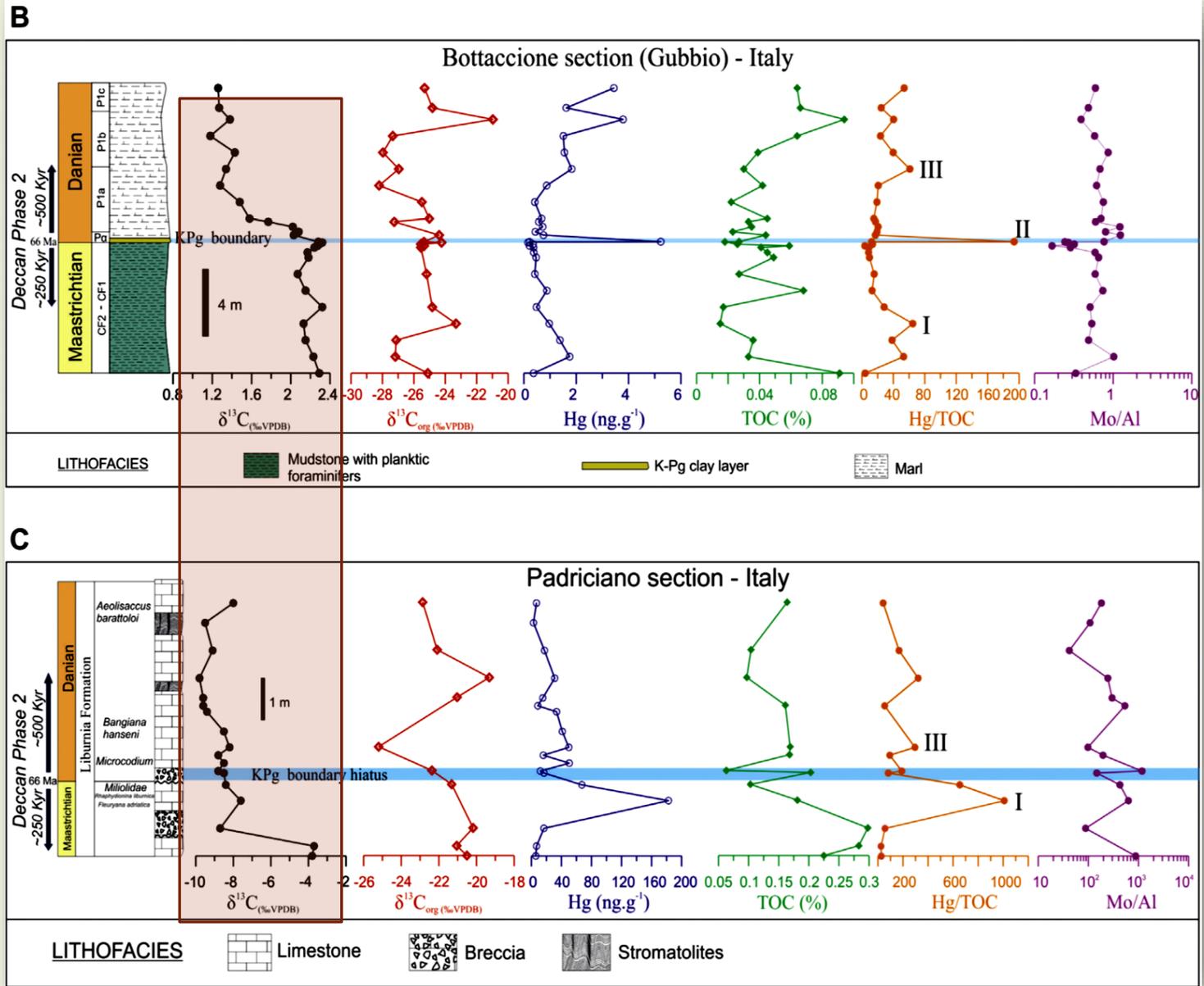
Esempio di stratotipo del limite (Global boundary stratotype section and point - GSSP) nel quale il segnale chemiostratigrafico è determinante.

Passaggio K-Pg, in <http://www.stratigraphy.org>

a) Danimarca, b) sezione del Bottaccione (Umbria), c) Padriciano (Ts), da Sial *et al.*, 2016



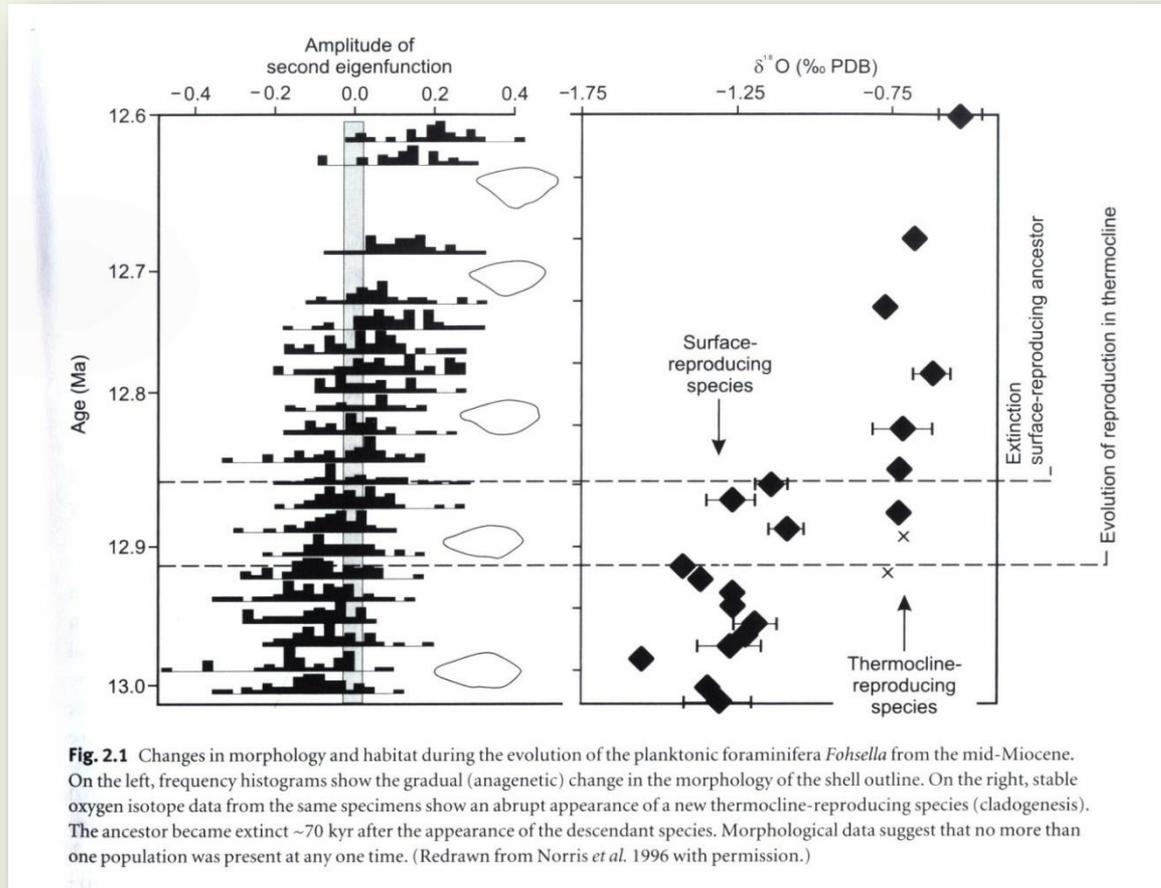
Successione di Padriciano (TS), svincolo autostradale, affiora il passaggio Cretacico-Terziario (ex K/T), detto attualmente K-Pg. Si nota la forte diminuzione del $\delta^{13}\text{C}$ (linea continua) in prossimità del passaggio K-Pg



4. Microfossili ed evoluzione

- **Abbondanza di microfossili (statistica affidabile)**
- **Record fossile continuo su ampia scala temporale**

Utilizzati per la MICROEVOLUZIONE (speciazione: anagenesi o cladogenesi)



Utilizzati anche per la MACROEVOLUZIONE (estinzione di massa, esempio del K-Pg, radiazioni adattative, ecc..)

5. Microrganismi e actuopaleontologia

Studio di microrganismi a guscio mineralizzato nell'ambiente attuale:

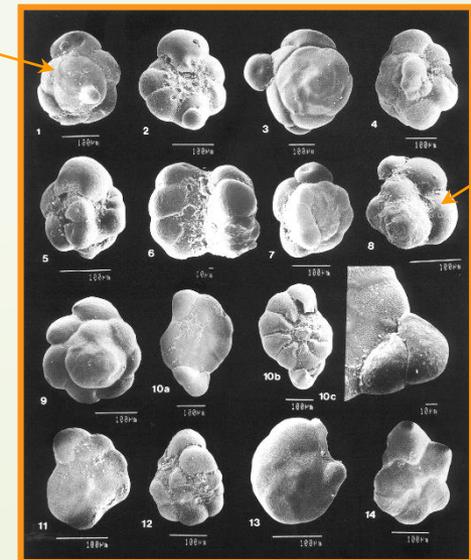
- **Applicazioni al paleoambiente:**

identificare specie diagnostiche di caratteristiche ambientali ben definite (applicazioni anche agli ambienti fossili)

- **Utilizzo sempre più diffuso come bioindicatori:**

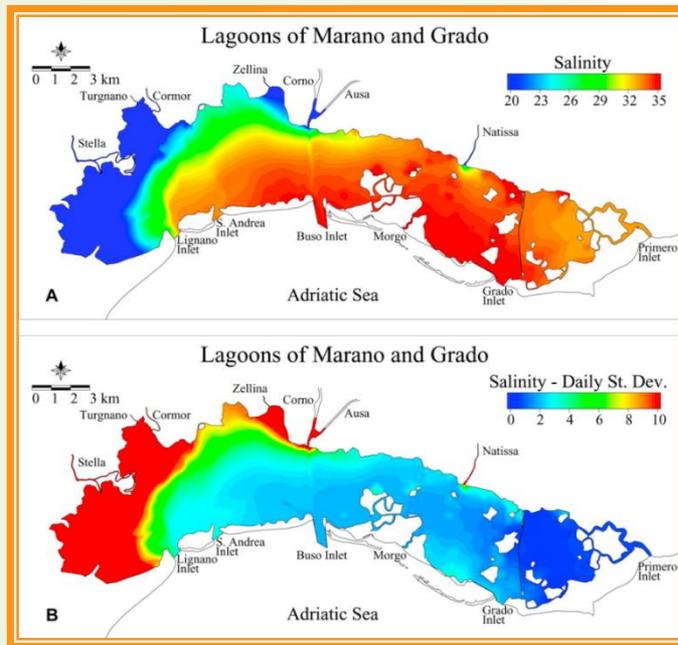
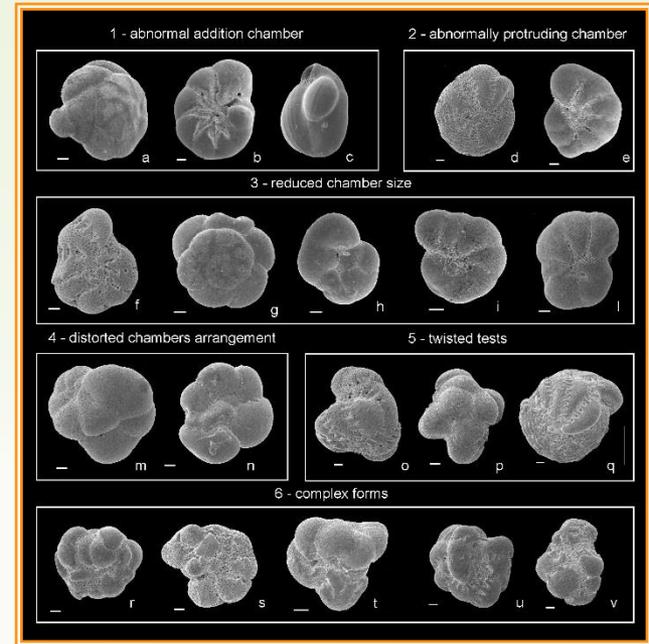
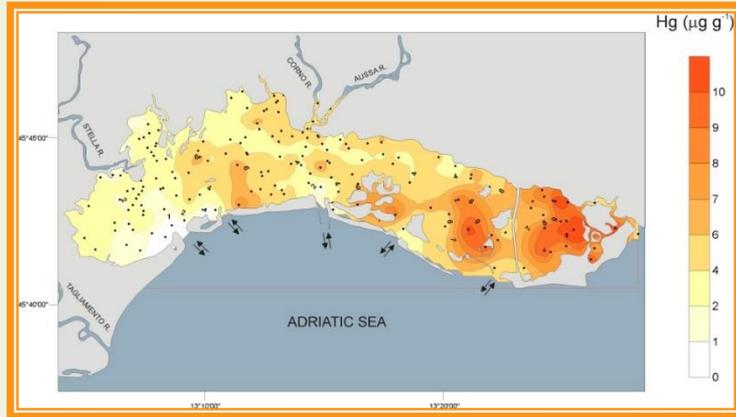
- definire lo stato di salute dell'ambiente (ambiente stabile o instabile, ambiente inquinato, eutrofizzazione)

- definire il regime idrodinamico (trasporto ad opera di correnti, moto ondoso, ecc.)

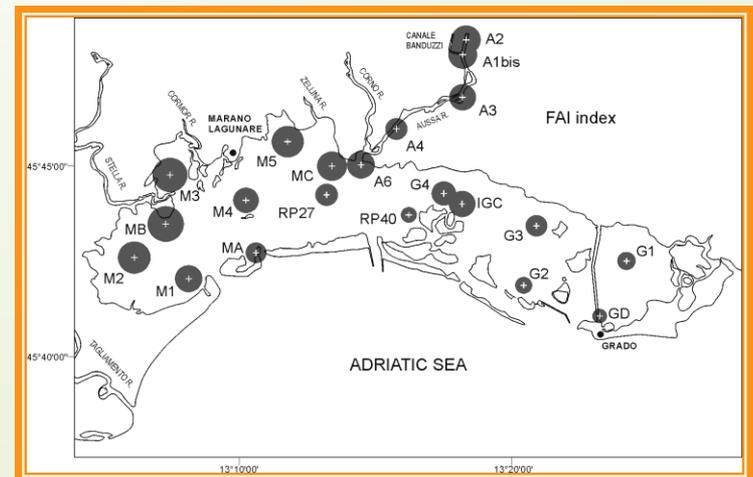


Confronto fra parametri biotici (foraminiferi) ed ambientali nella Laguna di Marano e Grado

da Melis & Covelli, 2013

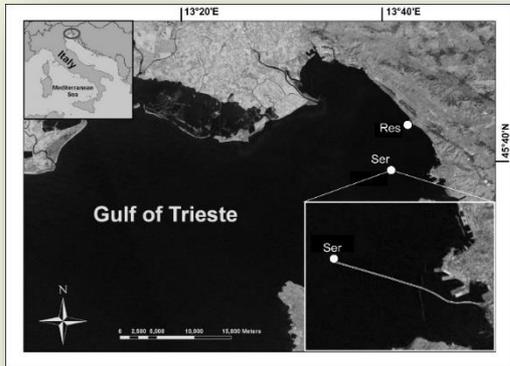


indice FAI: Foraminiferal alteration index

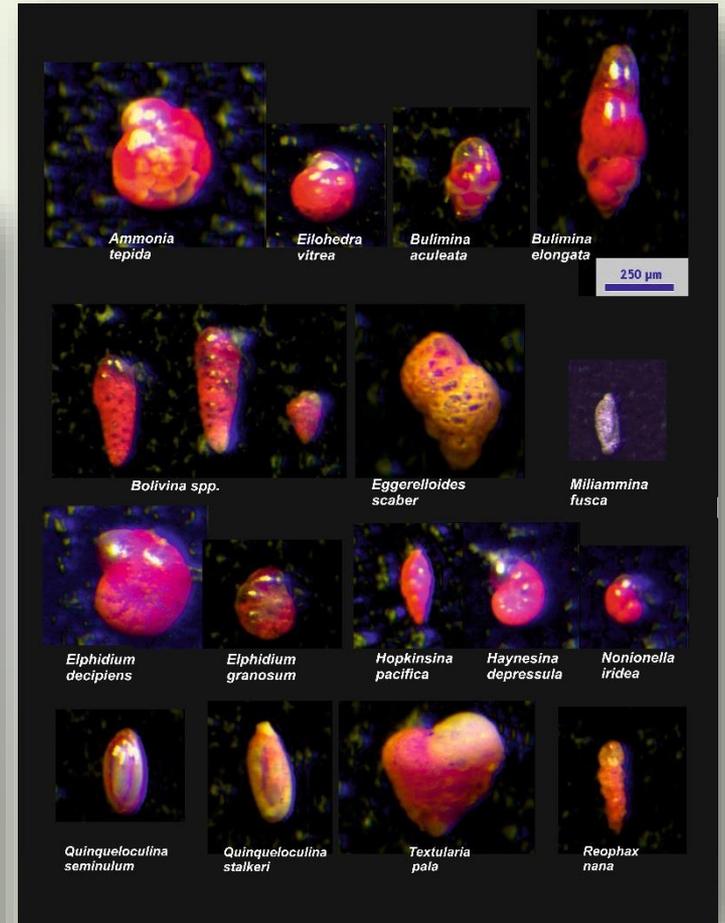
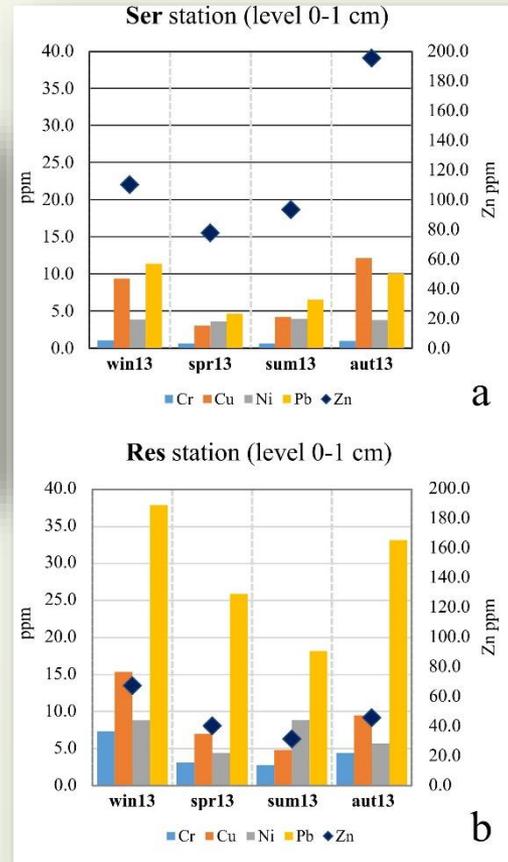


da Ferrarin et al., 2010

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. *Mediterranean Marine Science*, 20(1), 120-141.



Confronto fra una stazione nella Riserva di Miramare e una stazione nei pressi della condotta di reflui urbani «il tubone» di Servola.



Foraminiferi in biocenosi (vivi al momento del prelievo)

6. Microfossili e metamorfismo termale

Conodonti, resti fosfatici; acritarchi, resti organici; spore, resti organici

36 Part 1: Applied micropalaeontology

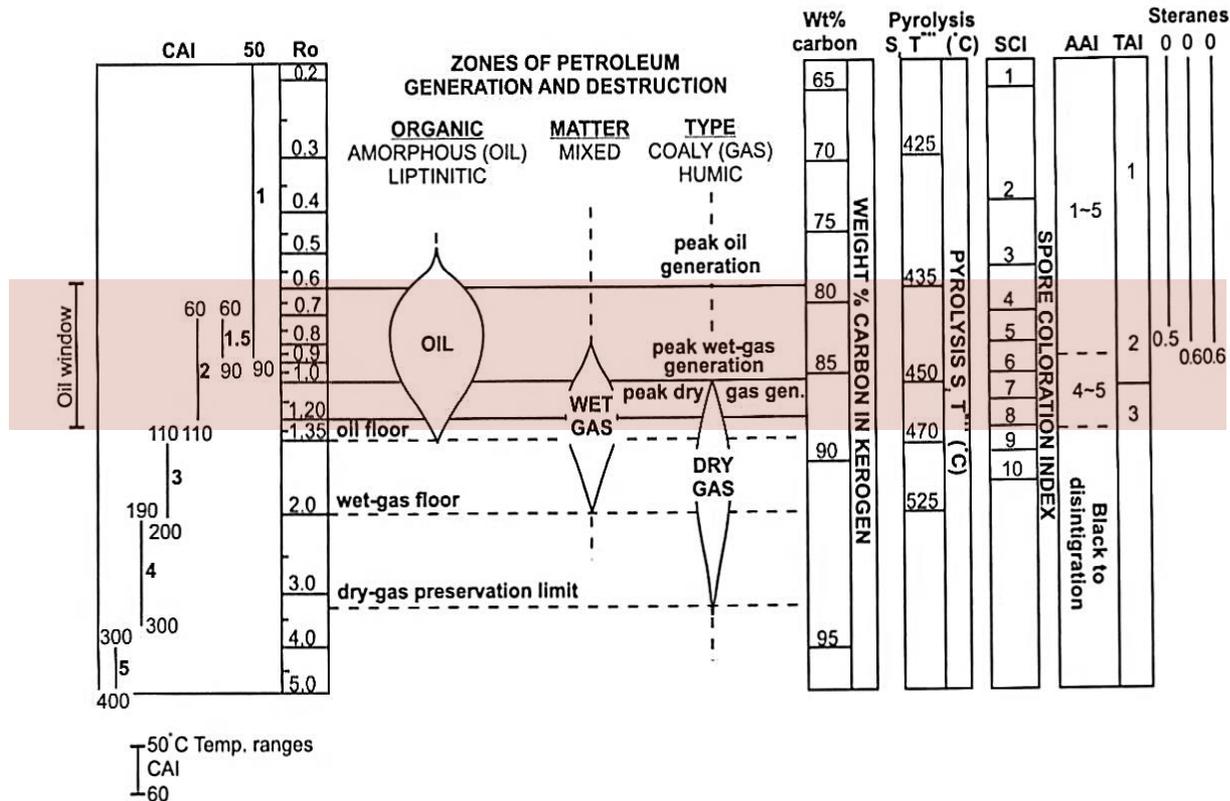


Fig. 5.1 Comparison of the main indicators of thermal maturity with the zones of petroleum generation and destruction. AAI, acritarch alteration index; CAI, conodont colour alteration index; SCI, spore coloration index; TAI, thermal alteration index.

Applicazione: attraverso il grado di metamorfismo termico segnalato dai microrganismi.

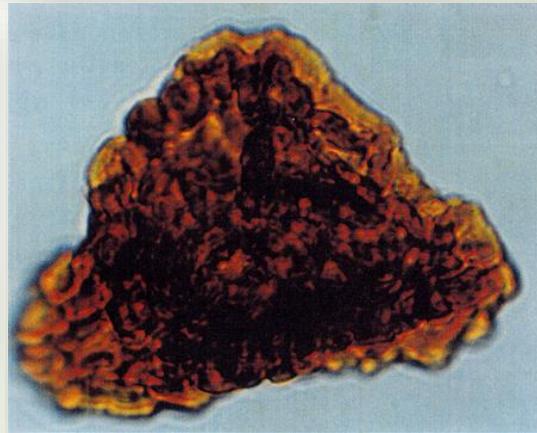
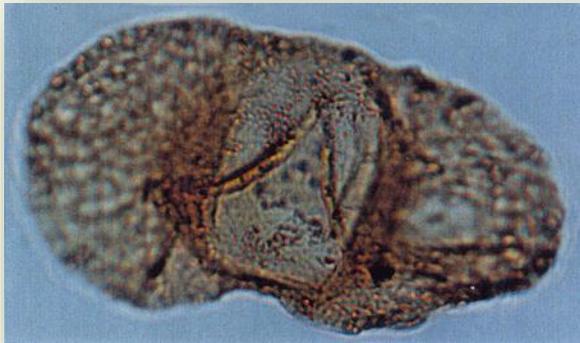
Il micropaleontologo fornisce indicazioni sulla possibile zona di formazione del petrolio. Utile alla ricerca petrolifera.

da Rejebian *et al.*, 1987

Microfossili e metamorfismo termale



acritarcha

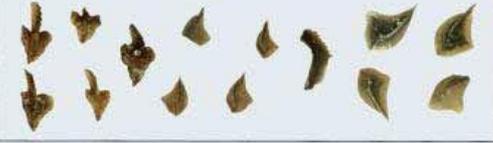
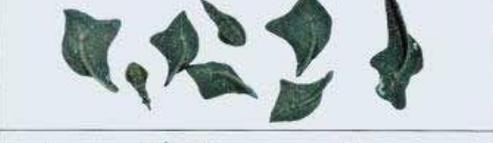
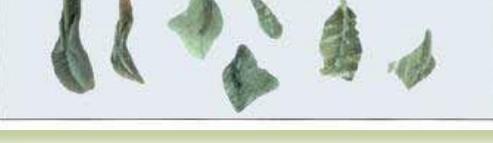


spore

Questa variazione di colore può essere usata come indicatore del metamorfismo termico cui è stata sottoposta una roccia. I fattori primari che causano tali differenze nei palinomorfi sono:

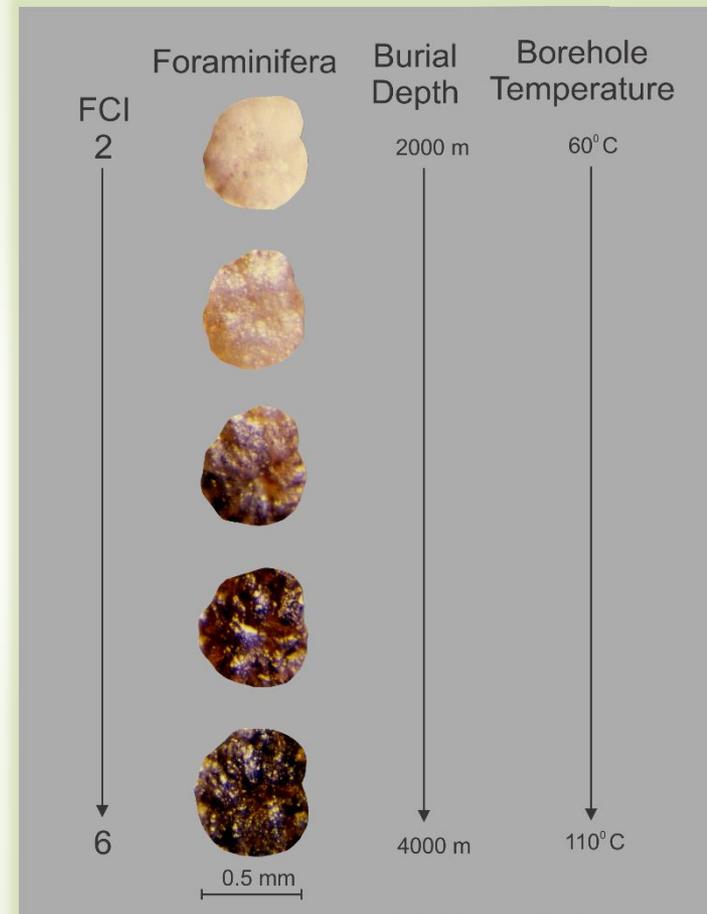
- l'**ossidazione** durante l'alterazione superficiale
- il **calore** dovuto al seppellimento o al metamorfismo di contatto
- il **tempo** di esposizione al riscaldamento.

Conodont Colour alteration Index (CAI)

CAI	Naturally altered conodonts from field samples (Rheinisches Schiefergebirge and Montagne Noire)	Temperature range
1		<50°-80°
2		60°-140°
3		110°-200°
4		190°-300°
5		300° - 480°
6		360° - 550°

http://www.senckenberg.de/root/biggerpix.php?http://www.senckenberg.de/popup_images/conotafel_424.jpg

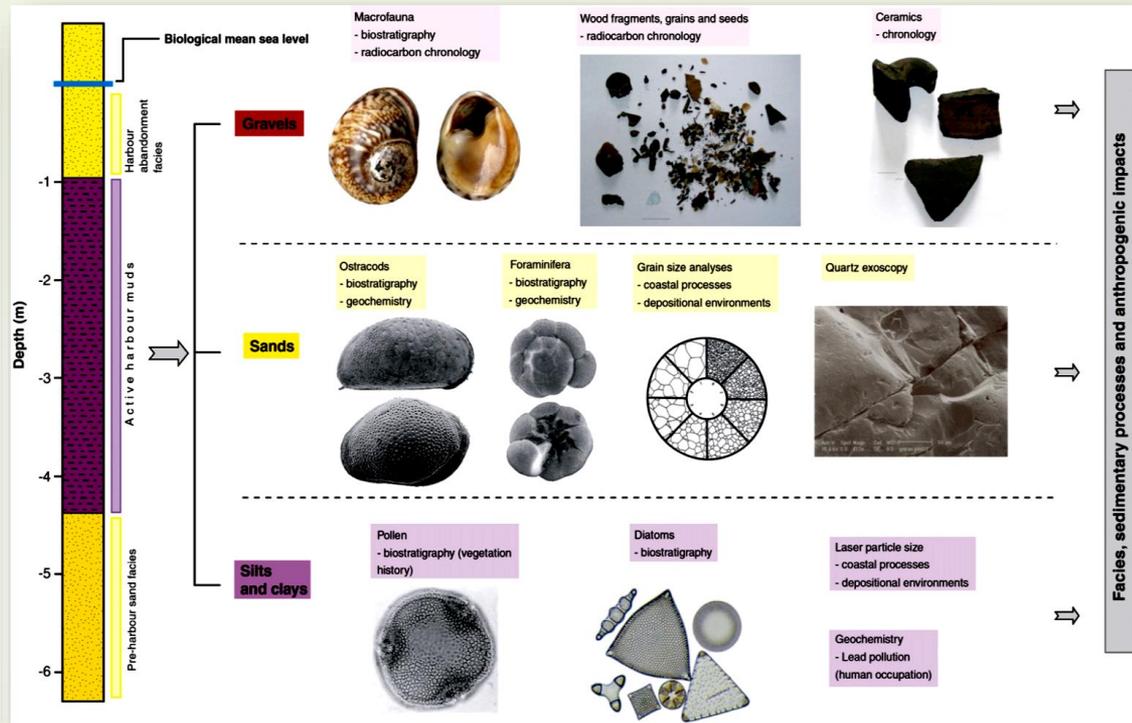
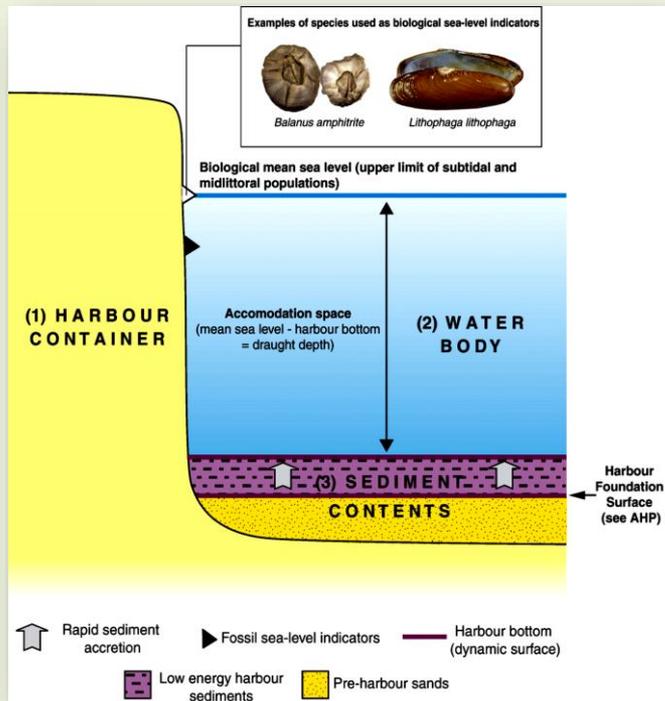
Foraminiferal Colouration Index (FCI) - Example of thermal alteration colours (FCI 2 - 6) in agglutinated foraminifera from an oil well.



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AForaminiferal_Colouration_Index_\(FCI\)_-_Example_from_an_Oil_Well.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AForaminiferal_Colouration_Index_(FCI)_-_Example_from_an_Oil_Well.png)

L'incontro con altre discipline: la geoarcheologia

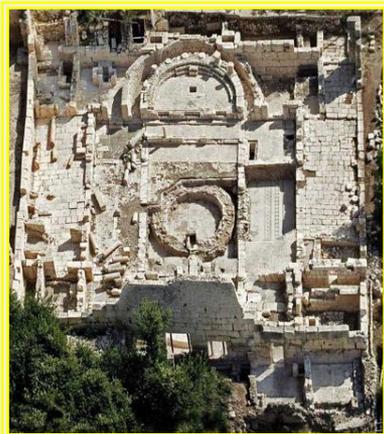
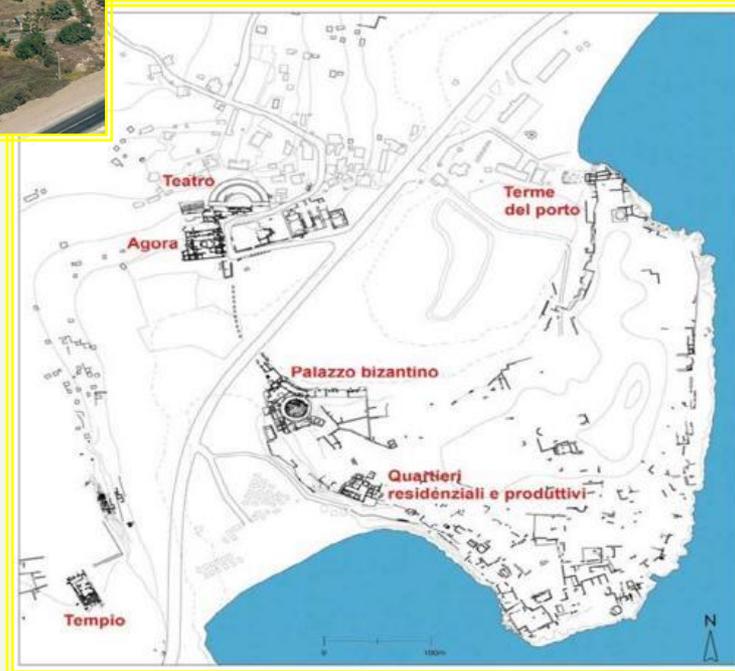




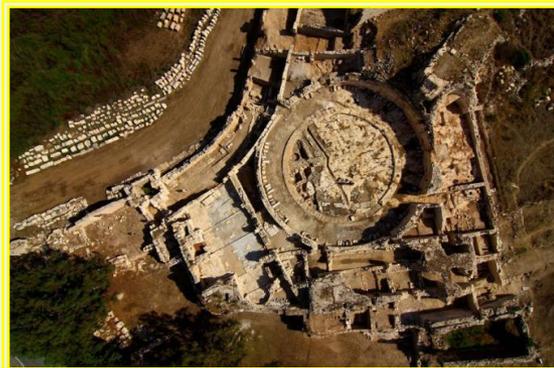
A sinistra: rappresentazione schematica di un antico contesto deposizionale portuale con le sue tre entità che lo definiscono (1) il contenitore portuale; (2) il corpo idrico; e (3) il contenuto dei sedimenti.

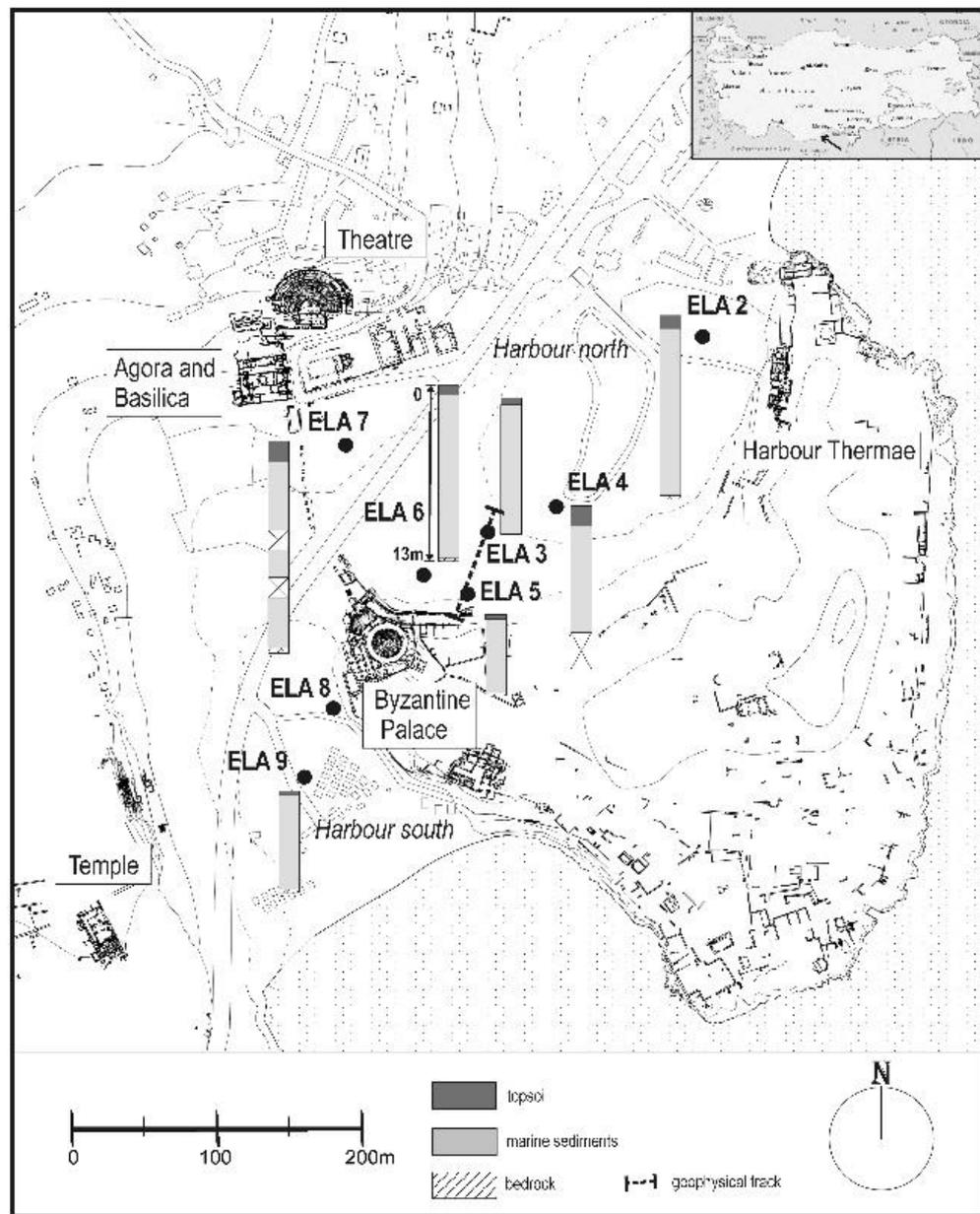
A destra: sequenza sedimentaria, facies e bioindicatori nella tipica sequenza di ambienti portuali antichi (da Marriner & Morhange, 2006)

Elaiussa Sebaste, la città "che produce ulivo", attiva città portuale dal II sec AC fino al VI secolo DC

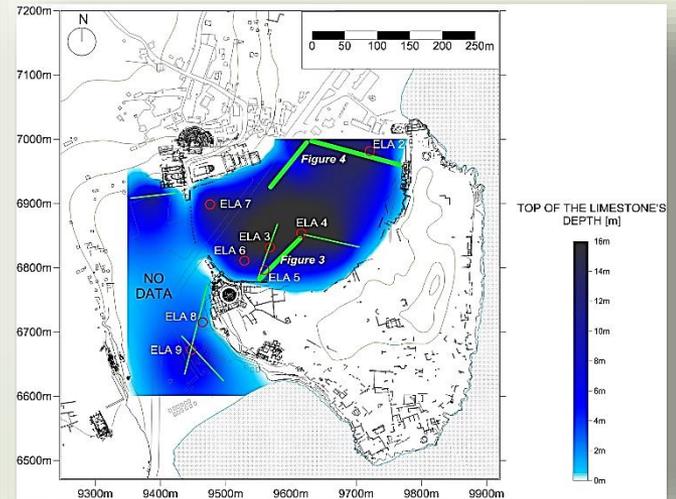


presenza di due porti ora completamente interrati: nord e sud

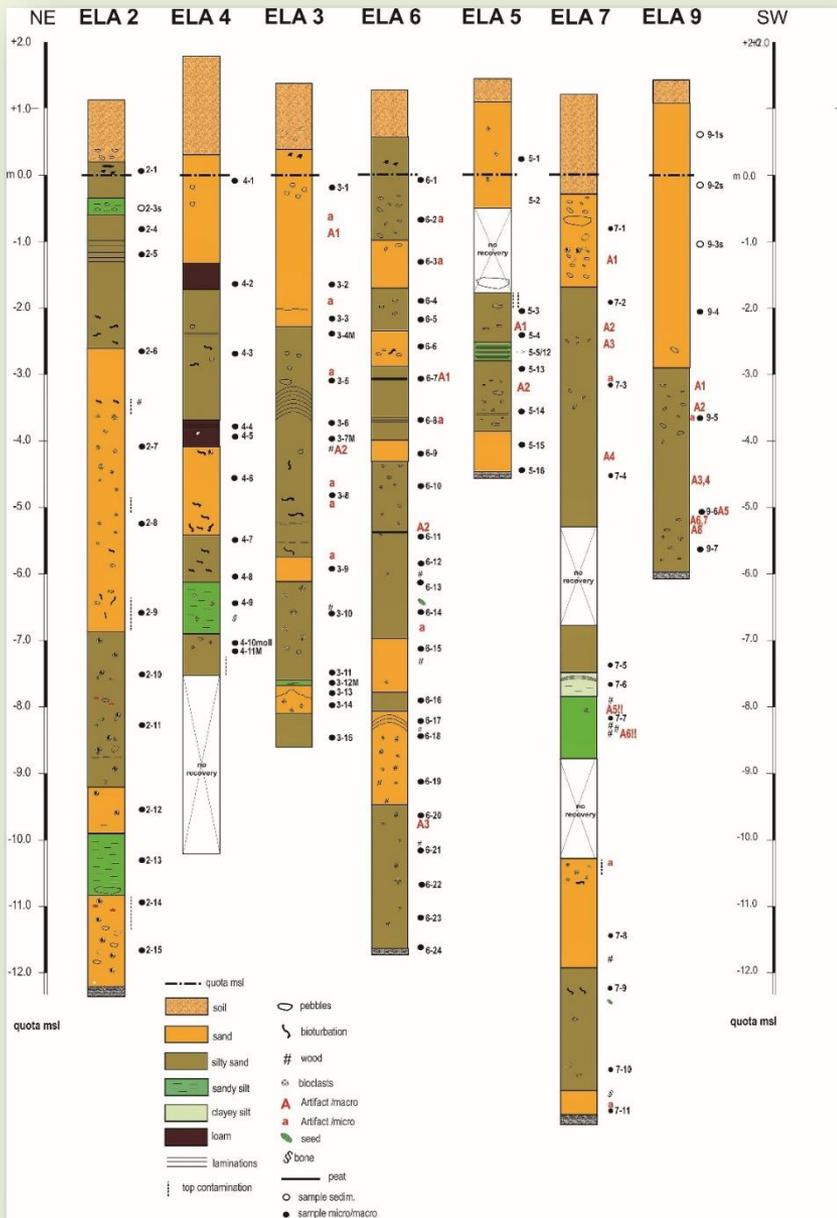




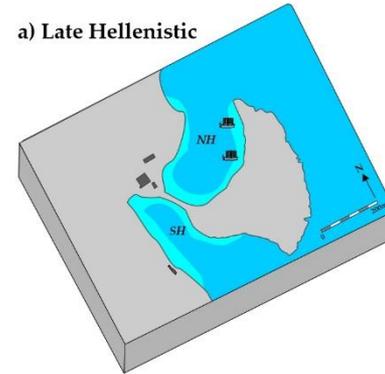
Studio interdisciplinare e
utilizzo di macro e
microfossili



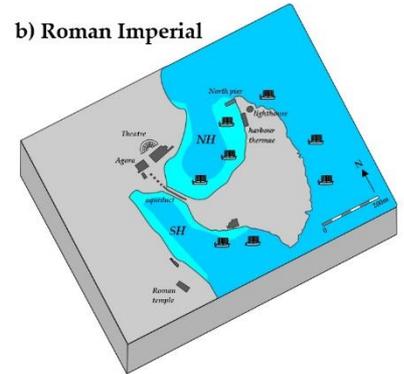
Map of the depth of the bedrock from
integrated Electrical Resistivity Tomography
(ERT), borehole and limestone outcrops data.
Green lines show location of ERT profiles



a) Late Hellenistic



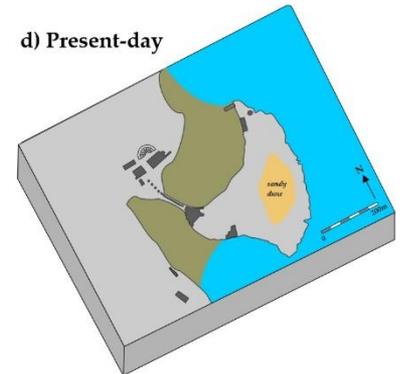
b) Roman Imperial



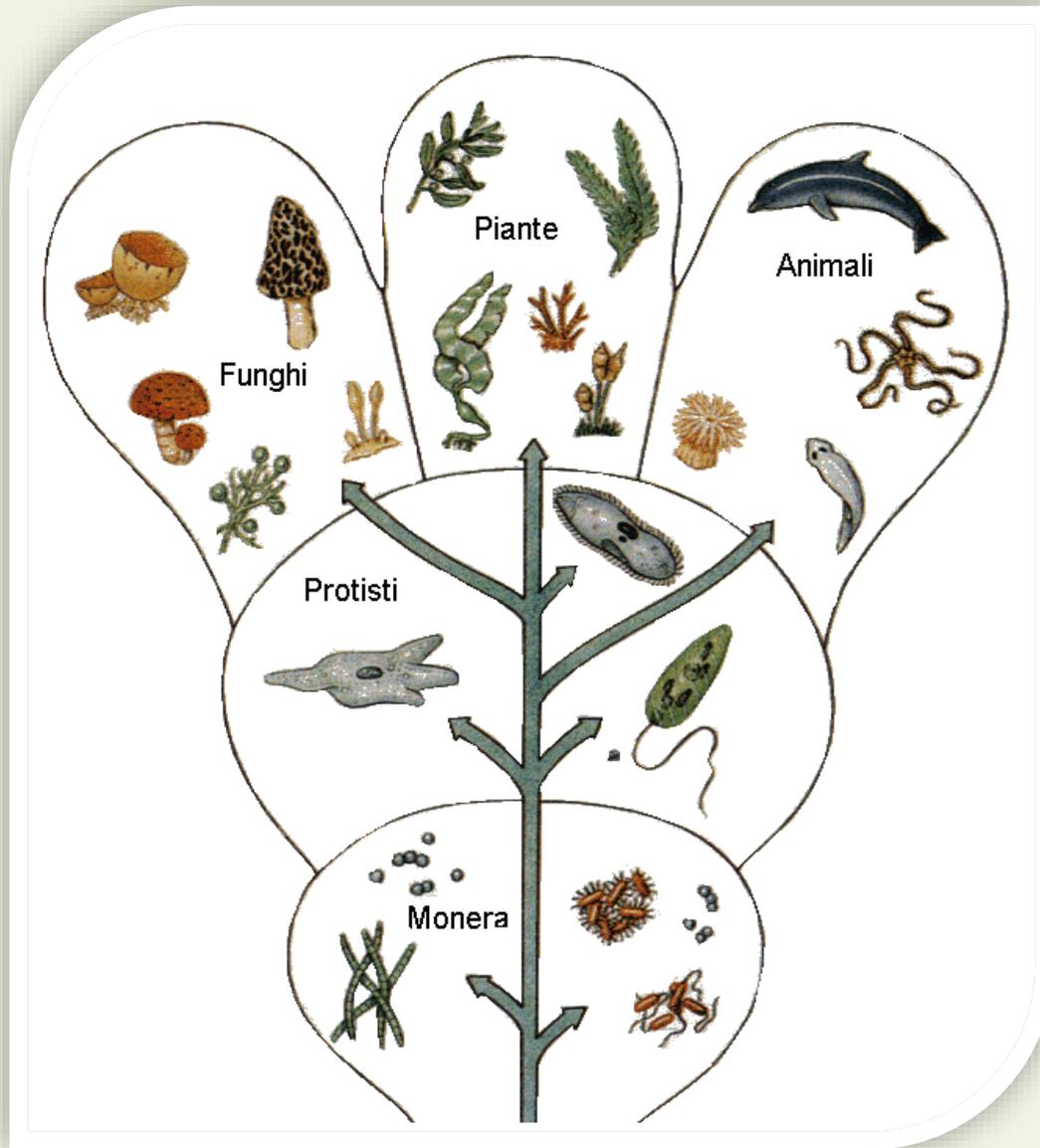
c) Early Byzantine



d) Present-day



Interpretazione del paleoambiente
tramite i microfossili e i palinomorfi, da
Melis et al., 2024 (Journal of Quaternary
Science)



La classificazione della biodiversità

Whittaker, 1969

MODI DI VITA DEGLI ORGANISMI ACQUATICI

la mobilità

- ▶ **PLANCTON:** organismo che vive liberamente nella colonna d'acqua, soggetto a trasporto passivo o a moto molto lento e limitato. Si divide in **FITOPLANCTON** (origine vegetale) e **ZOOPLANCTON** (origine animale).

Adattamento alla galleggiabilità e dimensioni ridotte

- ▶ **BENTHOS:** organismo che vive in diretto legame con il substrato. Si divide in:
 - a) *forme epibentoniche (o epifaunali):* vivono sulla superficie del substrato e possono essere vagili (o erranti), sedentari o sessili;
 - b) *forme endobentoniche (o infaunali):* vivono entro il sedimento o la roccia, come fossatori o perforatori.

Adattamento alla vita epifaunale o infaunale

- ▶ **NECTON:** organismo dotato di movimento attraverso organi di nuoto (vertebrati: pesci, mammiferi e rettili, tra gli invertebrati solo i cefalopodi).

Sviluppa un profilo idrodinamico

- ▶ **NECTOBENTHOS:** organismo che vive parzialmente a contatto con il fondale

Sviluppa un adattamento intermedio

il trofismo

produttori primari

fotoautotrofi (fitoplancton, alghe bentoniche, fanerogame marine); **chemioautotrofi** (batteri)

consumatori (o eterotrofi: decompositori, erbivori, carnivori)

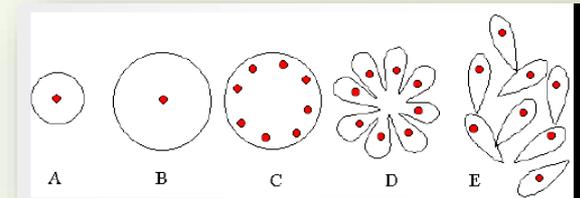
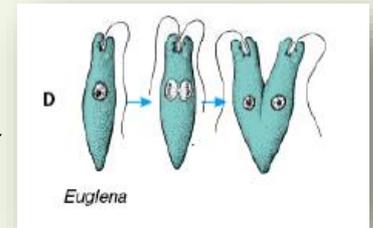
- ✓ **ERBIVORI**
- ✓ **SOSPENSIVORI** (prelevano le particelle alimentari catturandole direttamente con strutture adatte)
- ✓ **FILTRATORI** (devono “trattare” l’acqua attraverso la filtrazione nella cavità branchiale).
- ✓ **DEPOSITIVORI** (organismi **infaunali** che si alimentano di sostanza organica in decomposizione e di batteri – elevata bioturbazione) e **DETRITIVORI** (organismi che prelevano in detrito sulla superficie: **epifaunali**).
- ✓ **PREDATORI (O CARNIVORI)**
- ✓ **NECROFAGI**
- ✓ **PARASSITI**

la riproduzione

RIPRODUZIONE SESSUATA (*gameti*): le uova si sviluppano all'interno dell'organismo materno (*vivipari*) o all'esterno (*ovipari*);

RIPRODUZIONE ASESSUATA: tipica degli organismi inferiori, ha però uno sviluppo esponenziale della popolazione.

1. **Scissione binaria**: divisione in due parti tipica dei protisti
2. **Scissione multipla**: o schizogonia divisione in numerosi nuclei prima che si divida il citoplasma
3. **Riproduzione vegetativa (piante) o gemmazione (invertebrati)**: separazione di strutture multicellulari, con nuovi individui simili ai genitori. NB: la cellula madre si conserva
4. **Apomissi (piante) o partenogenesi (animali)**: le cellule sessuali sviluppano un embrione senza fecondazione.



Elementi di ecologia

Secondo Haekel l'ecologia è "il lato domestico della vita organica"



- è lo studio degli organismi in relazione a quello che costituisce il loro ambiente di vita
- cerca di comprendere come un organismo si adatta al proprio ambiente (successo od insuccesso)
 - studia tutti i processi biologici e chimico-fisici, fino ai livelli gerarchici più elevati
- le relazioni fra la singola specie e i fattori che determinano il suo ambiente: **AUTOECOLOGIA**
 - le relazioni fra la comunità e il contesto ambientale: **SINECOLOGIA**

Definizioni

habitat: spazio multidimensionale definito dall'insieme degli intervalli delle variabili o descrittori abiotici entro cui una specie persiste

nicchia ecologica: spazio inteso come ruolo degli organismi nell'ecosistema (sopravvivenza, nutrizione e riproduzione)

popolazione: gruppi di individui della stessa specie, in convivenza

comunità (o biocenosi): popolazioni che interagiscono e popolano habitat comuni

biotopo: luogo dove si riproduce la biocenosi

ecosistema: unità funzionale fondamentale: è l'insieme degli organismi viventi e delle sostanze inorganiche con le quali i primi stabiliscono uno scambio di materiali e di energia creando un sistema autosufficiente in equilibrio dinamico (per es. un lago, un prato, ecc..)

Elementi di paleoecologia

- ecologia del passato, ovvero ricostruzione paleoambientale attraverso lo studio dei fossili e della roccia inglobante (dati frammentari sia "biotici" che abiotici)
- studio dei fossili: ogni organismo è caratteristico di un certo habitat; *caratteri morfoadattativi e associazioni* permettono una ricostruzione del passato

OBIETTIVI:

- ✓ ricostruzione della "casa" attraverso lo studio di dati frammentari
- ✓ inquadramento temporale, generalmente come tendenza evolutiva
 - ✓ ricostruzione paleoclimatica

	Ambiente	Scala Temporale	Localizz. geografica	Prevalenza degli studi
Ricostruzione Ecologica	ricostr. diretta	umana	esatta	ambienti terrestri
Ricostruzione Paleoecologica	ricostr. indiretta	geologica	ipotetica	ambienti marini

METODI:

conoscenza dell'attuale (disciplina relativamente giovane dell'ACTUOPALEONTOLOGIA) e applicazione di due importanti concetti:

UNIFORMISMO METODOLOGICO (Gould, 1965 e 1984):

1. uniformità delle leggi della natura (quindi della fisica) nel tempo e nello spazio
2. uniformità dei processi geologici

Stessa causa = stesso effetto (ATTUALISMO)

UNIFORMISMO TASSONOMICO (Dodd & Stanton, 1981): stesso adattamento degli organismi nell'attuale e nel passato, valido per comunità che hanno rappresentanti attuali. Oppure osservazioni di morfologia funzionale (struttura, funzione, etologia) e modellizzazione.

Relazioni tra **biologia**, **paleontologia** e **paleoecologia**

Biologia *i* - chiarisce i meccanismi del processo evolutivo;

Paleontologia *i* - fornisce la documentazione storica del processo evolutivo;

Paleoecologia *i* - colloca gli eventi evolutivi in un contesto paleoambientale.

Biospecie = fondata sul DNA della popolazione, ma anche su concetto morfologico.

Cronospecie = basata su aspetti morfologici, popolazioni su unica linea filetica, con gli stessi adattamenti.

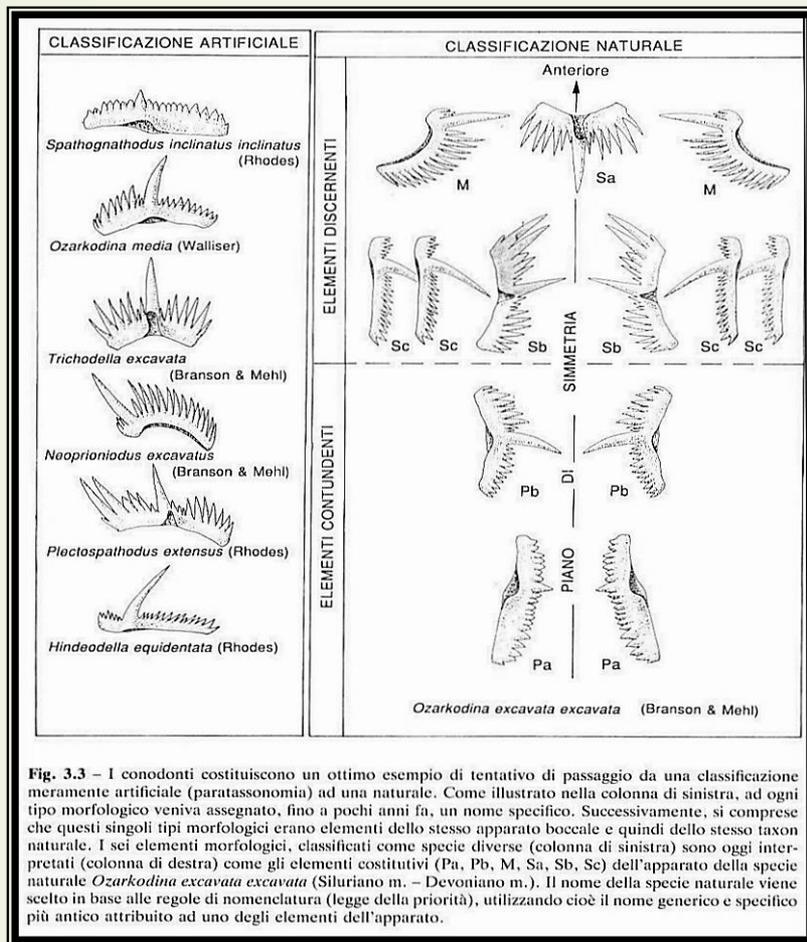
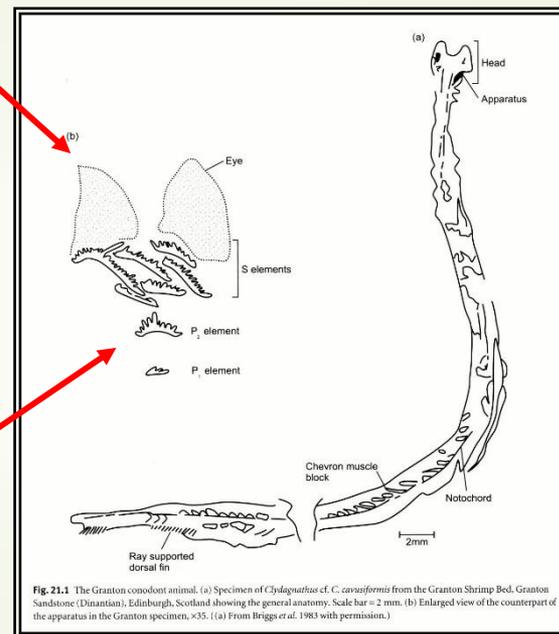


Fig. 3.3 – I conodonti costituiscono un ottimo esempio di tentativo di passaggio da una classificazione meramente artificiale (paratassonomia) ad una naturale. Come illustrato nella colonna di sinistra, ad ogni tipo morfologico veniva assegnato, fino a pochi anni fa, un nome specifico. Successivamente, si comprese che questi singoli tipi morfologici erano elementi dello stesso apparato boccale e quindi dello stesso taxon naturale. I sei elementi morfologici, classificati come specie diverse (colonna di sinistra) sono oggi interpretati (colonna di destra) come gli elementi costitutivi (Pa, Pb, M, Sa, Sb, Sc) dell'apparato della specie naturale *Ozarkodina excavata excavata* (Siluriano m. – Devoniano m.). Il nome della specie naturale viene scelto in base alle regole di nomenclatura (legge della priorità), utilizzando cioè il nome generico e specifico più antico attribuito ad uno degli elementi dell'apparato.



Esempio di classificazione artificiale = paratassonomia; conodonti, pollini e spore, otoliti di pesce