

I fossili e il processo di fossilizzazione

- Chiara Sorbini
- Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa
- Giovanni Bianucci
- Dipartimento di Scienze della Terra - Unipi

Dal CORSO DI
PALEONTOLOGIA
per Scienze Naturali
del
Prof. Giovanni Bianucci

Lezione 1

Introduzione alla Paleontologia e
ai contenuti del corso

Lezione 2

Tafonomia
(prima parte)

Lezione 4

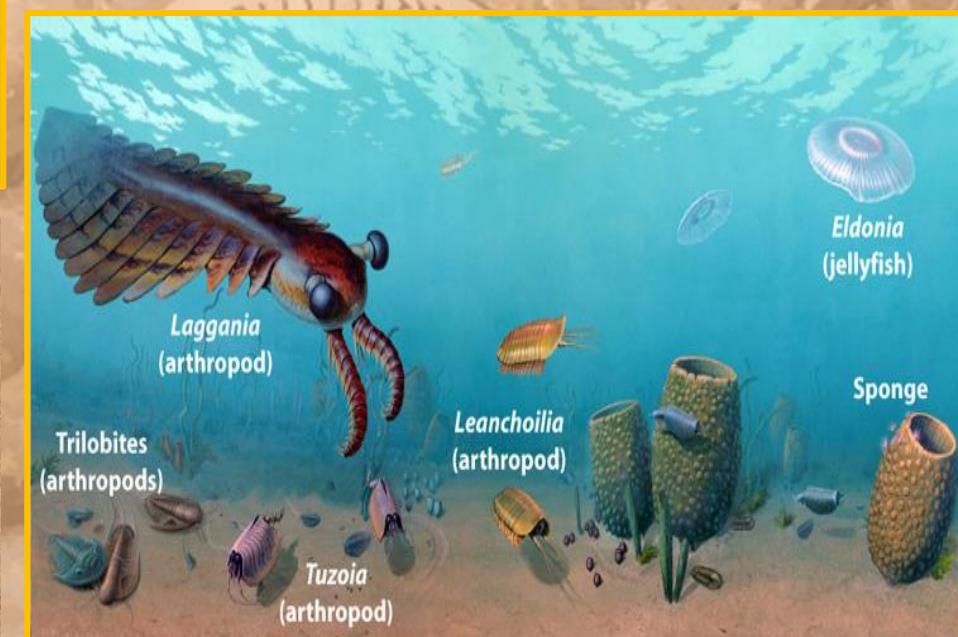
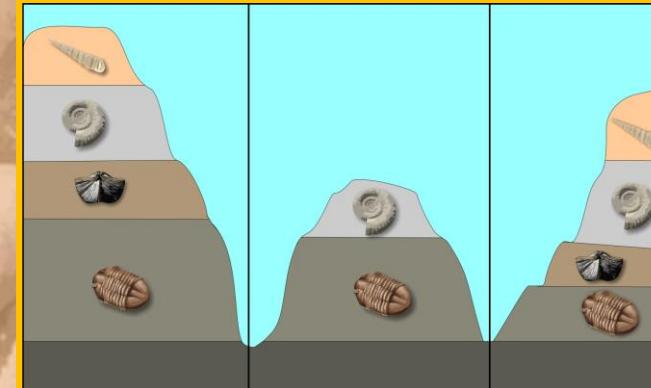
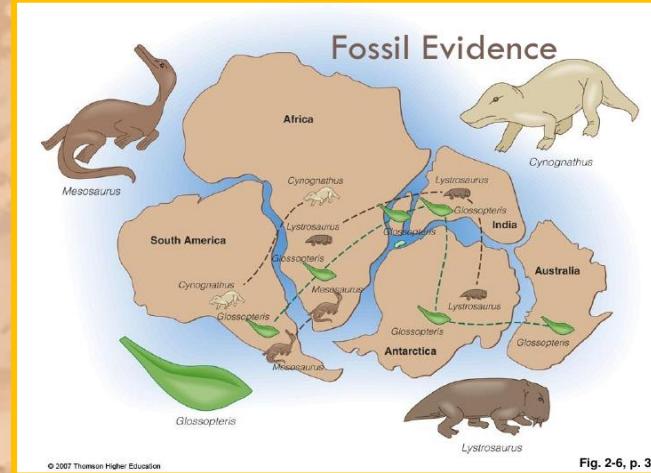
Tafonomia
(seconda parte)

Lezione 5

Tafonomia
(terza parte)

Lezione 6

Tafonomia
(quarta parte)



PALEONTOLOGIA

La Paleontologia è una
branca delle scienze che
**attraverso lo studio dei
fossili ricostruisce come è
stata e come si è evoluta la
vita nel passato**

Paleontologia

palaiòs
= vecchio + *ònitos*
= essere + *lògos*
= studio

studio degli organismi antichi



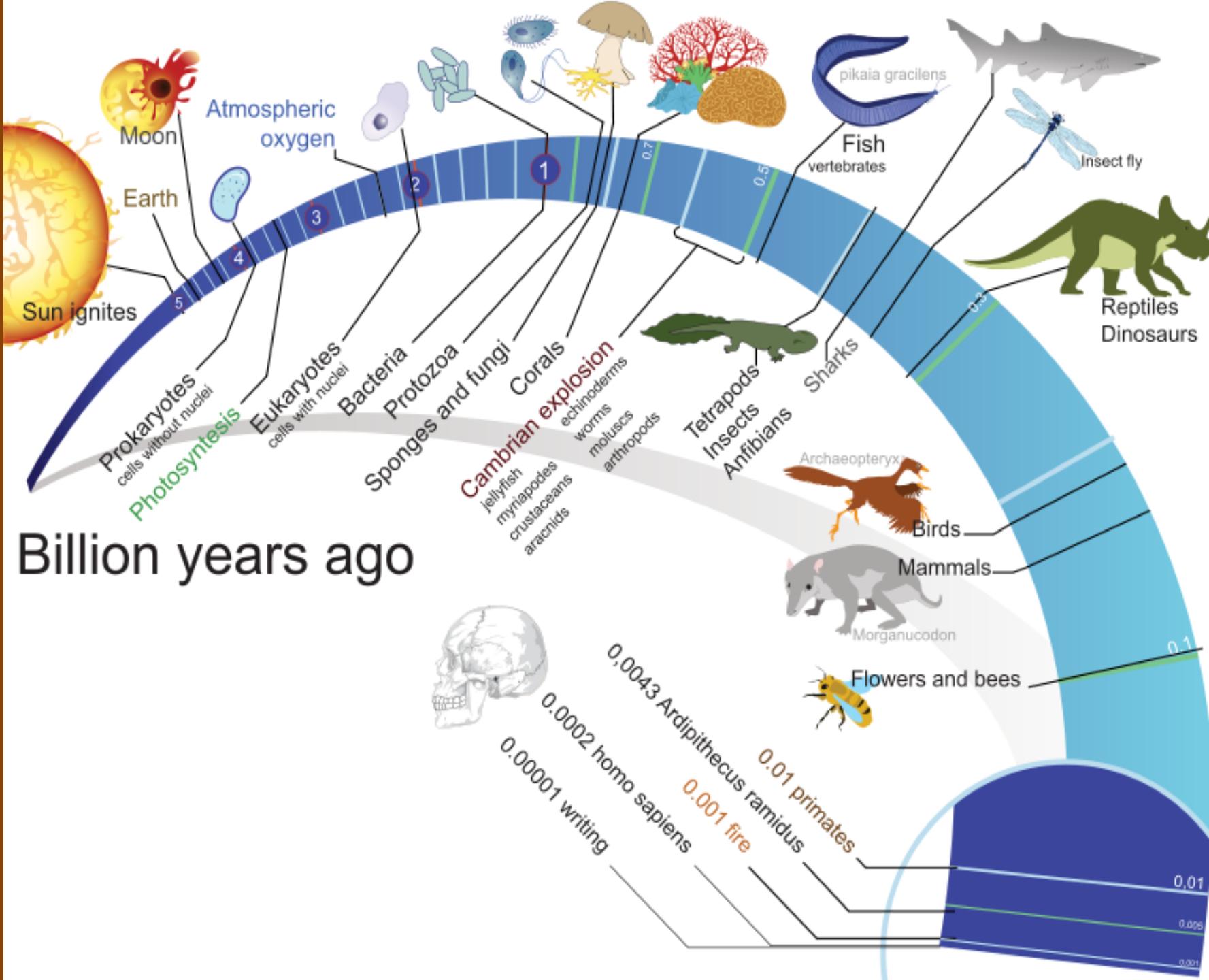
A COSA SERVONO
praticamente
I FOSSILI?

e quindi

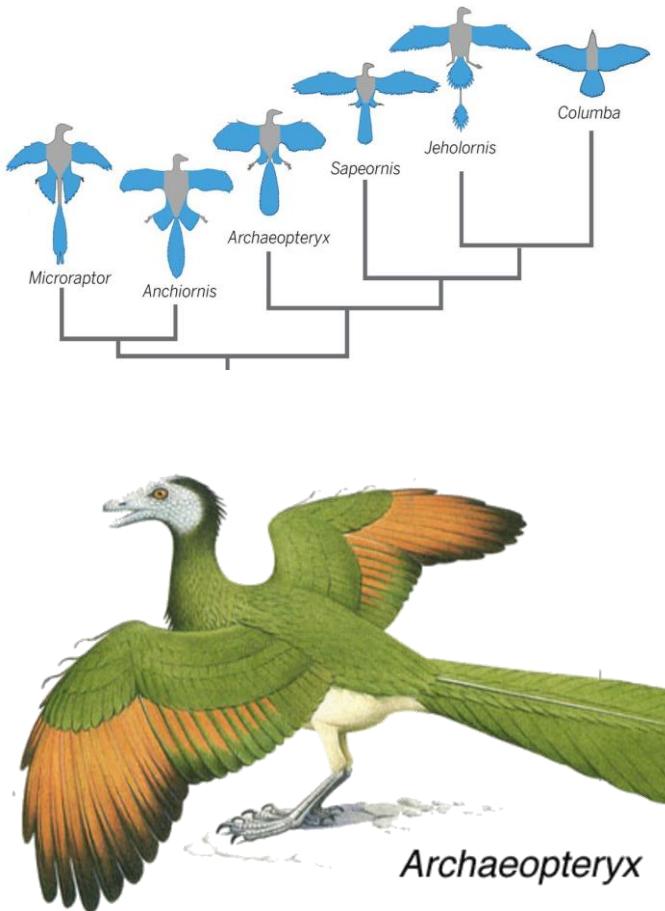
DI COSA SI OCCUPA
di preciso
LA PALEONTOLOGIA?



La Paleontologia
ricostruisce attraverso
i fossili la **storia della**
vita nel passato
iniziata oltre 3 miliardi
di anni fa con i primi
organismi unicellulari

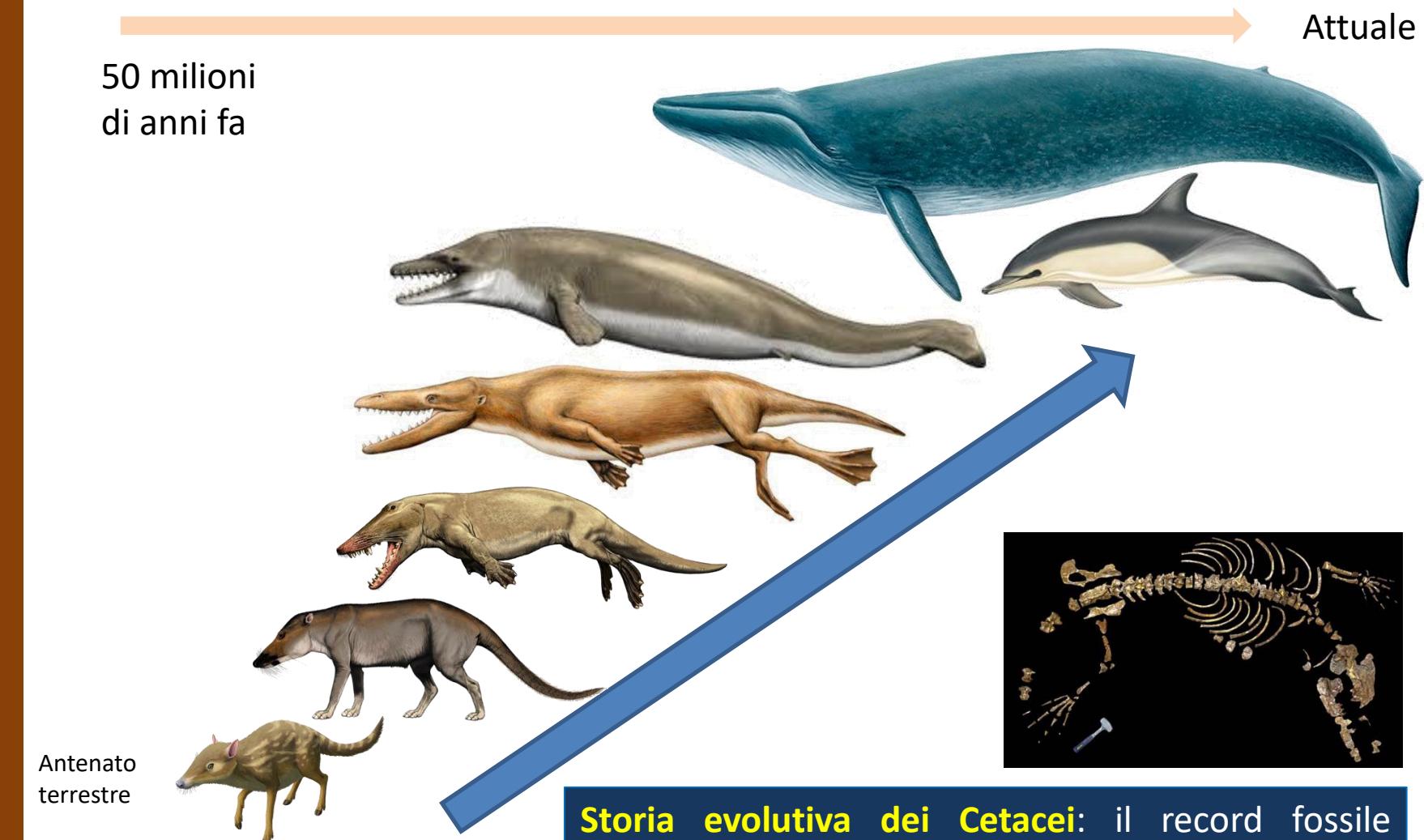


La Paleontologia ha anche un ruolo importante nel **ricostruire le relazioni evolutive tra gli organismi e fornire prove dell'evoluzione**



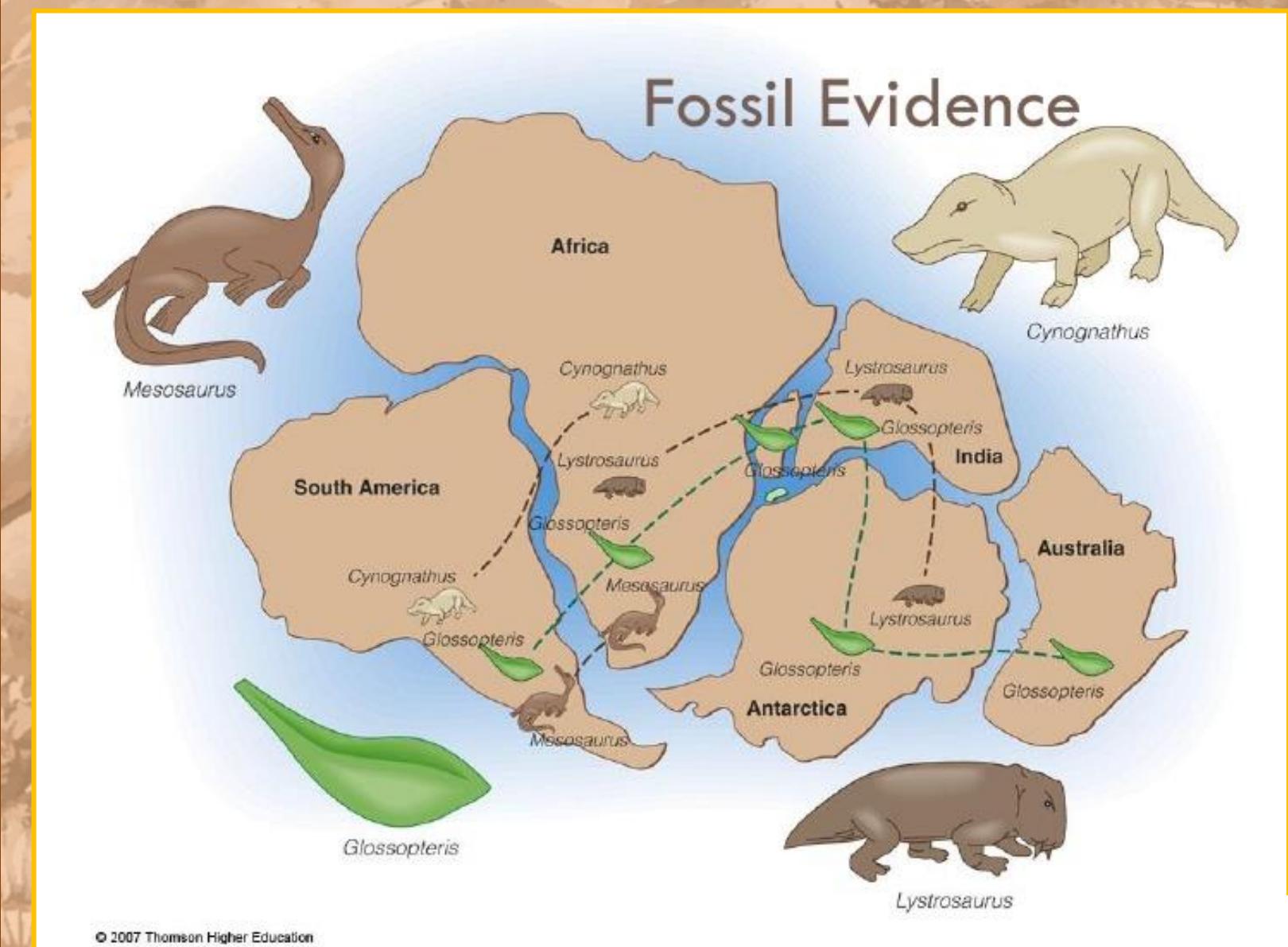
I fossili documentano in dettaglio i **passaggi evolutivi** che hanno permesso ad organismi attuali di trasformarsi ed adattarsi a condizioni ambientali molto diverse rispetto ai loro antichi progenitori.

I fossili ci permettono pertanto di **colmare le apparenti distanze morfologiche-ecologiche tra alcuni organismi attuali e i loro più stretti parenti attuali**.



Storia evolutiva dei Cetacei: il record fossile permette di ricostruire in dettaglio tutte le fasi che a partire da 50 milioni di anni fa hanno portato dei mammiferi terrestri a trasformarsi in balene delfini e ci permette di capire come mai i Cetacei sono parenti stretti degli Artiodattili

La Paleontologia
ricostruisce le
geografie del
passato attraverso la
distribuzione spaziale
dei fossili



La Paleontologia ricostruisce con i fossili il **modo di vita e l'ecologia degli organismi del passato** e, in associazione con i dati della sedimentologia, gli **ambienti del passato**

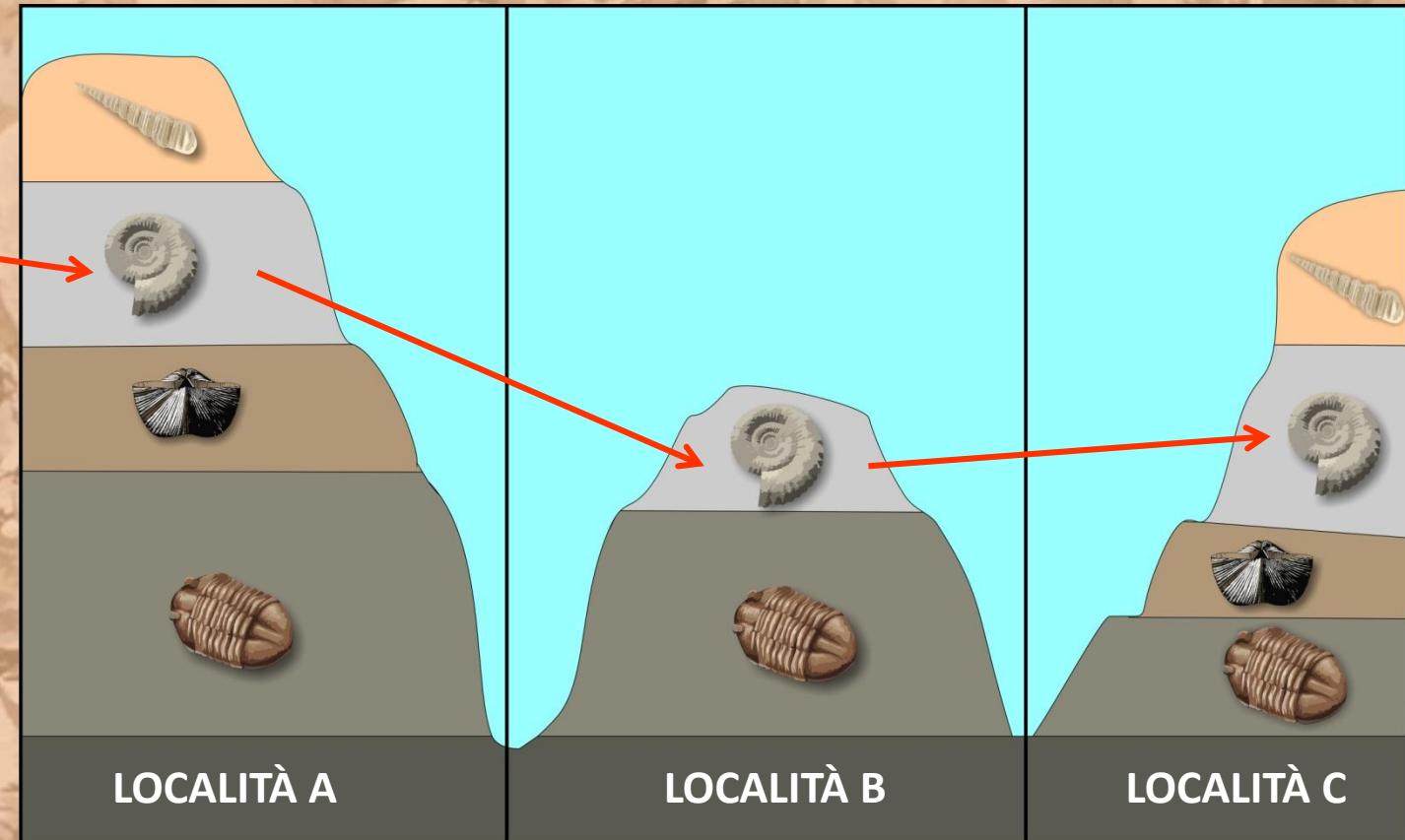


Orme fossili di tetrapodi trovate nei **Monti Pisani** ci danno informazione sull'postaura dei rettili triassici e del **passaggi da quadrupedi a bipedi** (con le prime forme dinosauriane). Inoltre queste orme fossili stanno ad indicare **un ambiente costiero di delta**.

La Paleontologia utilizza i fossili per fornire **datazioni relative** delle successioni sedimentarie



AMMONITE



Carta Cronostratigrafica Internazionale

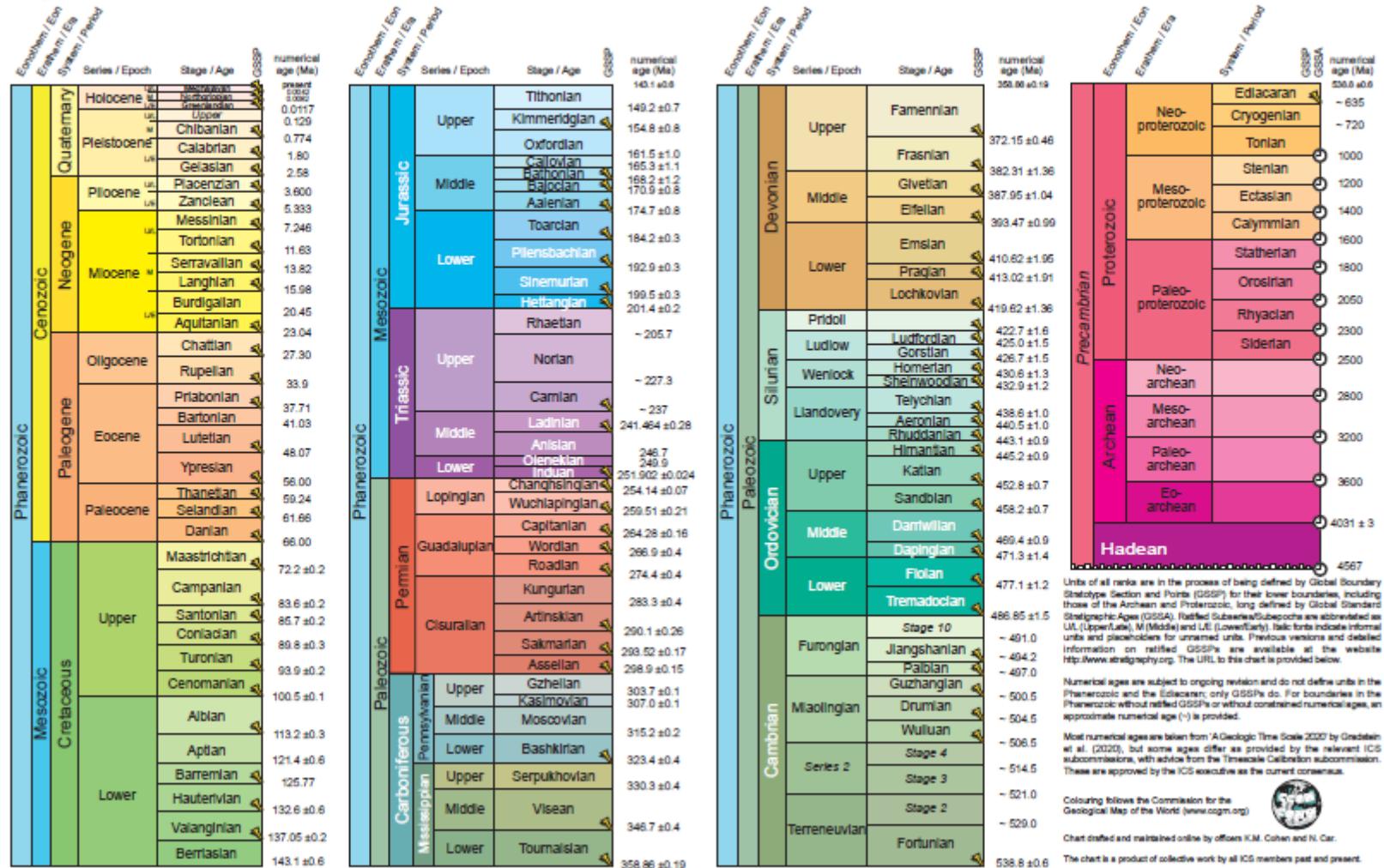


IUGS

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

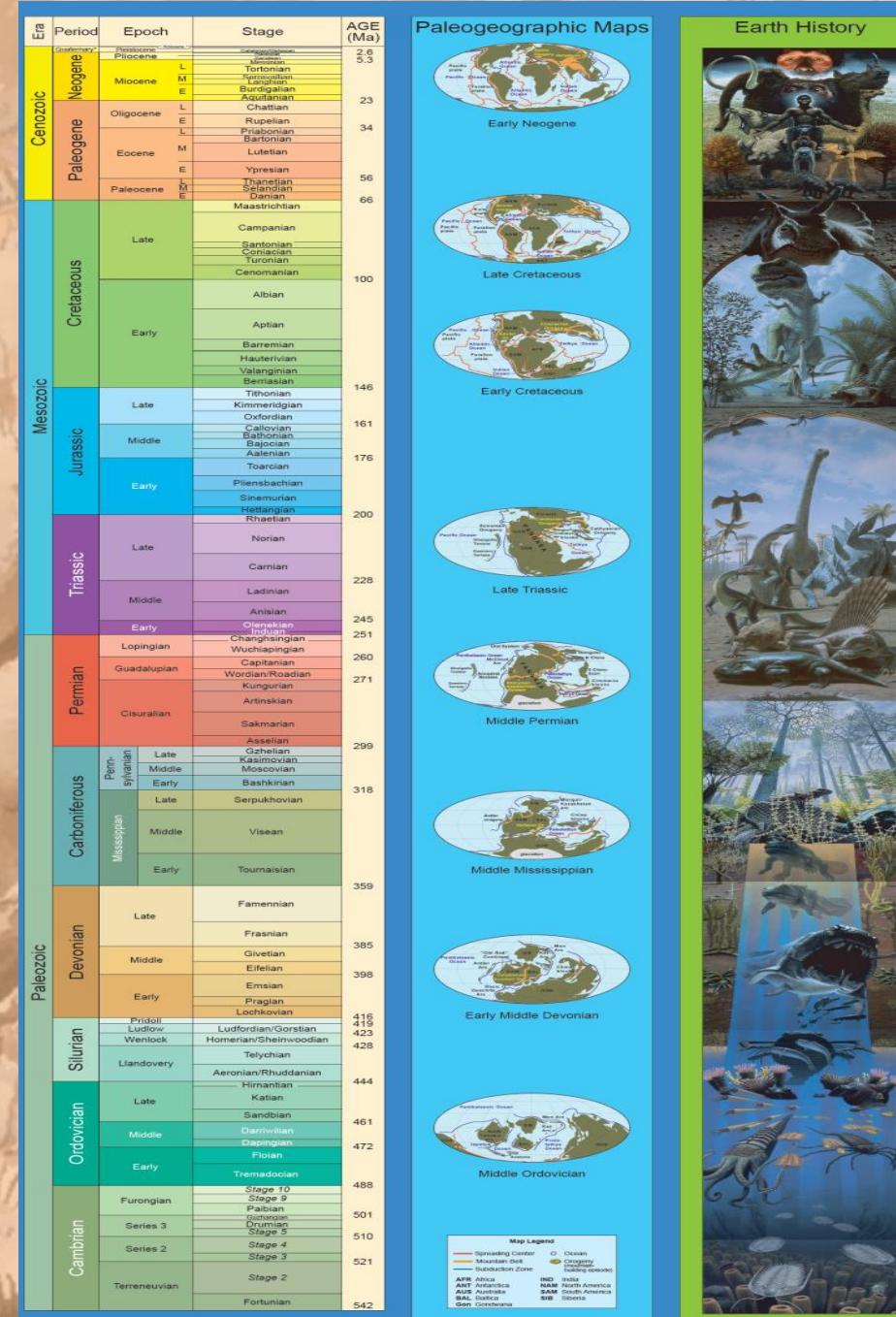
v 2024/12



Eratema	Serie	Ma
Era	Epoca	
CENOZOICO	Olocene	0,012
	Pleistocene	2,6
	Pliocene	5,3
	Miocene	23
	Oligocene	34
	Eocene	56
	Paleocene	66
MESOZOICO	Cretaceo	145
	Giurassico	201
	Triassico	252
PALEOZOICO	Permiano	299
	Carbonifero	359
	Devoniano	419
	Siluriano	444
	Ordoviciano	485
	Cambriano	541



La Paleontologia studia
attraverso i fossili
l'evoluzione della vita
sulla Terra nel corso
del tempo geologico



I cambiamenti nella fauna e nella flora nel corso del tempo geologico sono fortemente legati all'evoluzione geodinamica e climatica della Terra.

I fossili sono importanti anche perché **sono beni culturali**: Musei, Geositi, ecc.



Museo di Storia Naturale
Berlino



Polledrara di Cecanibbio
Roma



I fossili sono importanti anche perché **molti materiali lapidei (come i calcari e di conseguenza i marmi) sono di origine organica** (nelle foto la dolomite di Zandobbio BG è il risultato dell'accumulo di scheletri carbonatici di scogliere coralline del Giurassico (200 Ma circa))



I fossili possono rappresentare importanti **fonti energetiche non rinnovabili**: petrolio, carbone, ligniti, torbe sono chiamati **combustibili fossili**



**La Paleontologia
studia i fossili**



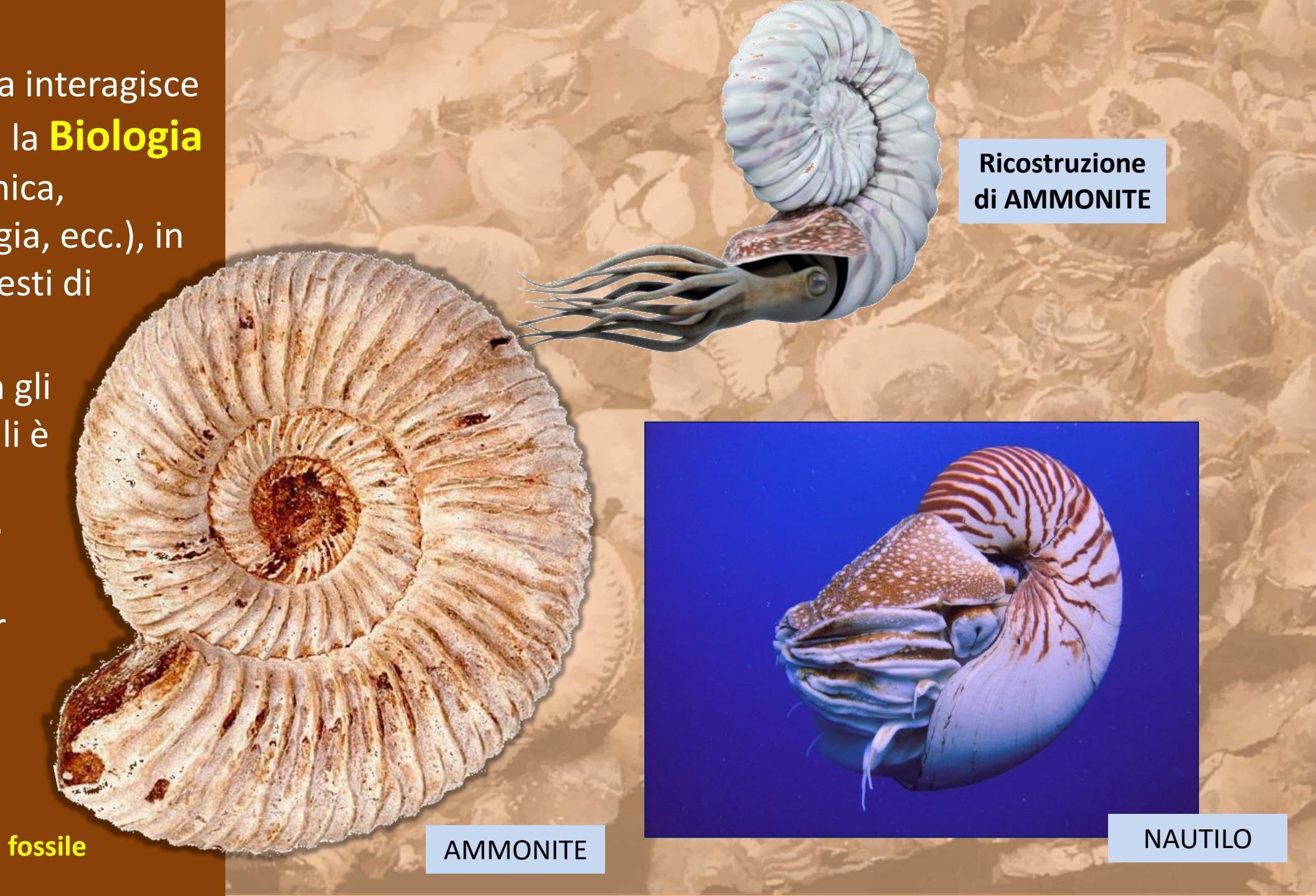
AMMONITE



MUSEO

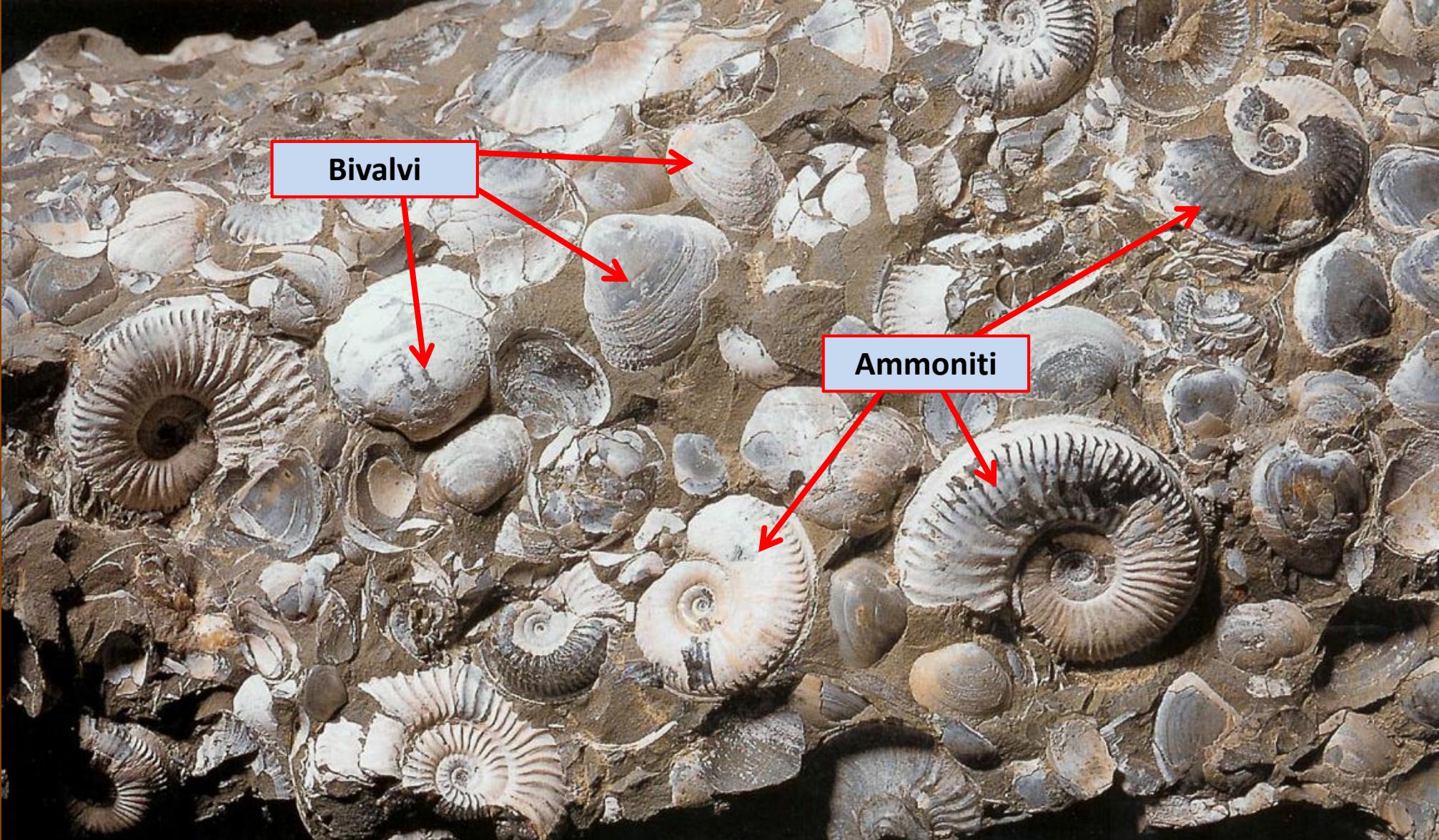
La Paleontologia interagisce
fortemente con la **Biologia**
(zoologia, botanica,
genetica, ecologia, ecc.), in
quanto studia resti di
ex vivi.

Il confronto con gli
organismi attuali è
fondamentale
per riconoscere
gli organismi
del passato, per
ricostruirne la
forma e il loro
modo di vita.



FOSSILI E ROCCE

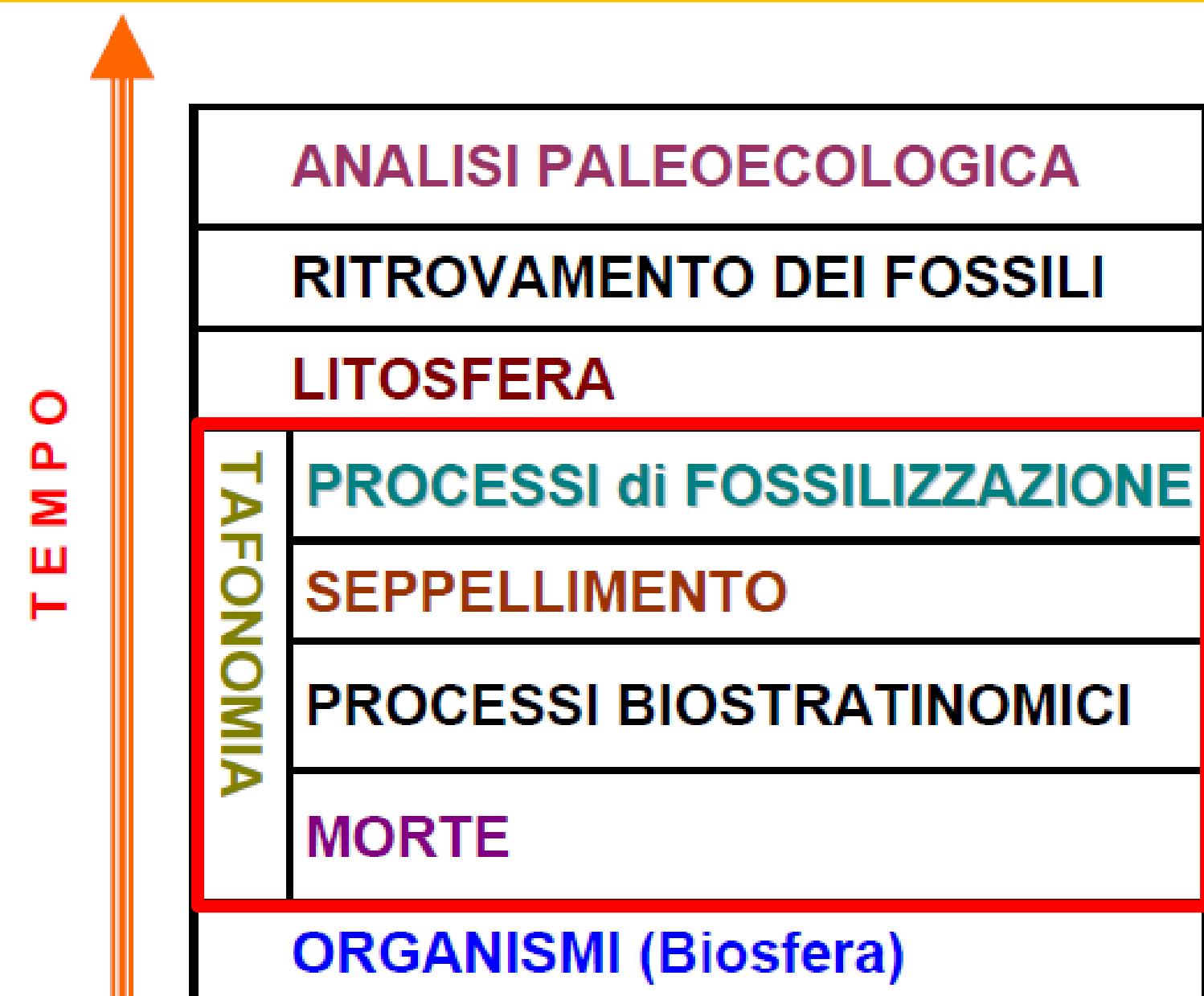
I fossili si trovano all'interno delle rocce sedimentarie: la Paleontologia è quindi anche una **disciplina delle Scienze Geologiche**



Roccia sedimentaria con ammoniti e bivalvi

TAFONOMIA

La Tafonomia comprende tutti i processi che si susseguono dalla **morte** di un organismo fino alla sua completa **fossilizzazione**, ovvero il suo passaggio dalla **biosfera** alla **litosfera**.



**La Tafonomia si
suddivide in 4 fasi**

IV- FOSSILIZZAZIONE

**Processi di trasformazione diagenetica
all'interno del corpo sedimentario**



III- SEPPELLIMENTO



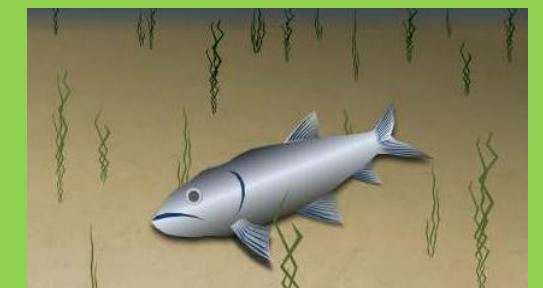
II- BIOSTRATINOMIA

**Dalla morte o distacco di parti a prima del
seppellimento definitivo**



I- MORTE DEGLI ORGANISMI O DISTACCO DI LORO PARTI

(distacco parti, es: una foglia da un albero)



Le 4 fasi della Tafonomia si possono dividere in 2 gruppi.

IV- FOSSILIZZAZIONE

Processi di trasformazione diagenetica all'interno del corpo sedimentario

III- SEPPELLIMENTO

2 - Dal seppellimento alla definitiva formazione del fossile

II- BIOSTRATINOMIA

Dalla morte o distacco di parti a prima del seppellimento definitivo

I- MORTE DEGLI ORGANISMI O DISTACCO DI LORO PARTI

(distacco parti, es: una foglia da un albero)

1- Dalla morte a prima del seppellimento definitivo

Le 4 fasi della Tafonomia si possono dividere in 2 gruppi.

Nelle prime due fasi prevalgono i processi di **decomposizione** e nelle seconde 2 fasi i processi di **fossilizzazione**

IV- FOSSILIZZAZIONE

Processi di trasformazione diagenetica all'interno del corpo sedimentario

III- SEPPELLIMENTO

In queste 2 fasi prevalgono i processi di fossilizzazione

II- BIOSTRATINOMIA

Dalla morte o distacco di parti a prima del seppellimento definitivo

In queste 2 fasi prevalgono i processi di decomposizione

I- MORTE DEGLI ORGANISMI O DISTACCO DI LORO PARTI

(distacco parti, es: una foglia da un albero)

Le 4 fasi della Tafonomia si possono dividere in 2 gruppi.

Le prime due fasi si sviluppano in **tempi storici** e le seconde 2 fasi in **tempi geologici**

IV- FOSSILIZZAZIONE

Processi di trasformazione diagenetica all'interno del corpo sedimentario

III- SEPPELLIMENTO

Si sviluppano in **tempi geologici** (migliaia o milioni di anni). I resti subiscono profonde trasformazioni chimiche

II- BIOSTRATINOMIA

Dalla morte o distacco di parti a prima del seppellimento definitivo

I- MORTE DEGLI ORGANISMI O DISTACCO DI LORO PARTI

(distacco parti, es: una foglia da un albero)

Si sviluppano in **tempi storici** (anni, decine o massimo centinaia di anni) e determinano una **drastica riduzione numerica** dei resti degli organismi

Morte degli organismi

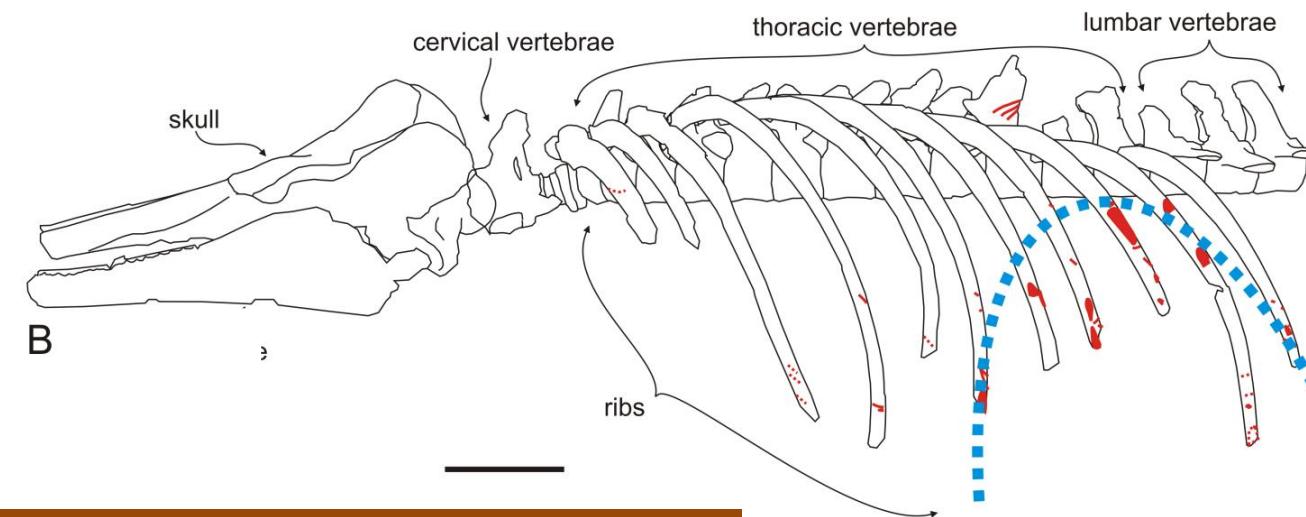
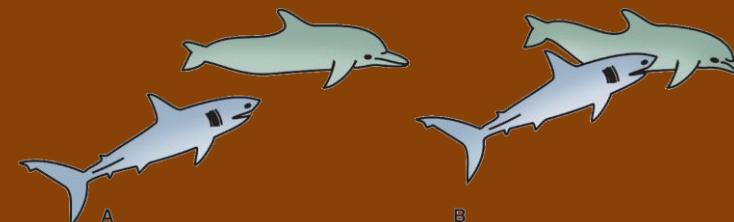
Morte individuale

Fori circolari su conchiglie di molluschi (gasteropodi e bivalvi). Sono stati lasciati da gasteropodi predatori del genere *Natica* che perforano il guscio utilizzando la radula (apparato boccale masticatorio) e acido secreto.



Rimontando lo scheletro ci si è accorti che molte tracce corrispondono ad un **unico morso sferrato dallo squalo nel ventre del delfino**.

La posizione del morso è compatibile con la strategia di attacco dei grossi squali attuali: in genere attaccano la preda da dietro procedendo dal basso verso l'alto



Perché lo squalo non ha completamente divorato il delfino?

- 1) Non ha morso per fame
- 2) Il delfino era già morto (**scavenging**)



Morte degli organismi Morte individuale

Inglobamento in resina vegetale.

La resina prodotta da alcune piante può invischiare insetti vari ed inglobarli mentre cola sul tronco.

Alcune di queste resine si sono conservate fossili sotto forma di **ambra** in alcuni casi con all'interno l'insetto morto per inglobamento.



Morte degli organismi Morti collettive Eutrofizzazione

Il ritrovamento di forti concentrazioni di fossili (es. pesci) su **superficie di strato** può essere ricondotta ad una **moria di massa** dovuta a condizioni di **eutrofizzazione** (es. bloom fitoplanctonico) delle acque



La degradazione dell'ordine

Tutti gli organismi alla loro morte in condizioni “normali” vengono **decomposti** in:

acqua



biossido di carbonio



minerali



Pertanto tutta la materia (organica ed inorganica) degli organismi dovrebbe essere restituita all'ambiente sotto forma di semplici composti inorganici

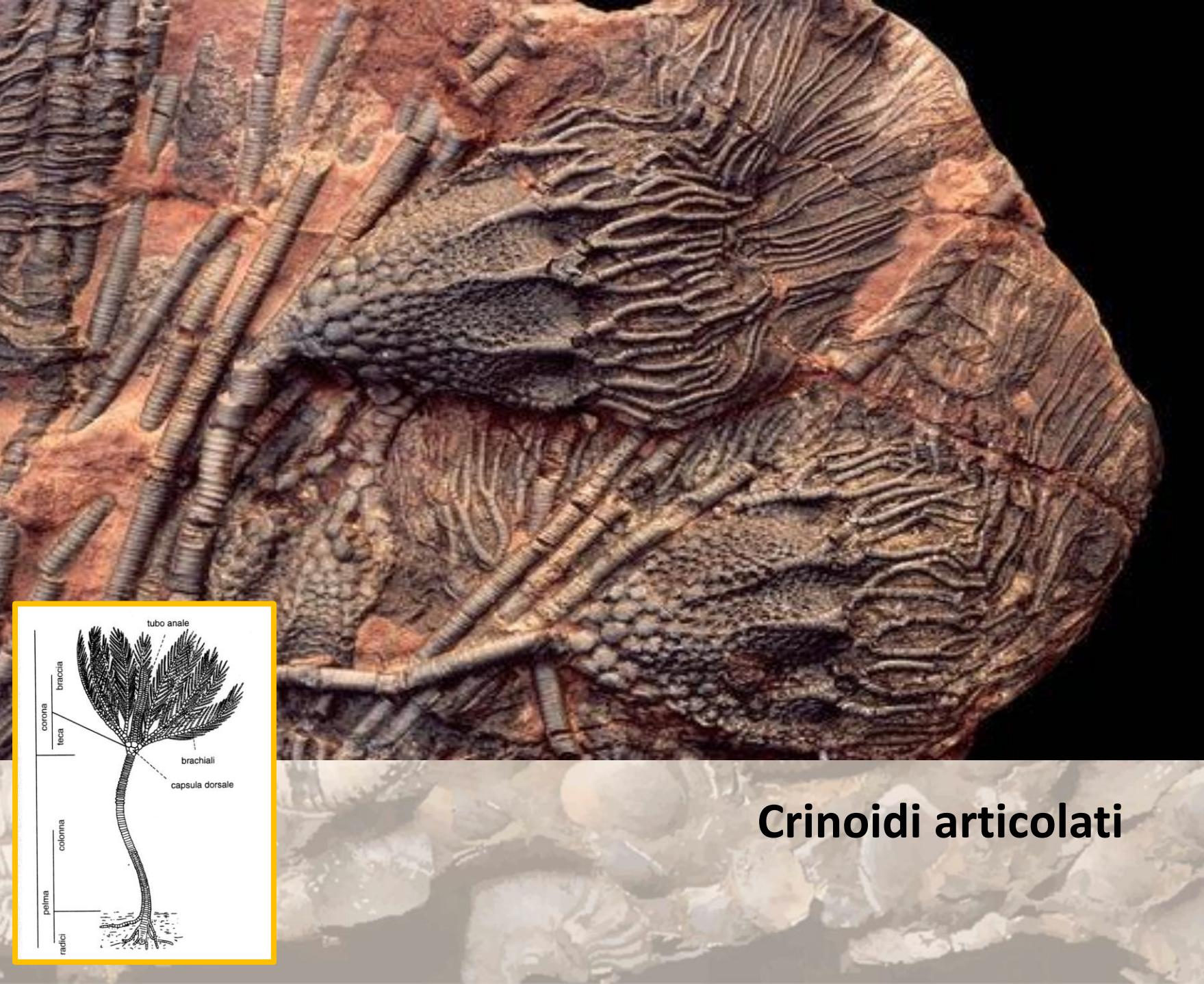
La catena di decomposizione può interrompersi per cause diverse, tra cui:

- 1- **Rapido seppellimento**, dovuto ad inondazioni, frane, correnti di torbida, ecc.
- 2- **Deposizione in ambienti privi o con poco ossigeno**, es. ambiente di torbiera, bacini marini e/o lacustri stagnanti, ecc. La carenza in ossigeno inibisce la decomposizione da parte dei microrganismi, come pure la mancanza di umidità o le bassissime temperature.

*Pertanto la condizione primaria per la formazione dei fossili è la **rapida sottrazione agli agenti meccanico-fisici e biologici che tendono a distruggere gli organismi**.*

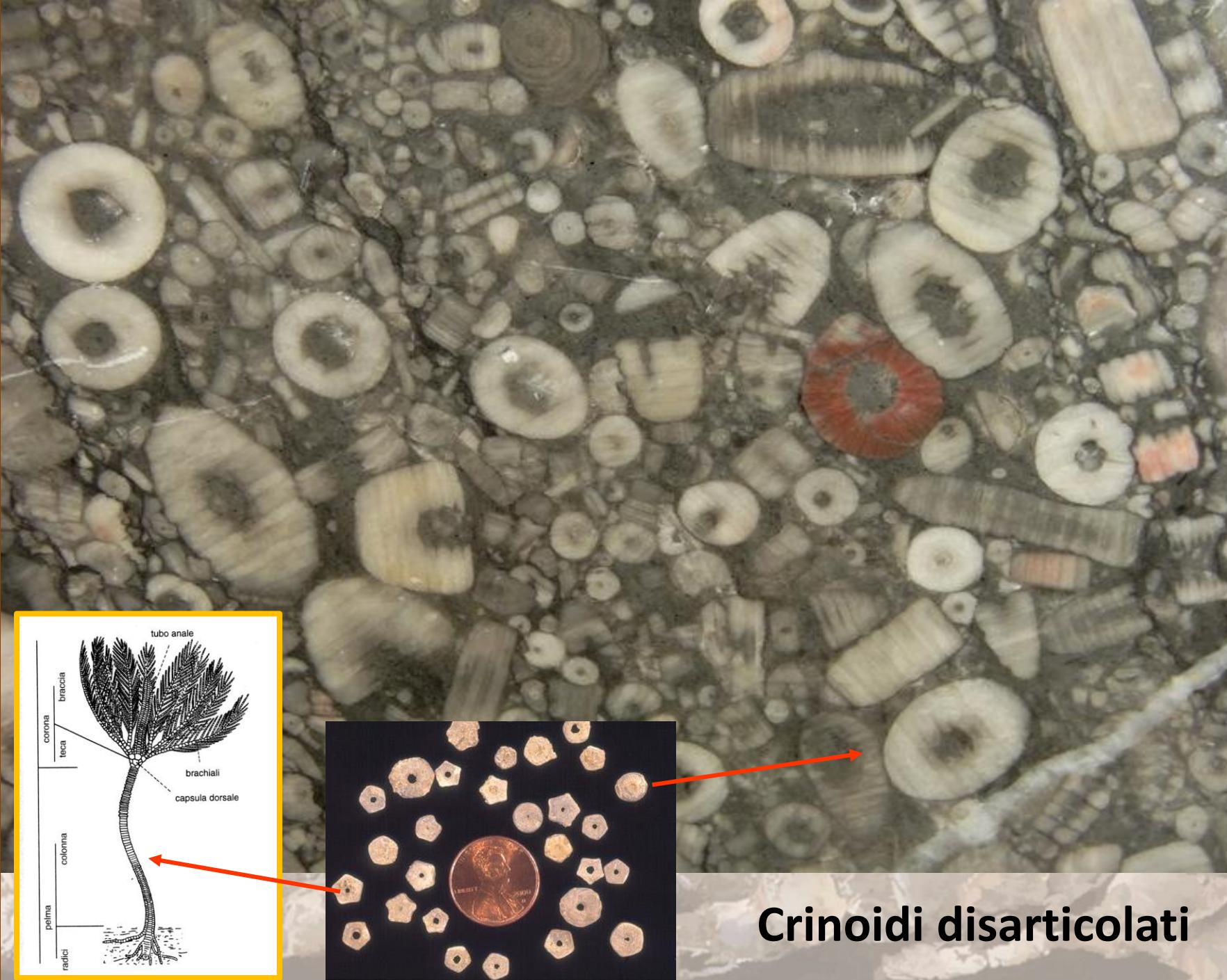
La disarticolazione può essere favorita da **agenti fisici** (correnti, moto ondoso, vento) e **biologici** (organismi necrofagi).

Pertanto il **rapido seppellimento** e, ad esempio, la **mancanza di organismi sul fondale marino**, favoriscono la **conservazione di organismi completamente articolati**.



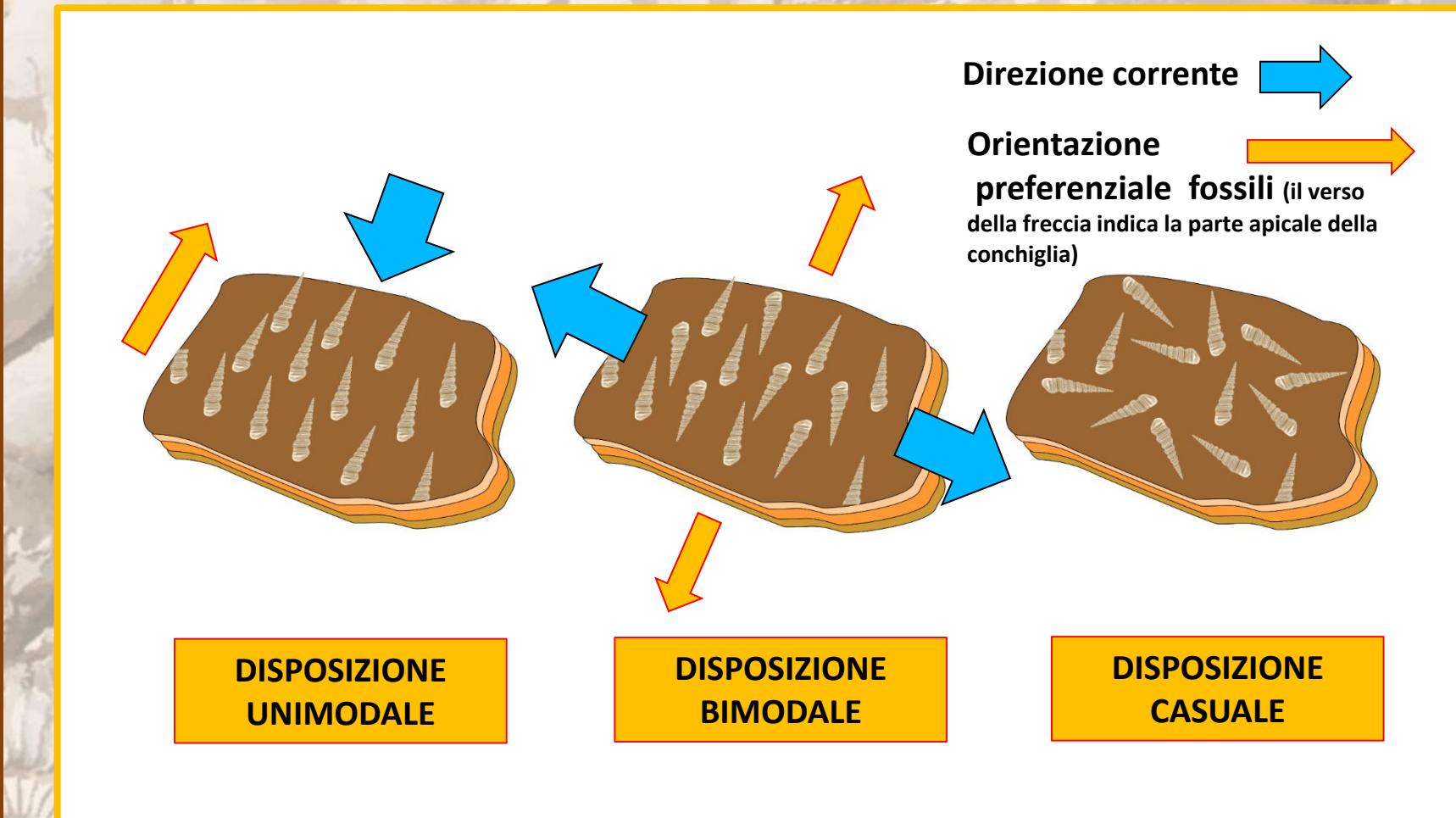
Crinoidi articolati

Se invece lo scheletro rimane per un **lungo tempo esposto** prima di essere ricoperto dal sedimento in genere va incontro alla **disarticolazione**, processo accelerato da **agenti fisici** (es. correnti sul fondale marino) e **biologici** (azione di organismi necrofagi).



Dall'analisi della **disposizione geometrica** dei fossili sulla superficie di strato e dentro il **sedimento** possiamo ricavare informazioni importanti sul **trasporto**, sulle **correnti** e su altri **fattori fisici** che hanno agito sul fondale marino

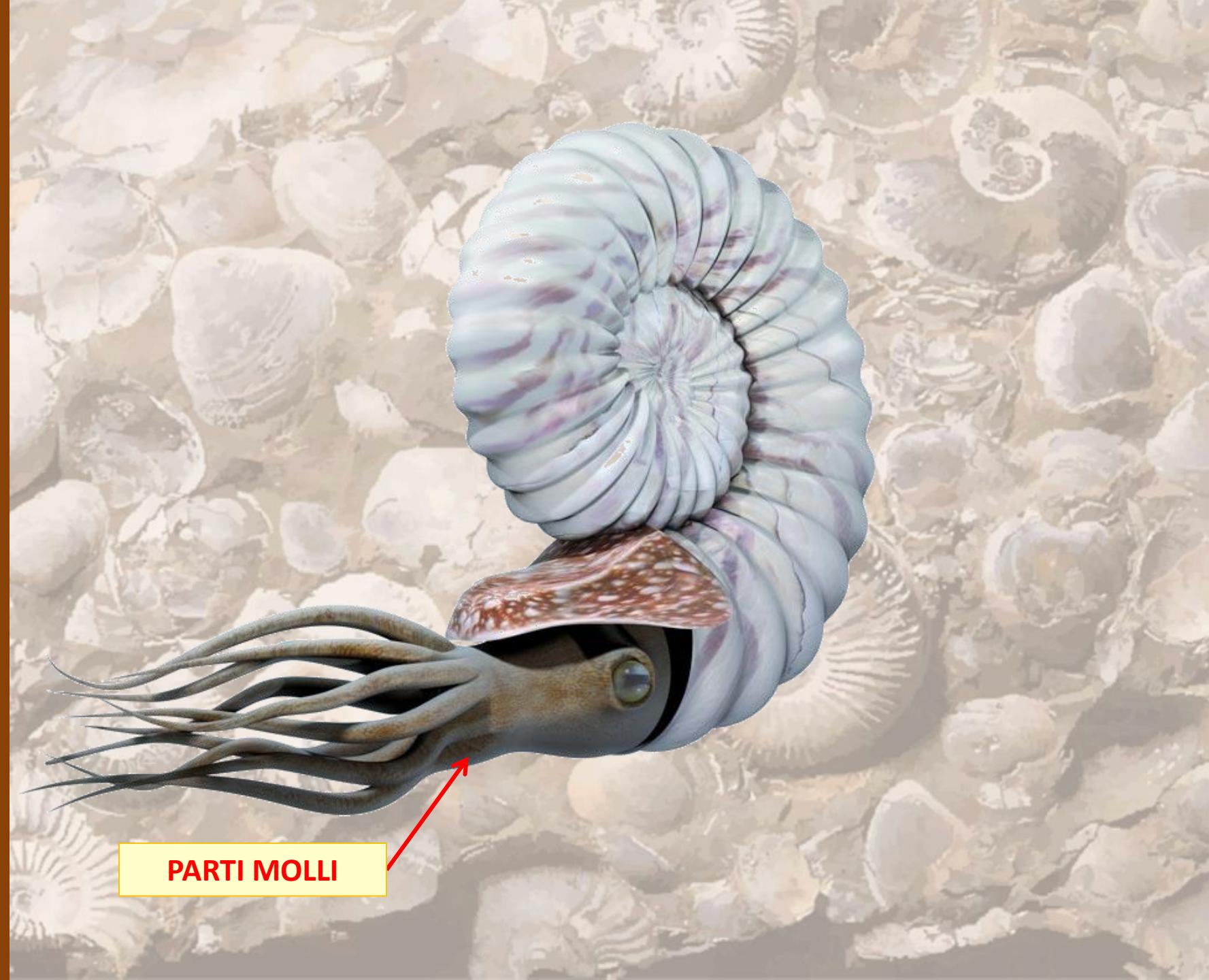
I fossili sulla superficie di uno strato possono avere:



PARTI MOLLI

Carboidrati, proteine, grassi, acqua (carbonio, ossigeno idrogeno, azoto, solfo).

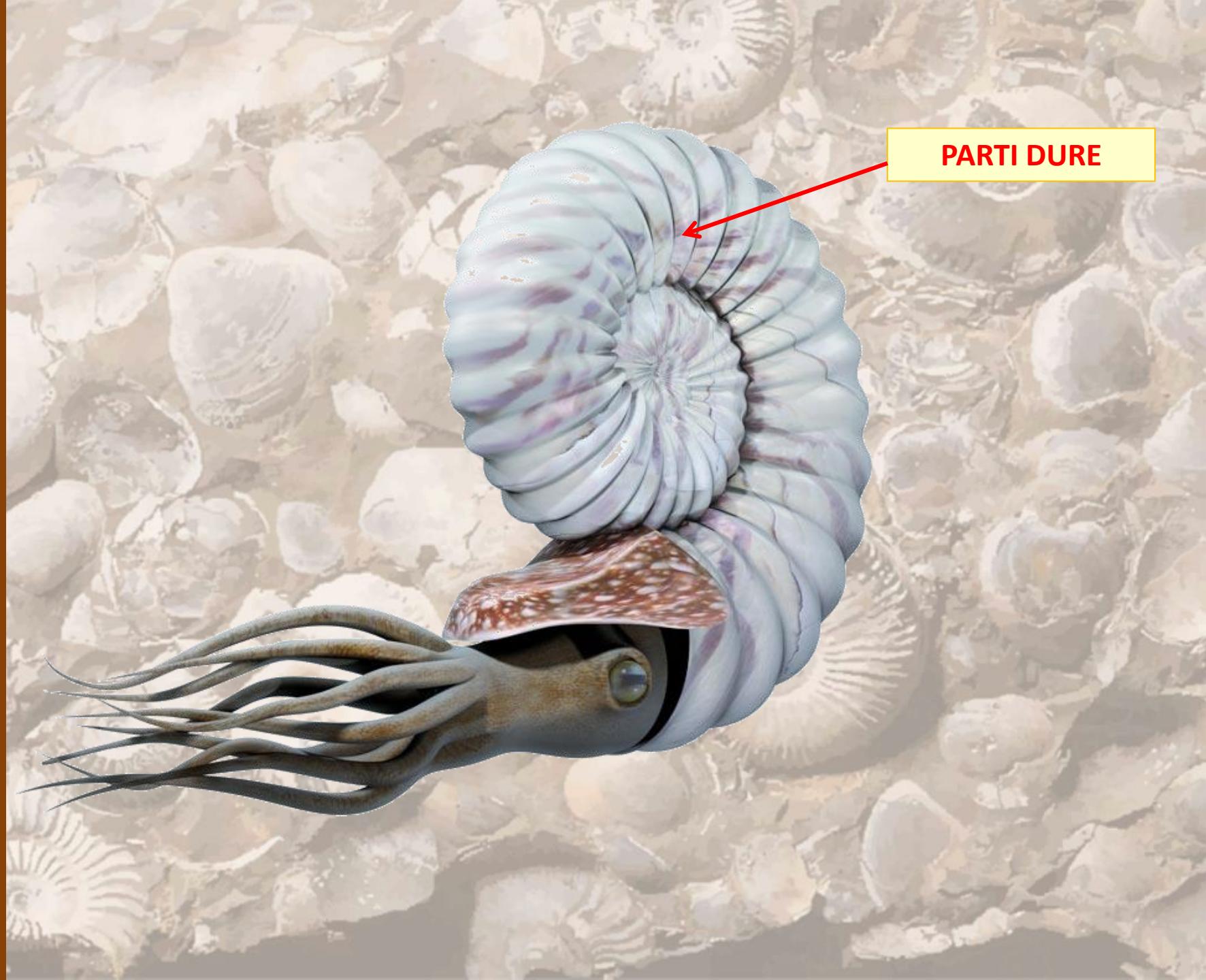
In genere sono soggette a **rapida decomposizione** dopo la morte dell'organismo e solo in casi molto rari fossilizzano.



PARTI MOLLI

PARTI DURE

Parti più resistenti che in genere costituiscono le strutture scheletriche degli organismi. Non si decompongono facilmente e **hanno maggiori probabilità di fossilizzarsi**



LA FOSSILIZZAZIONE E' UN PROCESSO SELETTIVO

In genere di un organismo si conservano fossili solo le “**parti dure**” sia mineralizzate (ossa, gusci), sia non mineralizzate (chitina, lignina,ecc.).

Le “**parti molli**” (carboidrati, proteine, acqua) subito dopo la morte sono soggette a rapida decomposizione e raramente fossilizzano)

Conservazione di parti dure: quanto si può conservare dipende dal tipo di organismo. Alcuni organismi solo eccezionalmente fossilizzano perché non hanno parti dure



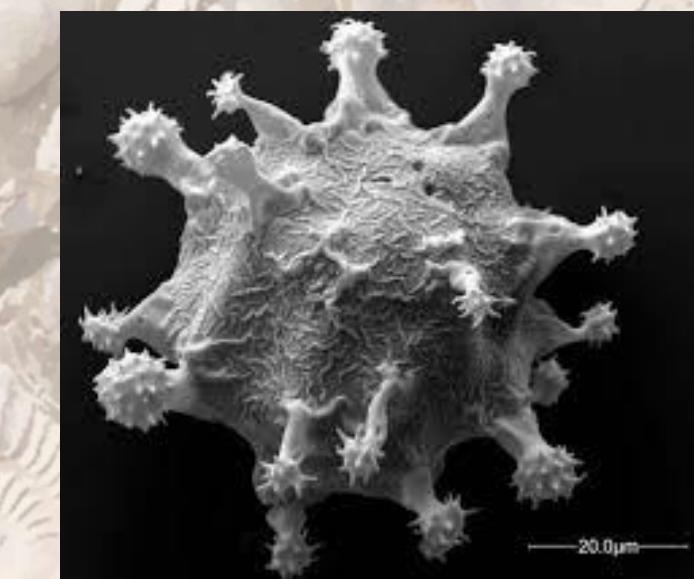
PARTI DURE

Le parti dure possono essere rappresentate da sostanze organiche **non mineralizzate** o da parti già in origine **mineralizzate**



PARTI DURE NON MINERALIZZATE

Chitina
Cellulosa
Collagene
Cheratina
Conchiolina



Chitina $(C_8H_{13}NO_5)_n$

E' un **polisaccaride azotato** presente in vari gruppi di organismi animali.

Può trovarsi associata a **Calcite** o a **Fosfato di calcio**.

E' uno dei principali componenti dell'esoscheletro di molti

Artropodi (Crostacei,

Insetti); tra questi

probabilmente anche gli estinti **Trilobiti** avevano scheletro parzialmente chitinoso.



E' presente insieme al fosfato di calcio nei **Brachiopodi** chitinofosfatici (**Lingulata**). Si trova anche negli Anellidi, Briozoi, Cinidaria e Foraminiferi.

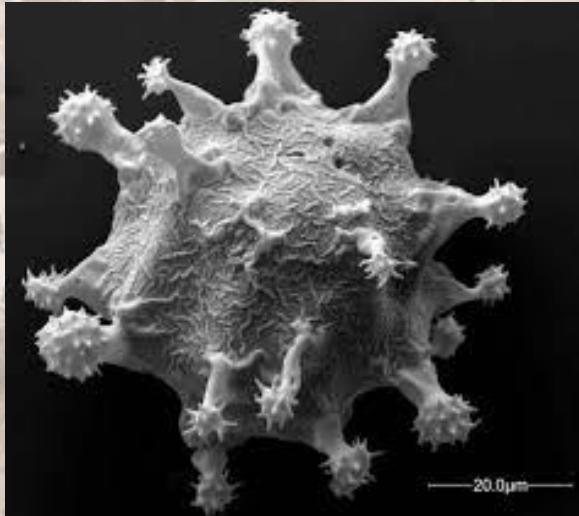
Cellulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$

E' un **polisaccaride** formato da un **numero elevato di molecole di glucosio**. E' largamente diffusa nei **vegetali**.

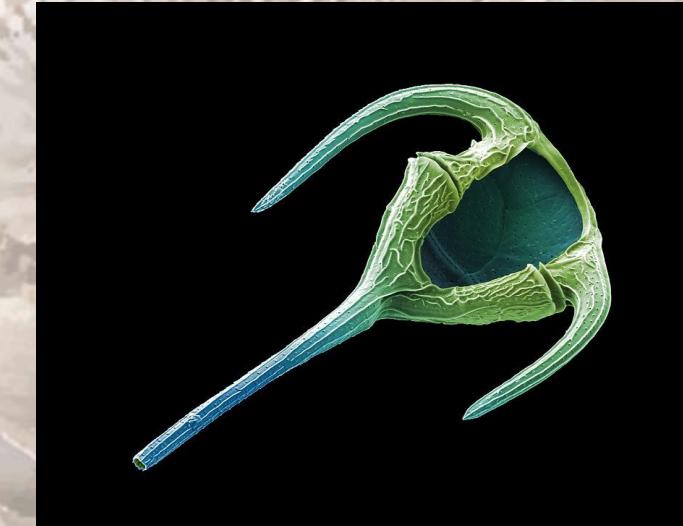
Si trova anche in alcuni gruppi di Monere (Procarioti), **Acritarchi** (microfossili a parete organica) e **Dinoflagellati** (alghe protiste acquatiche). E' molto rara negli organismi animali.



Piante



Acritarco



Dinoflagellato

Collagene

E' una **proteina fibrosa** ed è il principale componente del **tessuto connettivo degli animali**.

E' il principale componente dei **Chitinozoi** e dei **Graptoliti** (Emicordati) ed è diffuso nei **Cordati** e negli **Anellidi**.

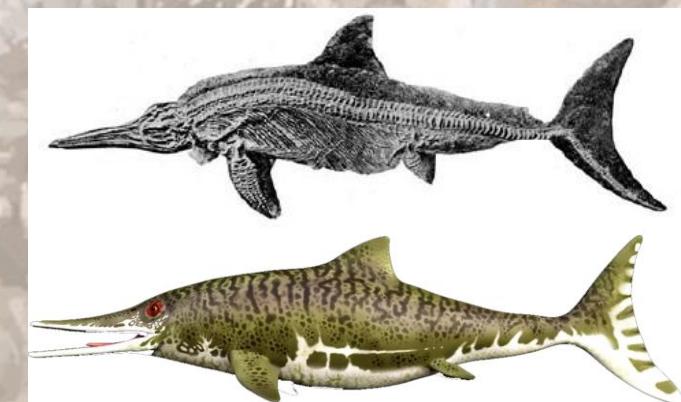
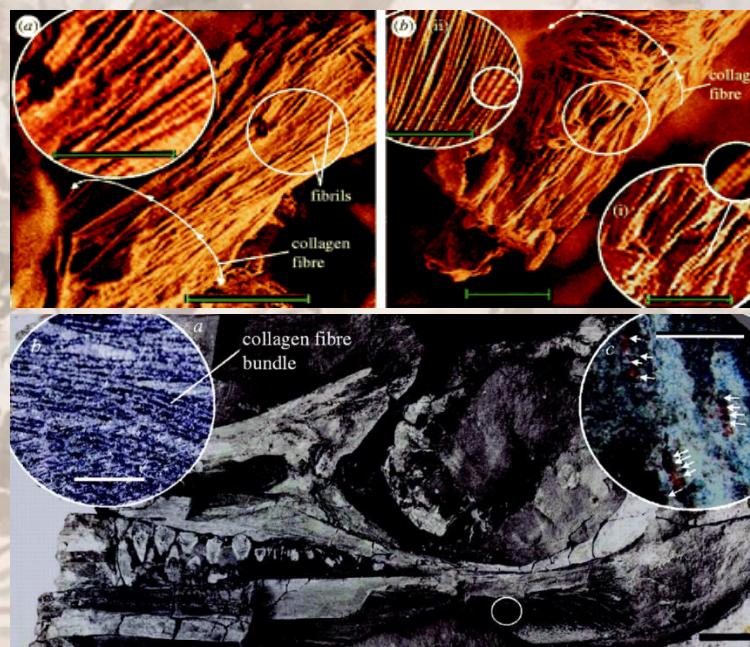
Assente nel mondo vegetale.



Chitinozoo



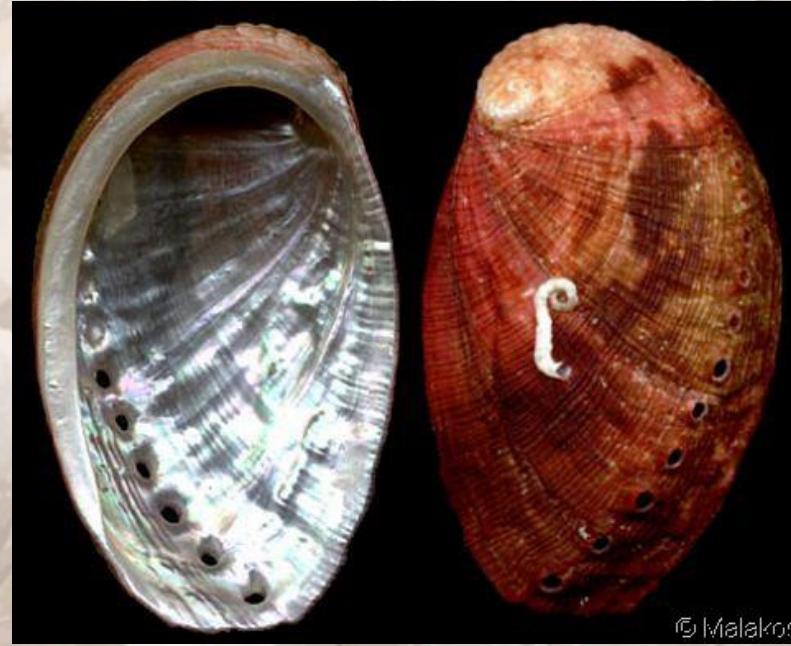
Graptoliti



Conservazione di collagene in un Ittiosauro

Conchiolina

Proteine complesse secrete dai **Molluschi**, è presente nei gusci insieme al carbonato di calcio.



Conchiglia di *Haliotis* (Gasteropode) con strato madreperlaceo di conchiolina sulla parete interna

Proteina filamentosa ricca di **zolfo** secreta dai

Vertebrati.

Principale componente dello **strato corneo** della pelle, unghie, pelo, corna e piume.



Uccello fossile con piume

Fossilizzazione della materia organica

I principali processi che portano alla conservazione della materia organica sono la **mummificazione**, la **carbonificazione** e la **permineralizzazione**. Le più comuni permineralizzazioni sono in **carbonati**, in **silice**, in **pirite** e in **ghiaccio**.

- Mummificazione
- Carbonificazione
- Permineralizzazione
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ *Silice*
 - ✓ *Pirite*
 - ✓ *Ghiaccio*

Fossilizzazione della materia organica

Mummificazione

La mummificazione è un processo in cui un organismo morto subisce una **massiccia e repentina disidratazione**. Processo conservativo valido per **alcune migliaia di anni**, poi l'ossidazione procede e distrugge ogni tipo di mummia.

- **Mummificazione**
- Carbonificazione
- Permineralizzazione
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ *Silice*
 - ✓ *Pirite*
 - ✓ *Ghiaccio*

Fossilizzazione della materia organica

Mummificazione

In natura le mummie si formano:

- 1- **in ambienti aridi** sia caldi che freddi
- 2- meglio se **ventilati** (ventilazione favorisce la disidratazione)
- 3- **bui** (assenza di luce tiene lontani organismi necrofagi)



Deserti facile formazione di mummie ma conservazione nel tempo problematica. La sabbia è molto porosa e pertanto, da una parte assorbe i liquidi della carcassa, dall'altra permette una maggiore penetrazione dell'ossigeno che può ossidare la sostanza organica. Negli **ambienti freddi** viene impedita la putrefazione.

Fossilizzazione della materia organica

Mummificazione

Varie mummie sono note allo stato fossile, ma spesso ad una **mummificazione iniziale** si aggiunge un processo di **carbonificazione** o **permineralizzazione** che ne garantisce la conservazione.



Brachylophosaurus canadensis

Dinosauro ornitopode.
Cretaceo Superiore, Nord America

Fossilizzazione della materia organica Carbonificazione

La carbonificazione si forma in **ambienti anaerobici** dove la **fermentazione batterica** porta alla **eliminazione per distillazione** nella sostanza organica di **idrogeno, ossigeno, azoto** producendo così una **progressiva concentrazione del carbonio**.

- Mummificazione
- **Carbonificazione**
- Permineralizzazione
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ *Silice*
 - ✓ *Pirite*
 - ✓ *Ghiaccio*

Dai **carboidrati** deriva il **carbone fossile (carbonificazione)**.

Dalle **proteine** e dai **grassi** derivano gli **idrocarburi** liquidi e gassosi (**bitumizzazione**).

Fossilizzazione della materia organica Carbonificazione

La carbonificazione è un processo comune nelle **pianete** che porta a una **progressiva concentrazione del carbonio**:

- Legno 5%
- Torba 54%
- Lignite 60-78%
- Carbone 80%
- Antracite 93%
- Grafite 100%



Foresta pietrificata in lignite. Ungheria

Fossilizzazione della materia organica Carbonificazione

Con la progressiva perdita
del volume si origina
pertanto una sottile
pellicola carboniosa detta

ANTRACOLEIMMA

antraco = carbone

leimma = resto

in inglese: **carbonaceous film**

Negli antracoleimmi **non si conserva la struttura tridimensionale** originaria.



Fossilizzazione della materia organica

Carbonificazione

La carbonificazione può riguardare anche i **vertebrati**. Le parti molli, conservate sotto forma di antracoleimmi, possono essere le uniche parti che si ritrovano fossili o si possono trovare associate allo scheletro mineralizzato.



Stenopterygius quadriscissus

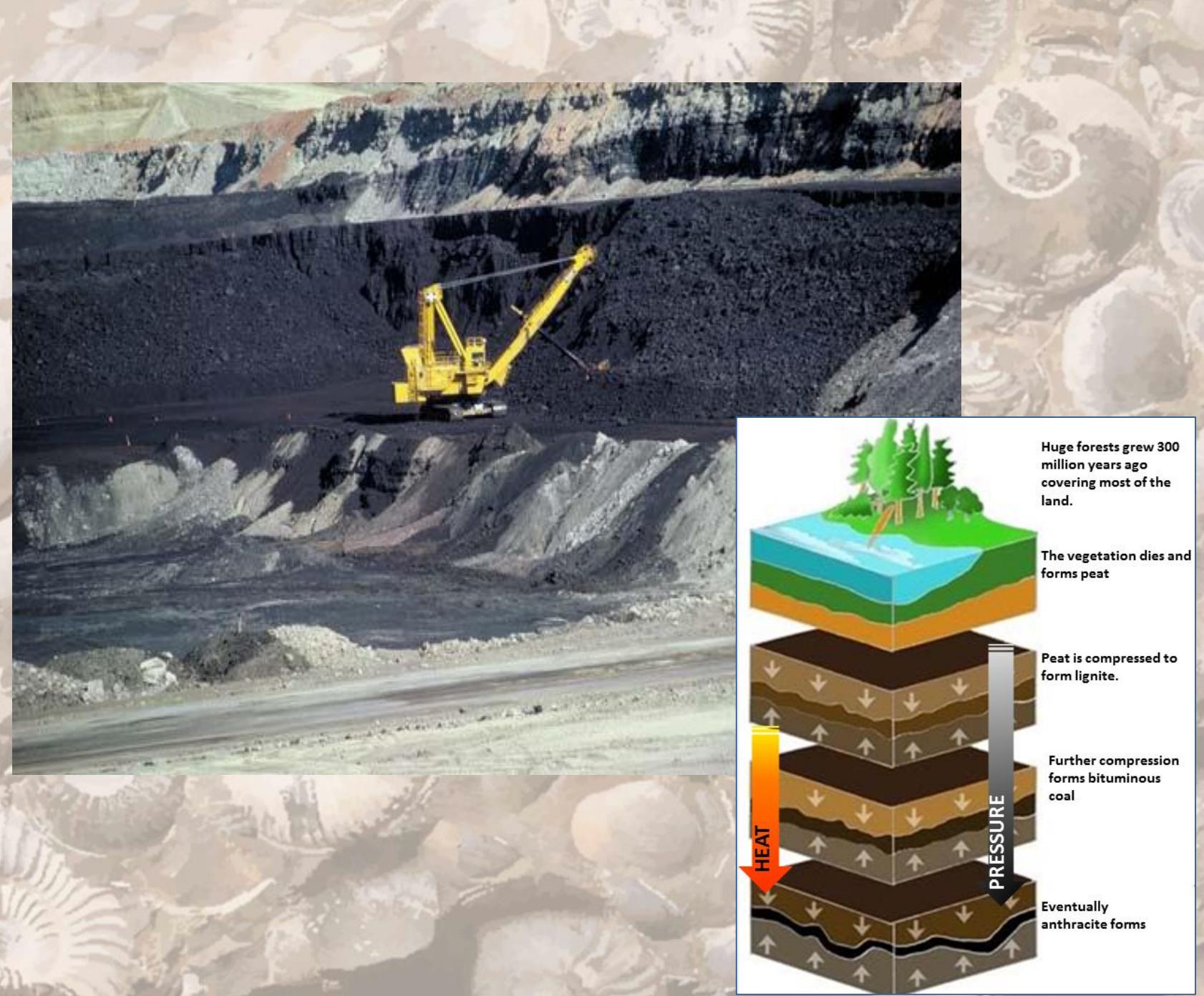
Ittosauro del Giurassico di Holzmaden, Germania.

Oltre allo scheletro intero e articolato è conservato per carbonificazione il profilo del corpo e in particolare la pinna dorsale e quella caudale

Tridentinosaurus antiquus
rettile lacertiforme del Permiano del Trentino con l'antracoleimma della pelle ben conservato



I grandi **giacimenti di carbone fossile** dell'Europa settentrionale (Germania, Inghilterra, Belgio, ecc.), sono il risultato del **seppellimento di intere foreste** ivi esistenti durante il **Carbonifero** che in seguito **alle fortissime pressioni**, e conseguente calore, generatosi durante le fasi di metamorfismo regionale hanno prodotto, in assenza d'ossigeno, queste ingenti masse di combustibile fossile.



Fossilizzazione della materia organica

Permineralizzazione

Permeazione cellulare

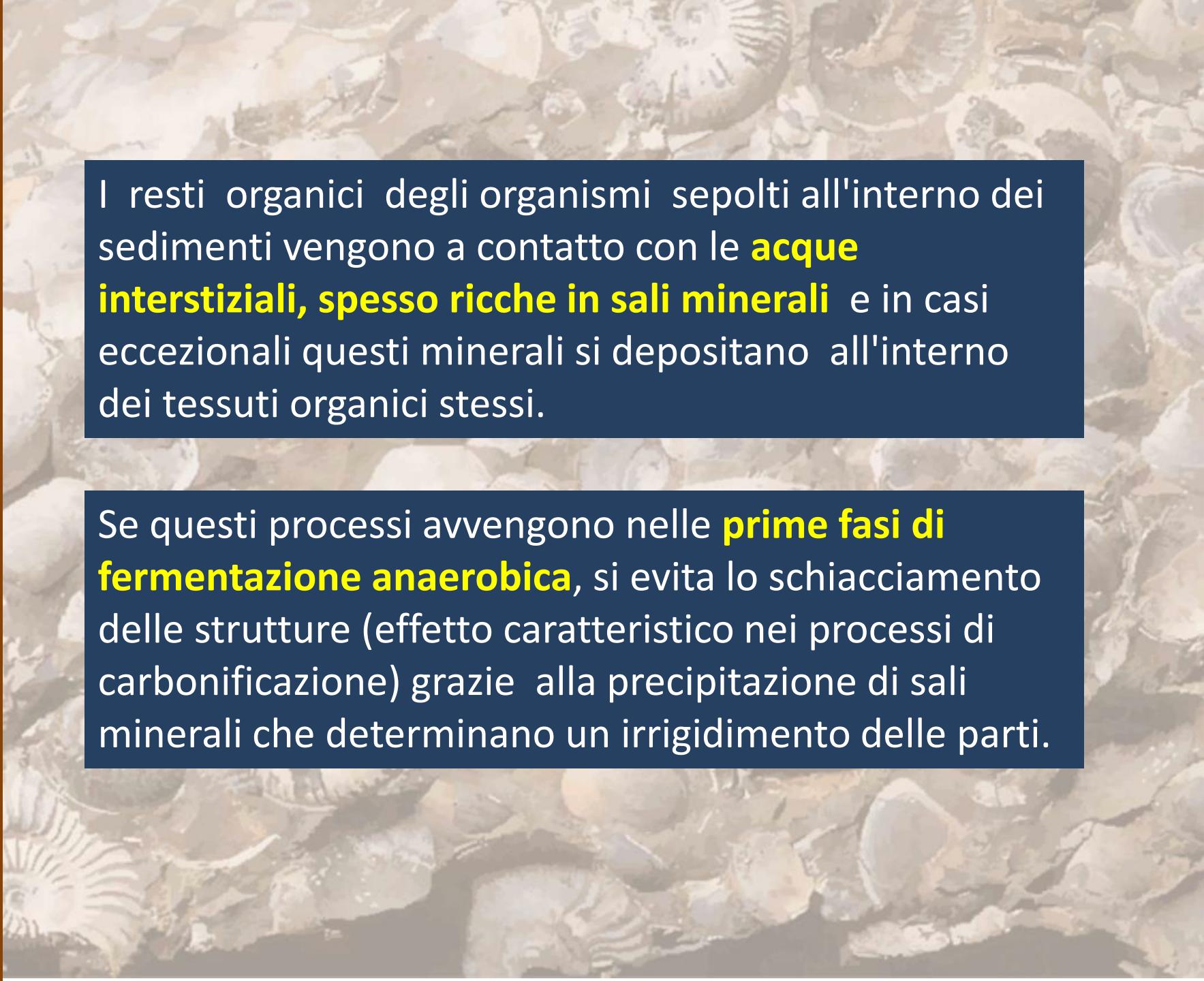
Il processo avviene per **permeazione** cioè per deposizione di **sali minerali** (es. carbonato di calcio, silice) nelle **cellule dei tessuti degli organismi**.

- Mummificazione
- Carbonificazione
- **Permineralizzazione**
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ *Silice*
 - ✓ *Pirite*
 - ✓ *Ghiaccio*

**Fossilizzazione della
materia organica**

**Permineralizzazione
Permeazione cellulare**

**Condizioni necessarie per la
permineralizzazione** sono che i resti degli organismi contenenti materia organica vengano sepolti in sedimenti con **acque interstiziali ricche in sali minerali** e che questi **sali si depositino rapidamente** nelle prime fasi della fermentazione anaerobica



I resti organici degli organismi sepolti all'interno dei sedimenti vengono a contatto con le **acque interstiziali, spesso ricche in sali minerali** e in casi eccezionali questi minerali si depositano all'interno dei tessuti organici stessi.

Se questi processi avvengono nelle **prime fasi di fermentazione anaerobica**, si evita lo schiacciamento delle strutture (effetto caratteristico nei processi di carbonificazione) grazie alla precipitazione di sali minerali che determinano un irrigidimento delle parti.

Fossilizzazione della materia organica **Permineralizzazione in carbonati**

Con questo processo si ha la precipitazione di carbonati nel tessuto organico degli organismi.

- Mummificazione
- Carbonificazione
- **Permineralizzazione**
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ *Silice*
 - ✓ *Pirite*
 - ✓ *Ghiaccio*

Fossilizzazione della materia organica Permineralizzazione in carbonati

La permineralizzazione in carbonati determina spesso la formazione di **noduli**. I fossili contenuti all'interno di queste concrezioni **mantengono la loro forma tridimensionale originaria**. La formazione dei noduli porta ad una precoce mineralizzazione e pertanto favorisce la **conservazione di materia organica**



Fossilizzazione della

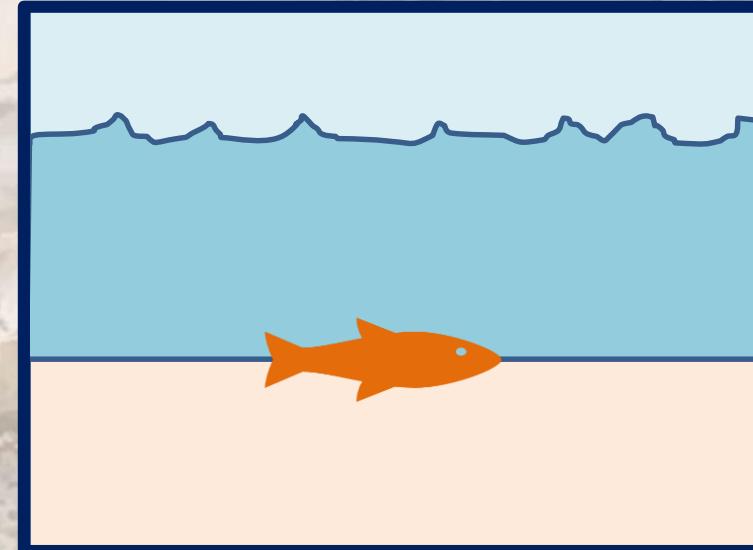
materia organica

Permineralizzazione

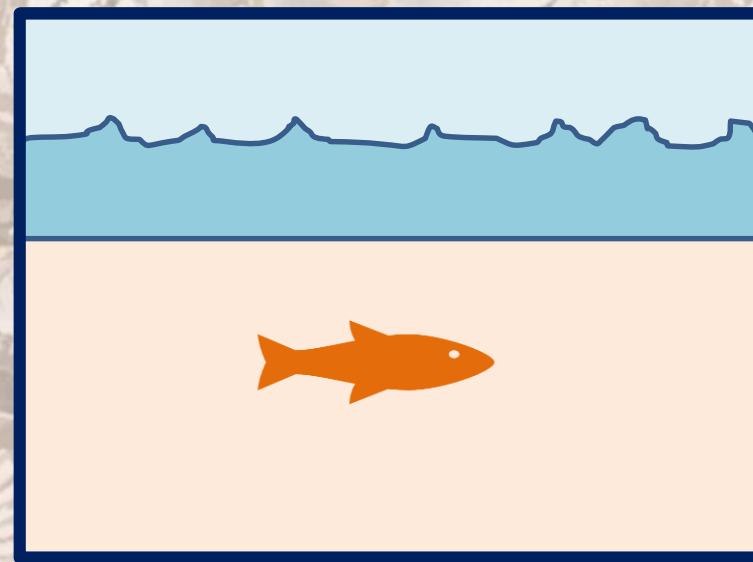
in carbonati

Genesi dei noduli

La prima condizione per la formazione di un fossile dentro un nодulo carbonatico è che l'organismo morto sia sepolto rapidamente dal sedimento.



1) Organismo muore e cade sul fondo



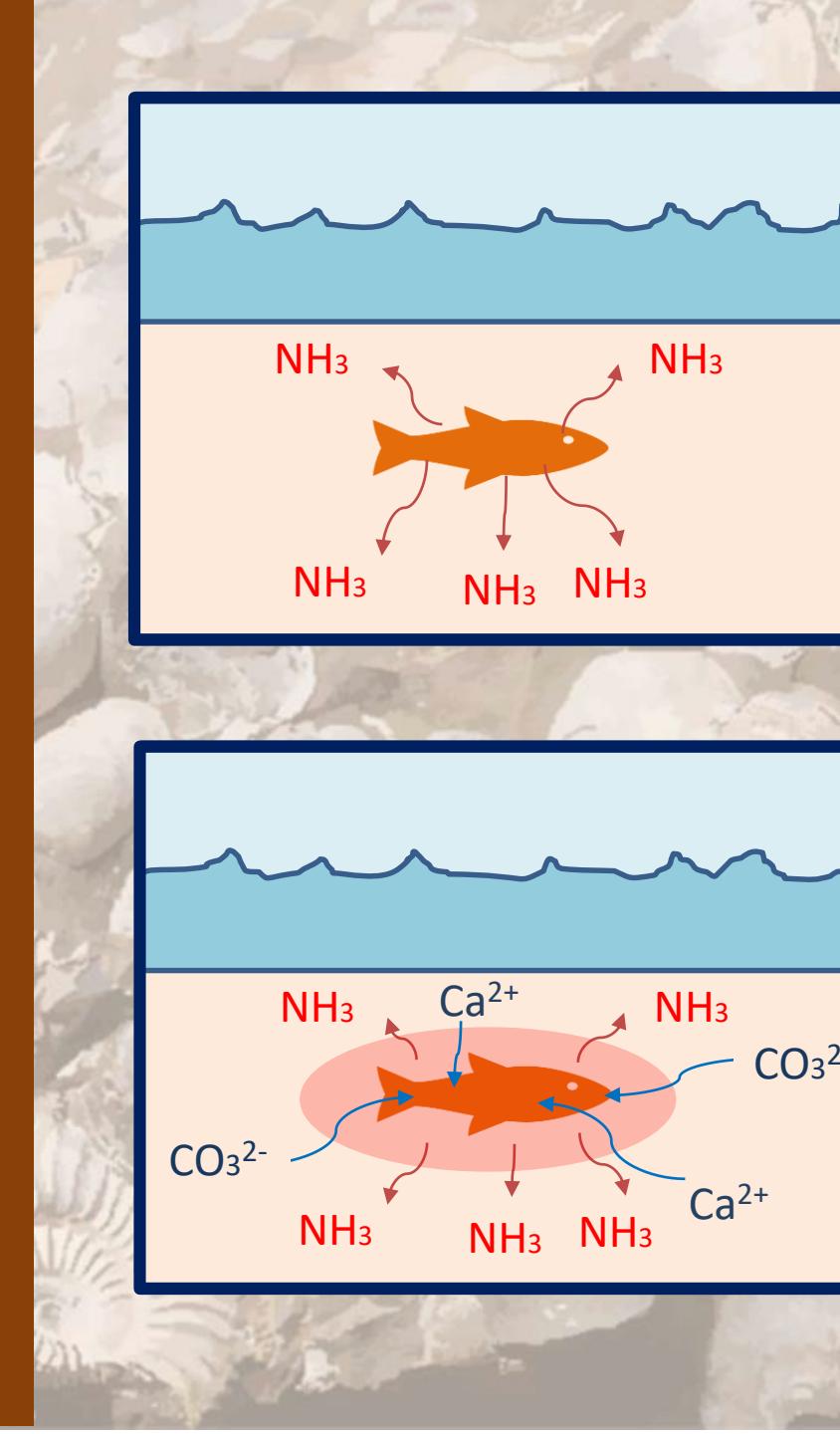
2) Rapido
seppellimento
organismo in
ambiente acquatico

Fossilizzazione della materia organica

Permineralizzazione in carbonati

Genesi dei noduli

Con la decomposizione del resto dell'organismo si genera un una forte **differenza di Ph** tra il corpo (fortemente basico) e l'ambiente circostante. Se l'acqua percolante nel sedimento contiene carbonato di calcio, questo viene attratto verso il corpo e precipita nei tessuti organici.



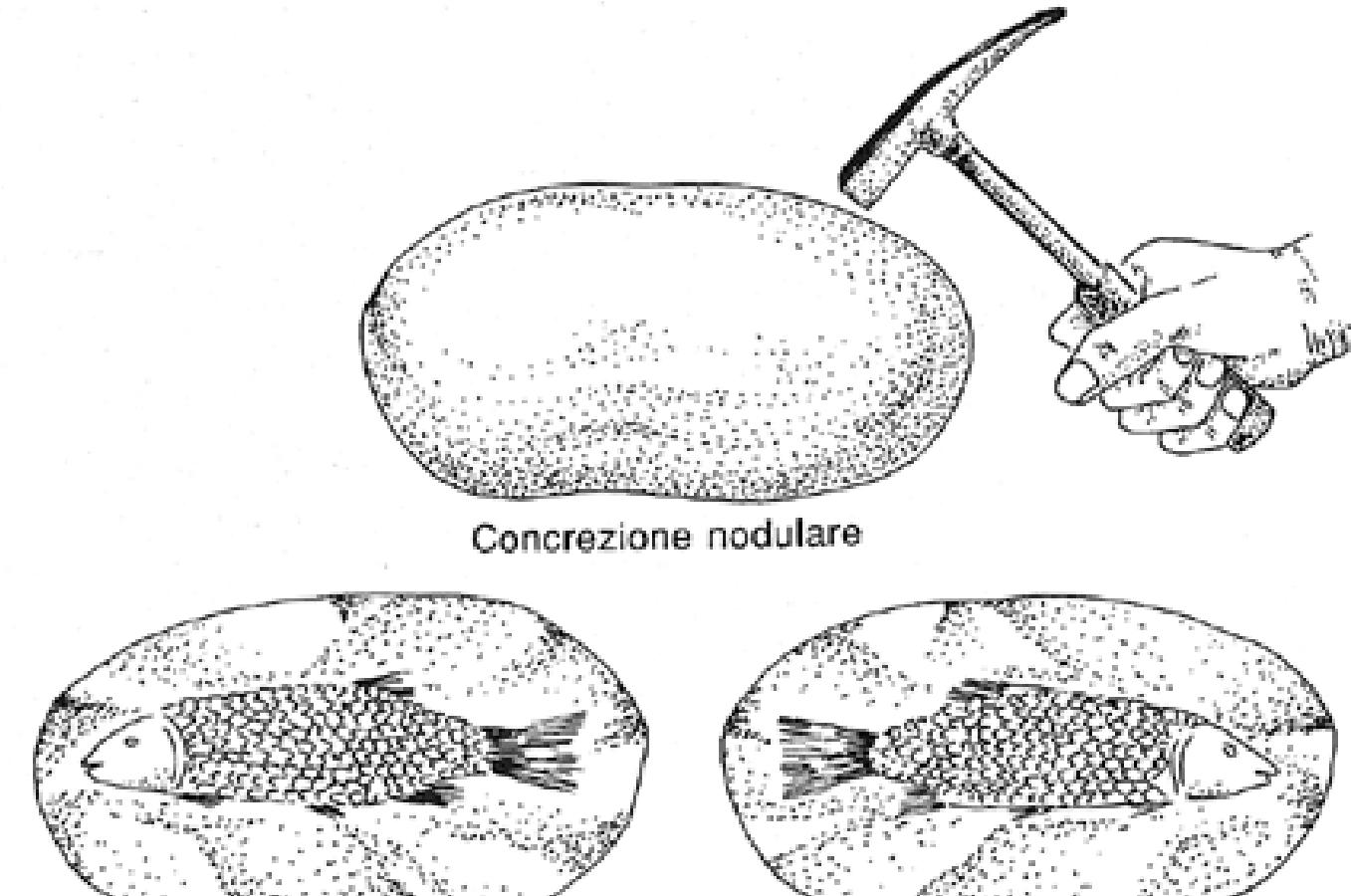
3) **decomposizione di proteine e ammine libera ammoniaca** che rende l'ambiente fortemente **alcalino (ph 8-8,5)**.

4) Si genera in questo modo una **differenza di Ph tra il corpo dell'organismo e l'ambiente circostante** e questo determina un **flusso di sali verso il fossile**. Se le acque che percolano all'interno dei sedimenti intorno al fossile contengono **carbonato di calcio**, questo venendosi a trovare in un ambiente basico, precipita. Precipitando il carbonato di calcio va a permeare i tessuti organici del fossile.

Fossilizzazione della materia organica Permineralizzazione in carbonati

Genesi dei noduli

La deposizione di carbonato di calcio rende il nodulo più resistente del sedimento circostante e **impedisce la compressione litostatica** e la deformazione del fossile contenuto al suo interno



Organismo permineralizzato

Impronta esterna

Fossilizzazione della materia organica

Permineralizzazione in silice

Questo processo interessa generalmente il **legno** dalla cui decomposizione si formano degli **acidi organici** che rendono acidule le acque percolanti nei sedimenti. Se queste acque contengono **silice**, l'ambiente acido ne favorisce la precipitazione sotto forma di gel (**opale**) all'interno dei canali legnosi.

- Mummificazione
- Carbonificazione
- **Permineralizzazione**
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ **Silice**
 - ✓ *Pirite*
 - ✓ *Ghiaccio*

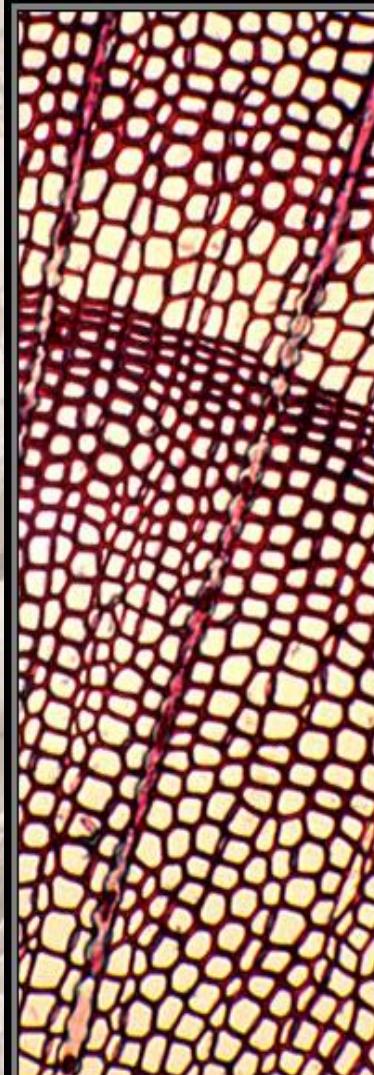
Con la diagenesi l'opale si trasforma in **quarzo** e forma i cosiddetti " **Legni silicizzati**"



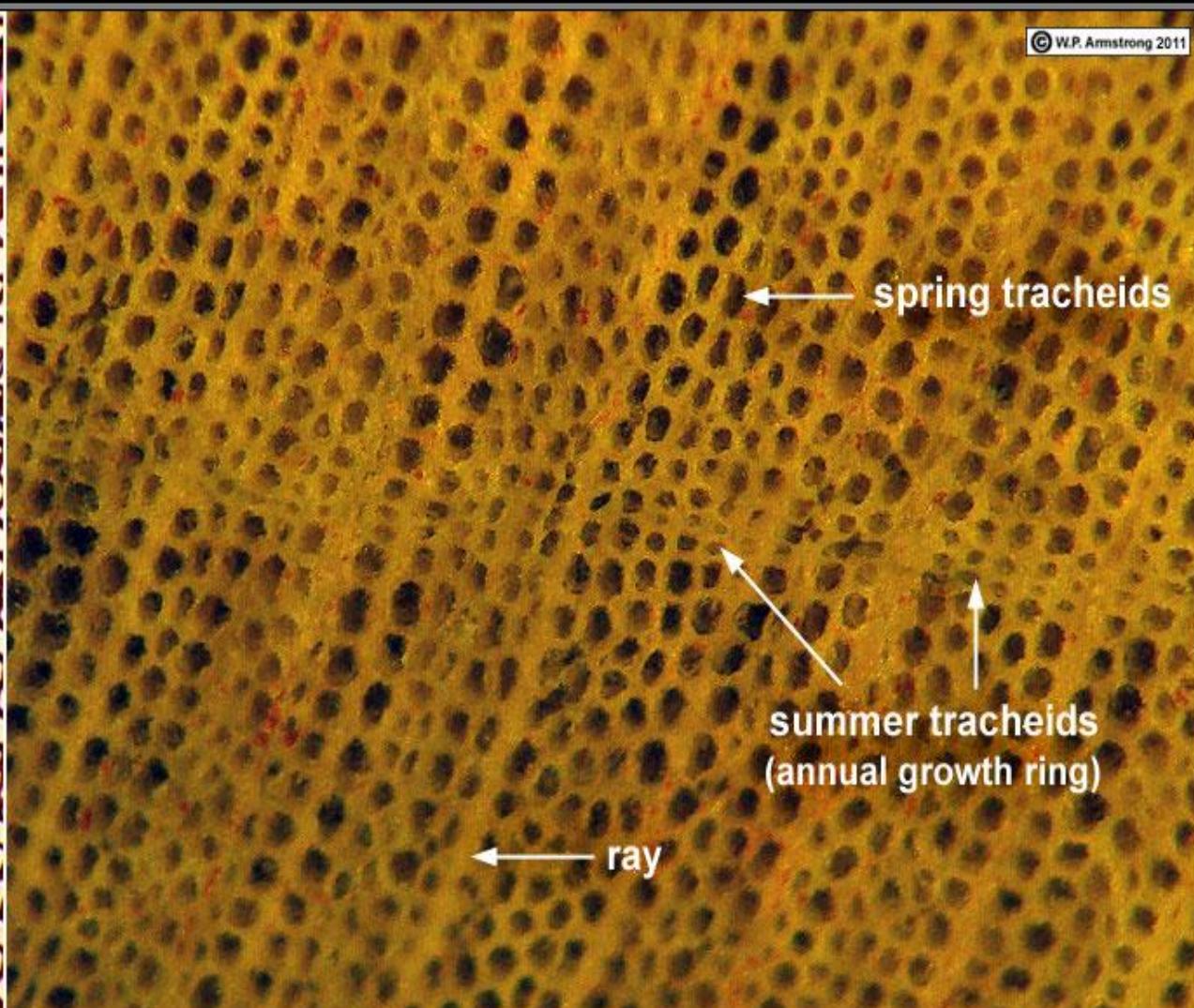
Fossilizzazione della materia organica

Permineralizzazione in silice

Questo tipo di fossilizzazione conserva la forma dei tessuti vegetali ed è pertanto possibile studiare al microscopio la struttura di questi tessuti come per le piante attuali.



Modern pine x.s.



Cross section of Triassic petrified wood fragment from Cameron, Arizona.

Fossilizzazione della materia organica

Permineralizzazione in Pirite

Processo che si forma in **ambienti anossici** per attività di batteri anaerobici che producono **acido solfidrico (H_2S)** per fermentazione della materia organica. L' H_2S si combina con i sali di ferro presenti nelle acque percolanti formando **pirite (FeS_2)** che si deposita all'interno dei tessuti organici.

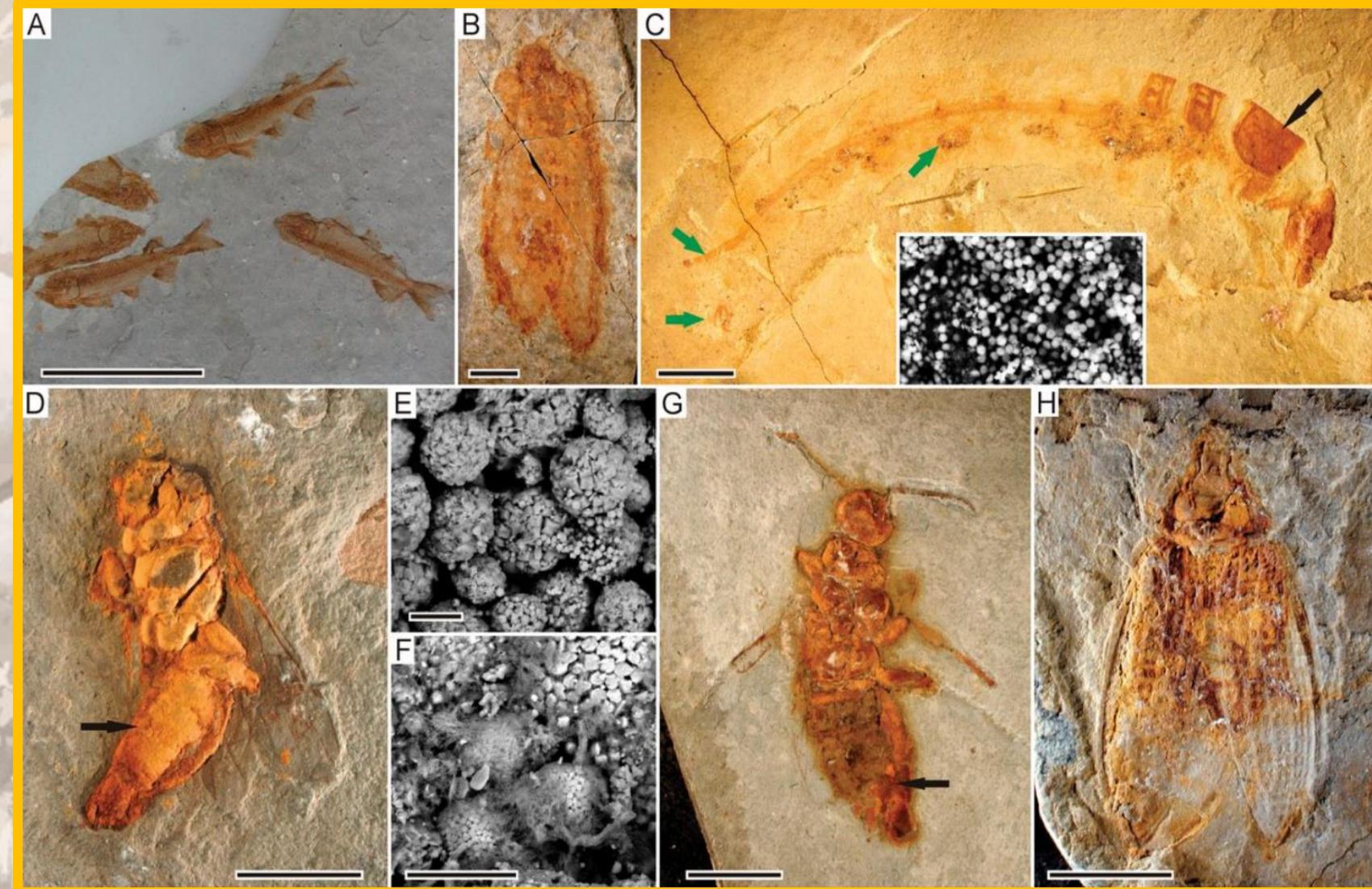
- Mummificazione
- Carbonificazione
- **Permineralizzazione**
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ *Silice*
 - ✓ **Pirite**
 - ✓ *Ghiaccio*

Fossilizzazione della materia organica

Permineralizzazione in Pirite

La pirite può produrre parziali permineralizzazioni di tessuti organici e si trova spesso associata ad **antracoleimmi**.

Molto spesso i fossili in pirite vengono poi a trovarsi in ambienti ossidanti che portano all'alterazione della pirite a **ossidi di ferro**, un processo che in genere porta alla distruzione del fossile.



Fossilizzazione della materia organica

Ghiaccio

Crioconservazione

In questo caso è il **ghiaccio** (**H₂O**) a depositarsi all'interno dei tessuti organici. Reperti conservati in questo modo si ritrovano nei depositi alluvionali congelati risalenti all'ultima glaciazione.

- Mummificazione
- Carbonificazione
- **Permineralizzazione**
 - ✓ *Carbonati*
 - ✓ *Silice*
 - ✓ *Pirite*
 - ✓ **Ghiaccio**

Fossilizzazione della materia organica

Ghiaccio Crioconservazione

I fossili più famosi conservati in questo modo sono i **Mammut** (elefanti lanosi) rinvenuti nei ghiacci siberiani. La modalità di seppellimento è particolare in quanto dovuta al fatto che gli animali *rimanevano intrappolati in alluvioni fini e venivano conservati prima dall'acqua gelida e poi dal ghiaccio*

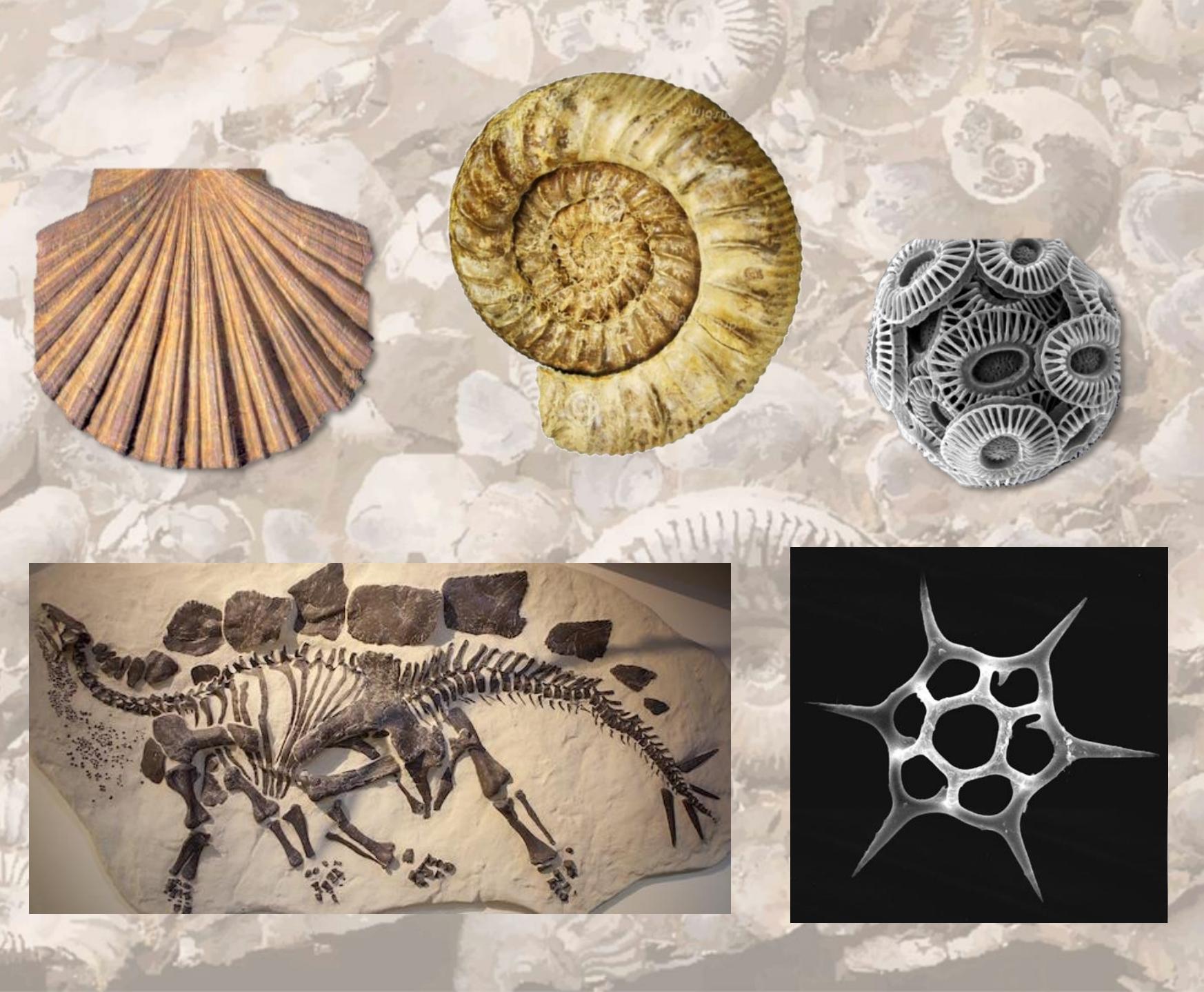
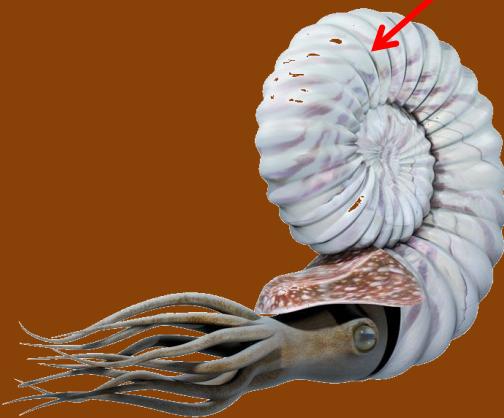


Si stima l'esistenza di **molte migliaia di mammut**, pari ad oltre **mezzo milione di tonnellate di zanne d'avorio**.

PARTI DURE MINERALIZZATE

Carbonato di calcio
Fosfato di calcio
Silice

PARTI
DURE

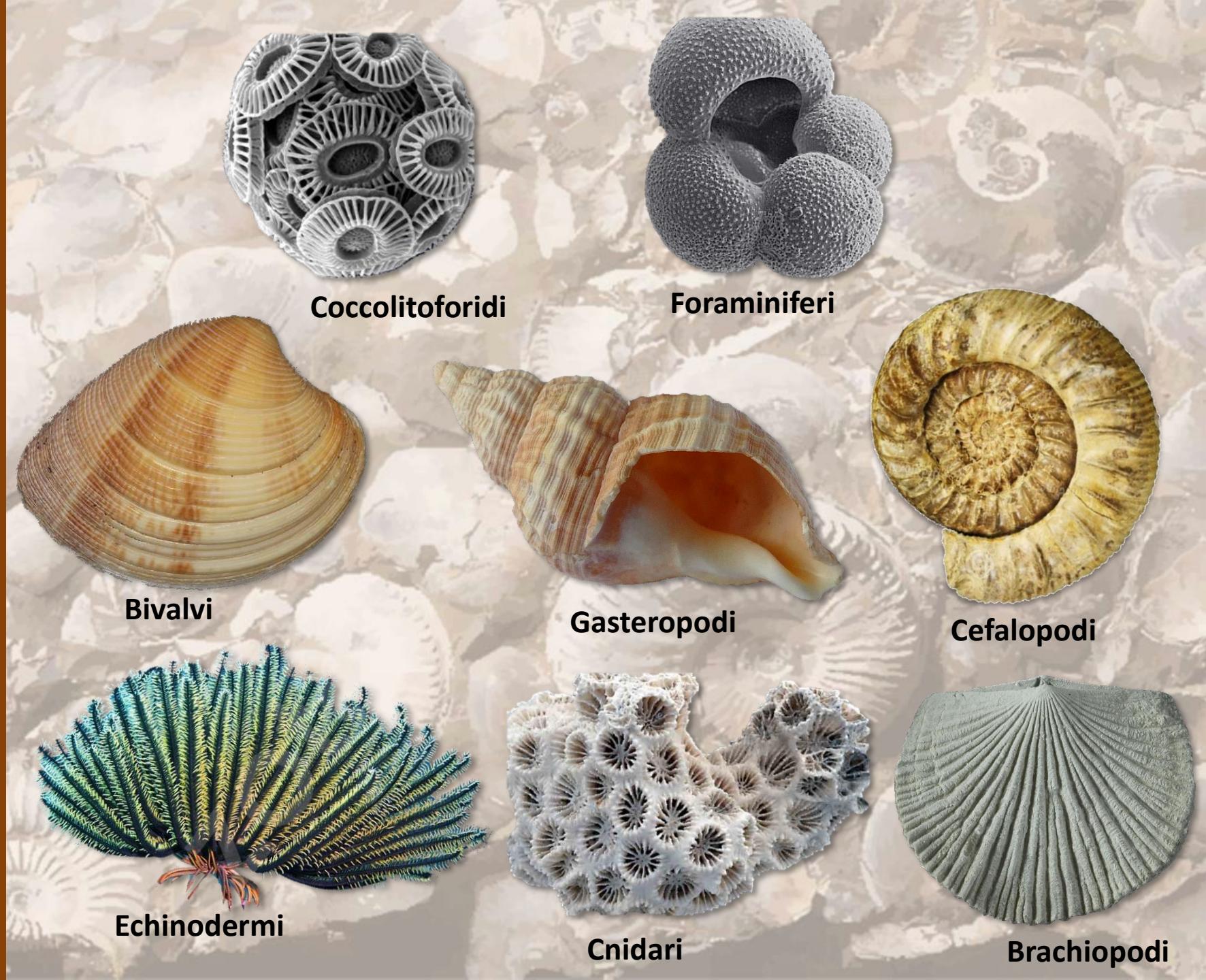


Carbonato di calcio

CaCO_3

E' il minerale più frequente negli scheletri degli organismi ed è presente con tre diverse forme mineralogiche (**Calcite**, **Aragonite**, **Vaterite**).

Lo si ritrova molto frequente nei **Protisti** (**Coccolitoforidi**, **Foraminiferi**), nei **Vegetali** e soprattutto nella maggior parte dei phyla **Animali** (es. **Molluschi**, **Echinodermi**, **Cnidari**, **Brachiopodi**).



Fosfato di calcio

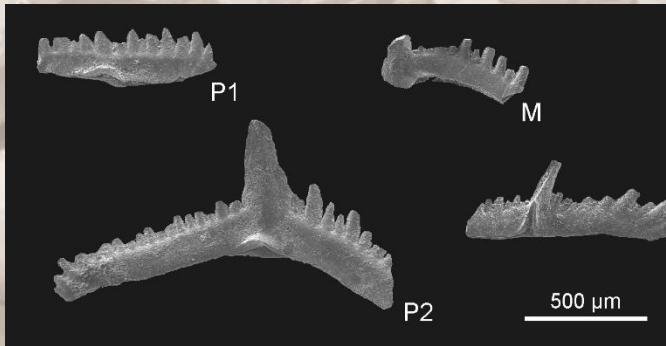
$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$

Si presenta nelle parti mineralizzate degli organismi principalmente sotto forma di **idrossiapatite** (minerale del gruppo delle apatiti che contiene un gruppo **OH**).

Costituisce le parti mineralizzate delle ossa e dei denti dei **Vertebrati** e dei **Conodonti**



Scheletro vertebrato (stegosauro)



Conodonti



Brachiopode *Lingula*



Trilobite

Raro negli invertebrati attuali, risulta presente in alcuni gruppi fossili associato a **chitina**, come i **Lingulata (Brachiopodi)** e forse i **Trilobiti** (Artropodi). Assente nelle Piante e molto raro tra i Protisti.

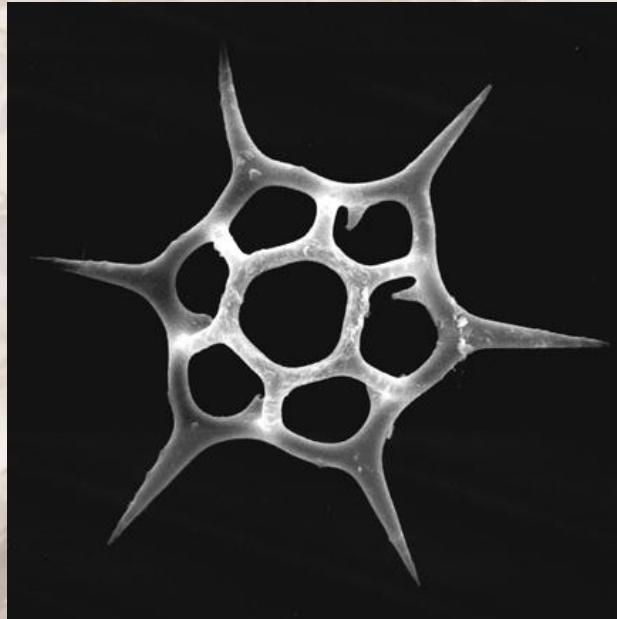
Silice SiO_2

Il **biossido di silicio**, è frequente in natura in diverse forme cristalline (**quarzo**) e in forma amorfa (**opale**).

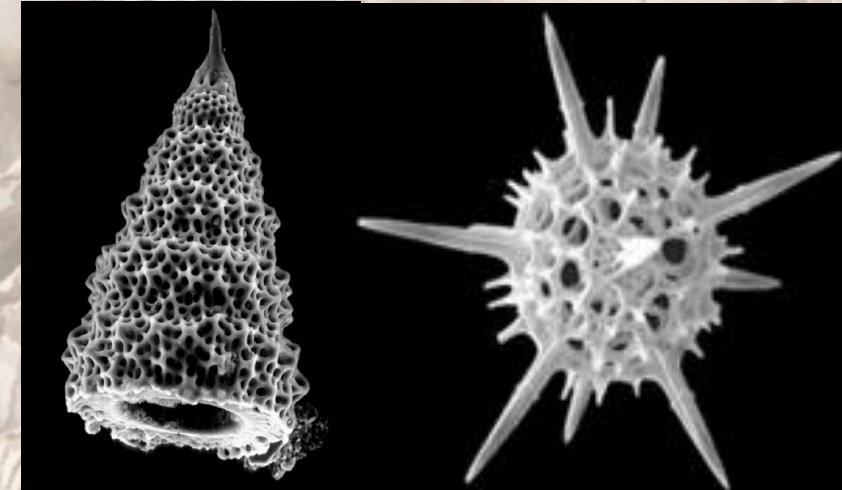
Relativamente raro negli organismi, forma scheletri in genere sottili.

Presente nei gusci di alcuni **Protisti** (es. **Silicoflagellati**, **Diatomee**, **Radiolari**).

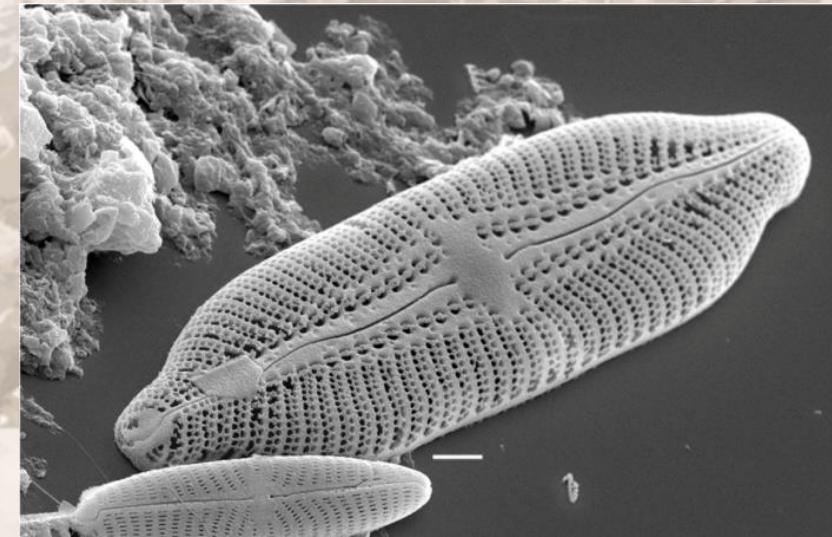
Poco frequente tra i Vegetali mentre tra gli Animali è importante solo nei **Poriferi** (Spugne).



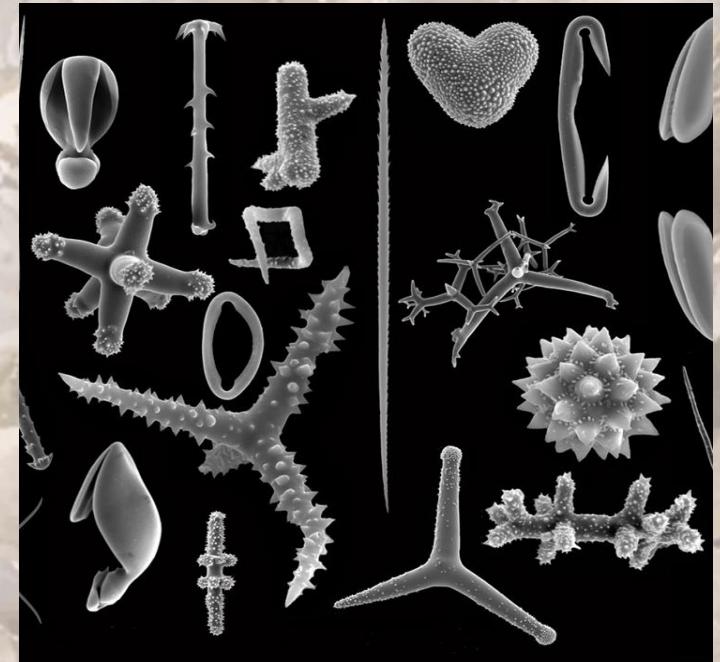
Silicoflagellati



Radiolari



Diatomee



Poriferi

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

La conservazione delle parti degli organismi già mineralizzate in origine può avvenire: 1) per riempimento delle microcavità dello scheletro da parte di minerali di neoformazione; 2) quando i minerali dello scheletro vengono sostituiti da altri o ricristallizzano; 3) nel caso di totale dissoluzione, se lo scheletro o la sua cavità viene riempito da sedimento e si conserva come modello o impronta.

- Mineralizzazione
 - ✓ *Impregnazione*
 - ✓ *Sostituzione*
 - Calcitizzazione
 - Dolomitizzazione
 - Silicizzazione
 - Piritizzazione
 - Fosfatizzazione
- Neoformismo e ricristallizzazione
- Dolomitizzazione
- Modello interno e impronta interna
- Pseudoguscio
- Modello composito
- Riempimento a drusa

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Mineralizzazione

E' il **principale processo di fossilizzazione**.

Le modalità con cui si attua tale processo (diversificate a seconda dei vari ambienti diagenetici) sono:

Impregnazione

Sostituzione

■ **Mineralizzazione**

✓ ***Impregnazione***

✓ ***Sostituzione***

- Calcitizzazione
- Dolomitizzazione
- Silicizzazione
- Piritizzazione
- Fosfatizzazione

■ Neoformismo e ricristallizzazione

■ Dolomitizzazione

■ Modello interno e impronta interna

■ Pseudoguscio

■ Modello composito

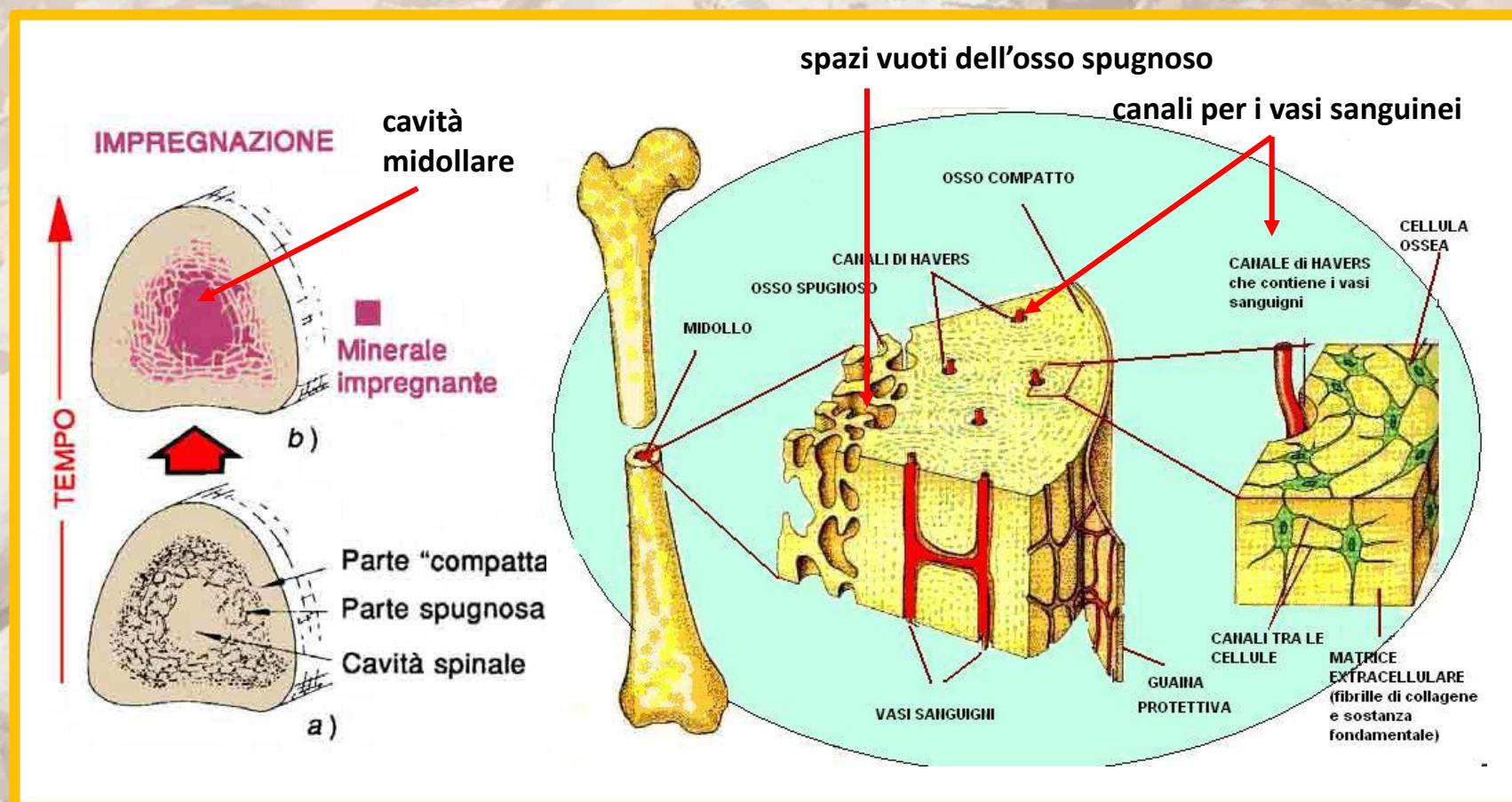
■ Riempimento a drusa

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Mineralizzazione Impregnazione nelle ossa

Il minerale impregnante, spesso diverso da quello delle ossa, riempie le cavità all'interno delle ossa:

- gli **spazi vuoti dell'osso spugnoso**
- i **canali per i vasi sanguinei** (canali di Havers) dell'osso compatto
- l'ampia **cavità midollare** delle ossa lunghe (in questo caso si potrebbe parlare di riempimento più che di impregnazione)



L'impregnazione rende le ossa **più resistenti e più pesanti**.

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Mineralizzazione Impregnazione

I fossili per impregnazione sono **più resistenti, pesanti e compatti** rispetto ai resti originari mineralizzati degli organismi (es. ossa, conchiglie, ecc.).

L'impregnazione impedisce la circolazione di fluidi all'interno dello scheletro e pertanto **limita la dissoluzione diagenetica**.

Il tipo di minerale che si depone **dipende dai sali contenuti nelle acque percolanti e può essere diverso da quello delle parti dure dell'organismo**



Osso attuale in sezione: le cavità sono vuote



Osso fossile in sezione: le cavità sono riempite da minerali

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Mineralizzazione Sostituzione Piritizzazione

Avviene in condizioni **anaerobiche** (prive di ossigeno) e quindi ambienti riducenti dove la fermentazione delle parti molli determina la liberazione di **acido solfidrico (H_2S)** che si combina con i sali di ferro presenti nelle acque percolanti formando la **pirite (FeS_2)**.



In genere interessa solo lo **strato superficiale** (è un processo a limite con l'incrostazione), mentre il resto dello scheletro si presenta con una diversa mineralizzazione che dipende dalla sua natura originaria. Raramente avviene la sostituzione completa dello scheletro con la pirite.

Ambienti adatti al processo di piritizzazione, sono i **sedimenti pelitici ricchi di materia organica, anossici, con sviluppo di idrogeno solforato e abbondanza di sulfuri**.

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Mineralizzazione
Sostituzione
Silicizzazione

Si verifica in ambienti **acidi**, in acque **soprassature** **rispetto al quarzo** in cui la silice può precipitare lungo i sottili film di dissoluzione della calcite o di altri minerali.

La silice può derivare da dissoluzione di scheletri di **radiolari** o **diatomee** o di **spicule di spugne**.



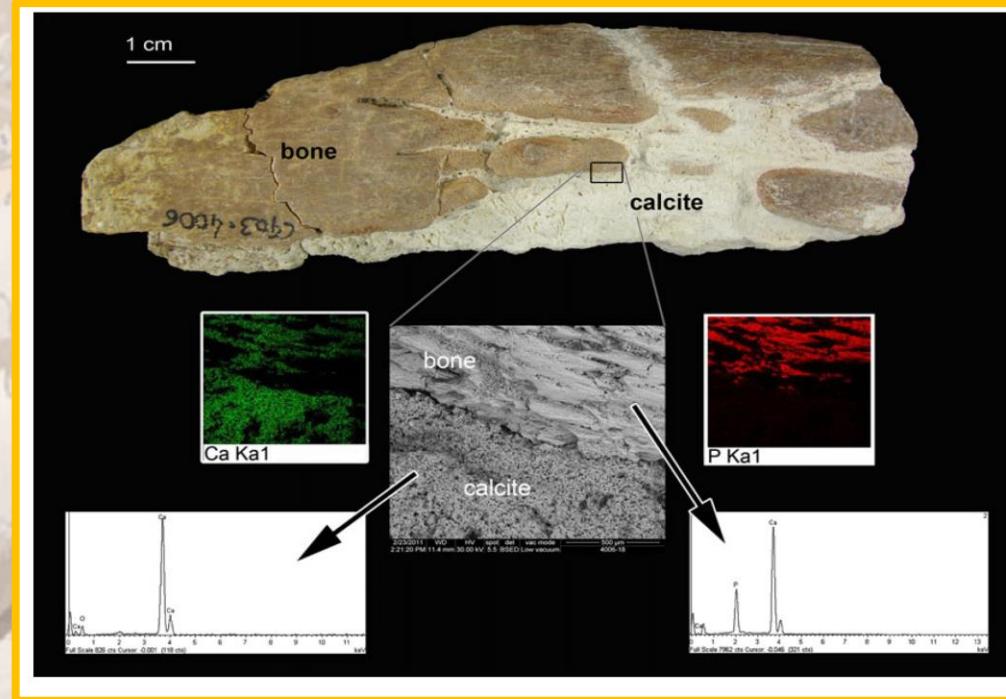
Rostro di Belemnite in opale
(silice idrata)

The Arkenstone, www.iRocks.com

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Mineralizzazione Sostituzione Calcitizzazione

La calcitizzazione si osserva quando **fossilizzano in calcite parti scheletriche originariamente formate da altri minerali** come ad esempio in silice (spicole di spugne) o in rari casi in fosfato di calcio (ossa vertebrati).



Osso fossile con parziale sostituzione del fosfato di calcio in carbonato di calcio

Pesquero, M.D. & Fernandez-Jalvo Y.
2014
DOI: 10.1111/let.12079.

Molti scheletri di organismi (molluschi, echinodermi, ecc.) sono **originariamente già formati da carbonato di calcio**. Se, fossilizzando, mantengono la stessa composizione, non si può parlare di sostituzione in calcite. In questi casi si possono invece verificare processi di impregnazione (con riempimento di altra calcite nelle microcavità), di neoformismo (da aragonite a calcite), o di ricristallizzazione.

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Mineralizzazione

Sostituzione

Fosfatizzazione

E' un processo relativamente frequente nei depositi bioclastici fosforitici caratterizzati da **forti concentrazioni di ossa di vertebrati** (bone beds). In questi depositi si trovano conservati in **fosfato di calcio** $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, oltre alle ossa di vertebrati (in questo caso non si può parlare di sostituzione), anche **conchiglie di invertebrati** che in origine erano formate da altri minerali (es. carbonato di cacio).

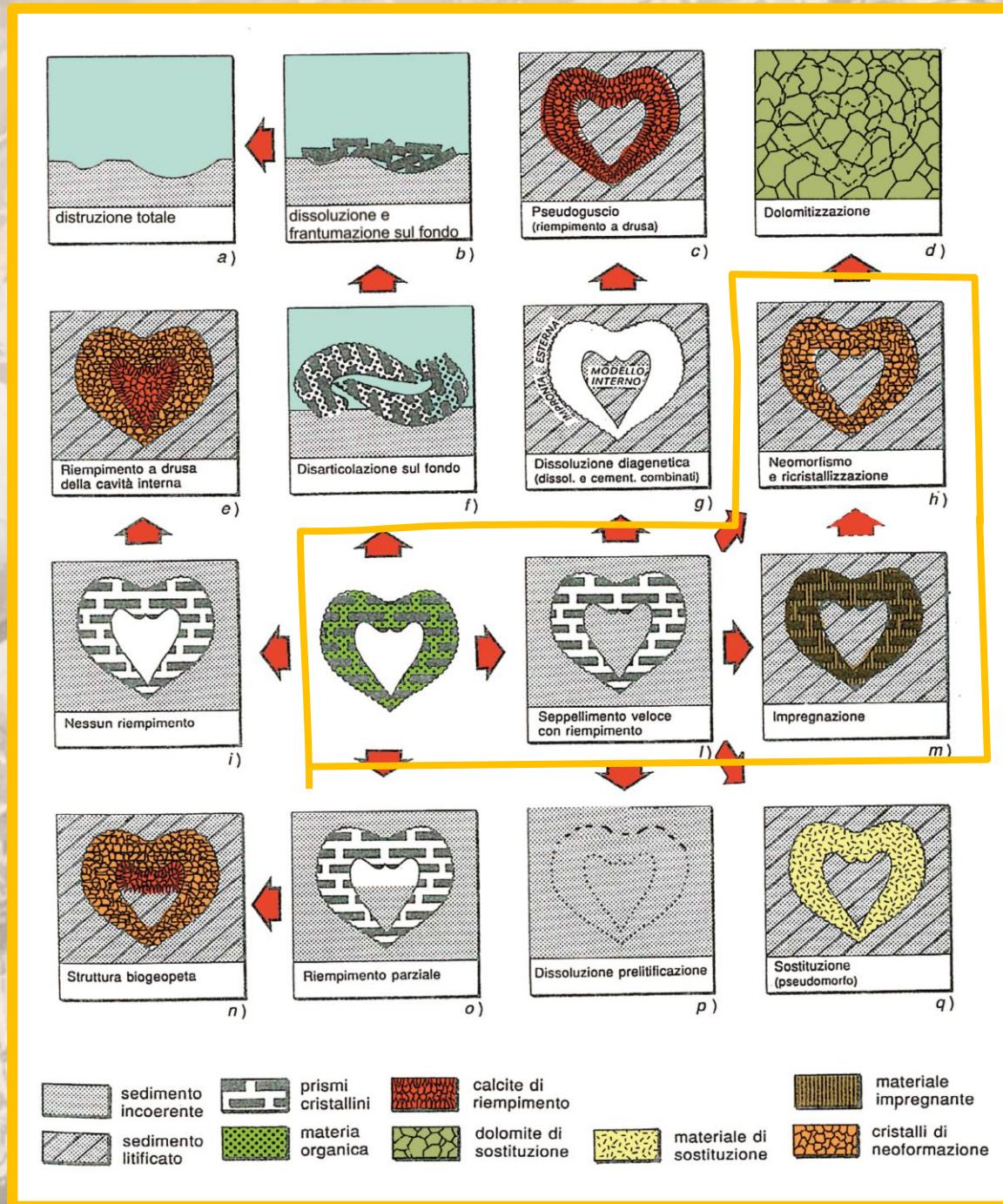


Spesso, come in questo caso, della conchiglia si conserva solo il riempimento (modello interno) fosfatizzato

Fossilizzazione delle parti mineralizzate Neomorfismo e ricristallizzazione

Le trasformazioni neomorfiche avvengono quando i minerali originari che formano lo scheletro **si trasformano in loro polimorfi** (stessa composizione chimica ma diversa struttura cristallina).

Se avvengono in **condizioni normali di temperatura e pressione** la struttura dello scheletro viene preservata (**neomorfismo**).



Se, con **l'aumento di temperatura e pressione** vi è un consistente aumento o, più raramente, diminuzione delle dimensioni dei cristalli (**ricristallizzazione**), la microstruttura dello scheletro viene completamente distrutta.

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

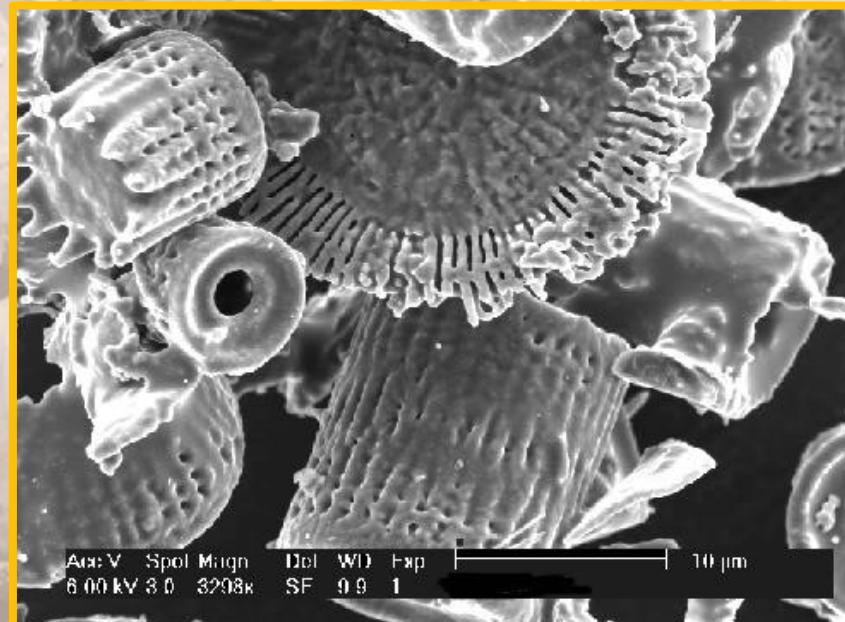
Neomorfismo e ricristallizzazione

Molti organismi presentano uno scheletro di **aragonite**, una forma metastabile di CaCO_3 che in condizioni normali di temperatura e pressione si trasforma in **calcite**.

Alcuni organismi (diatomee, radiolari) presentano uno scheletro in silice amorfa (**opale**) che quando fossilizzano si trasformano in **quarzo** microcristallino

Neomorfismo
Aragonite-Calcite

Neomorfismo
Opale-Quarzo



Scheletri silicei di diatomee attuali e fossili

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Dolomitizzazione

E' un processo che si forma in condizioni di **seppellimento** (aumento di temperatura e pressione) in presenza di **fluidi ricchi in Mg²⁺**. Porta alla trasformazione della calcite in dolomite. Si tratta di un **fenomeno secondario che avviene durante la diogenesi** di solito distruttivo e, se è la mineralizzazione e molto spinta, si formano grossi cristalli che distruggono la struttura scheletrica originale



Conchiglia dolomitizzata con ricristallizzazione di Gasteropode
Marmi dei Monti Pisani

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Modello interno

Molto comune negli scheletri con **cavità interna** che, dopo la decomposizione delle parti moli, viene riempita dal sedimento che poi litifica durante la diagenesi. In molti casi la conchiglia viene distrutta per fenomeni di **dissoluzione** durante la diagenesi. Rimane pertanto solo il modello interno che può essere separato dal sedimento circostante dalla cavità lasciata dalla conchiglia.

Questa cavità può scomparire se il sedimento, non ancora del tutto litificato, ha subito un forte carico litostatico.

Cavità formata dalla dissoluzione della conchiglia

modello interno



Modello interno di conchiglia di Bivalve

Il modello interno fornisce informazioni più o meno importanti a seconda dei gruppi fossili.

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Modelli interni conchiglia gasteropodi

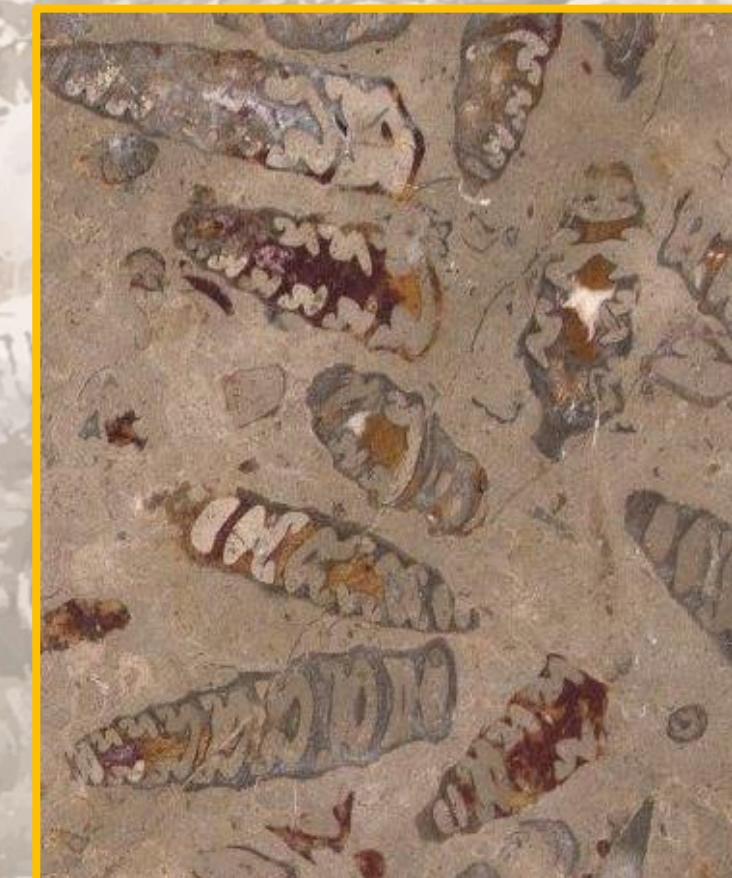
Il modello interno della conchiglia dei gasteropodi è in genere **poco informativo dal punto di vista diagnostico**.

Fanno eccezione le **Nerinee** che presentano una caratteristica ornamentazione interna ben visibile con le sezioni delle conchiglie e nei modelli interni.

Modelli interni di conchiglia di *Turritella* (Gasteropode)



Calcare a Nerinee (Gasteropode del Mesozoico) con modelli interni + conchiglia. La forma delle sezioni è diagnostica per riconoscere la specie

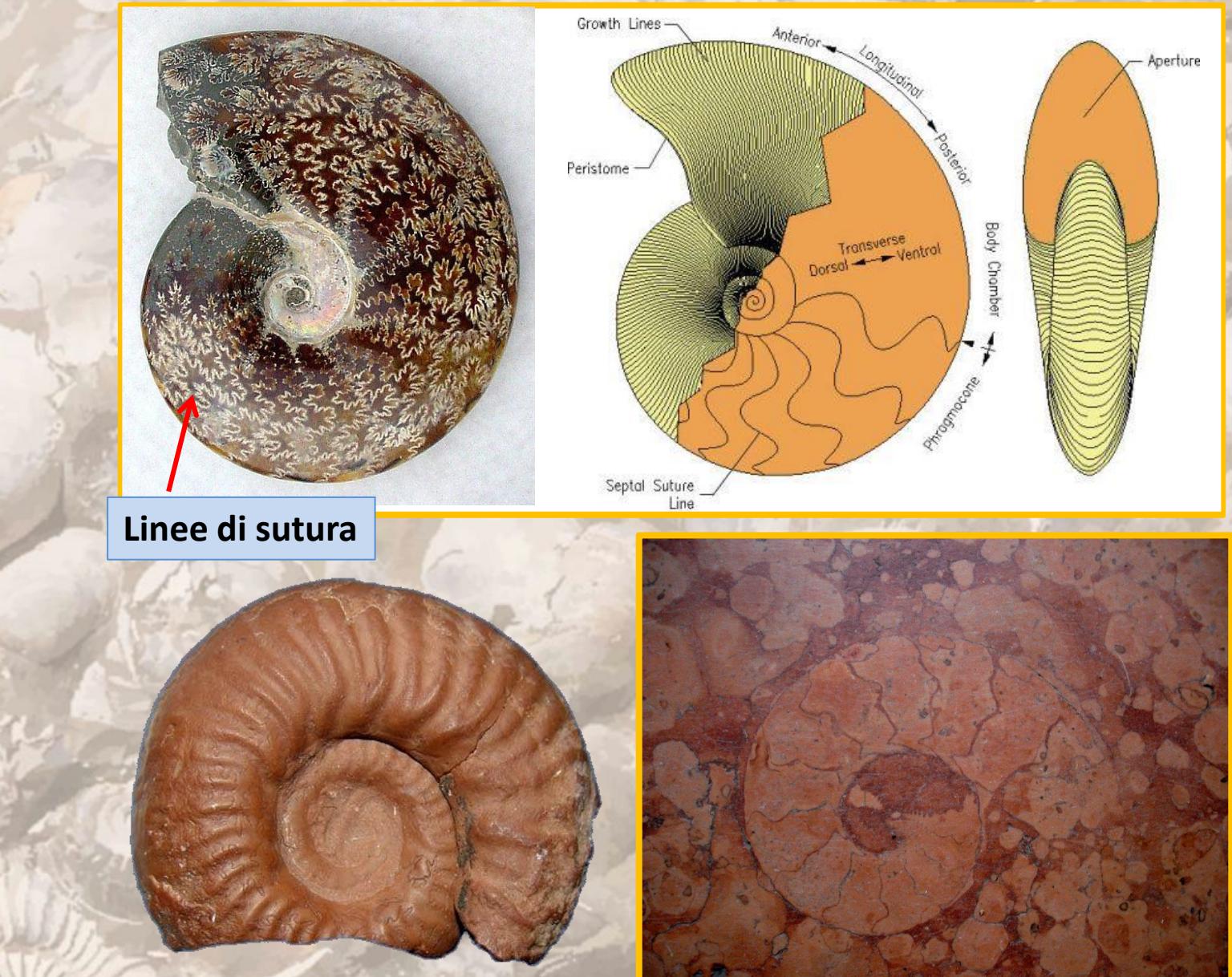


Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Modelli interni conchiglie ammoniti e nautiloidi

I modelli interni delle Ammoniti e dei Nautiloidi consentono di determinare la specie.

Si conserva l'**ornamentazione** perché costituita da pieghe della sottile conchiglia e viene messa in luce la **linea di sutura** (intersezione tra i setti e la parete esterna), altamente diagnostica per questi cefalopodi

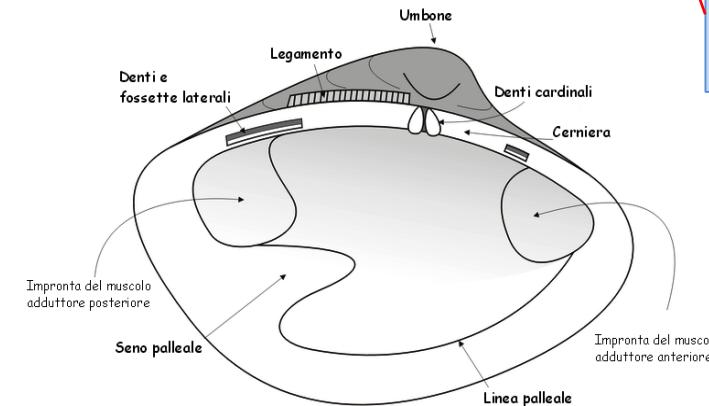


Calcare Rosso Ammonitico: frequenti modelli interni di Ammoniti.
Le conchiglie sono assenti per dissoluzione diagenetica

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Modelli interni conchiglie bivalvi

I modelli interni dei Bivalvi consentono di norma di determinare la **famiglia o il genere** ma **non la specie**. Si hanno informazioni sulla **forma** generale della conchiglia e sulle **impronte lasciate dai muscoli e dal mantello** sulla parete interna, ma **non sull'ornamentazione del guscio**



Impronta muscolo adduttore

Linea palleale

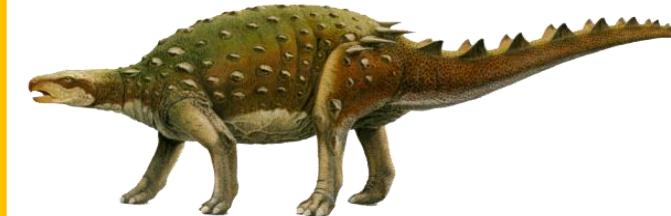
Seno palleale: ci permette di stabilire che era una forma infaunale

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

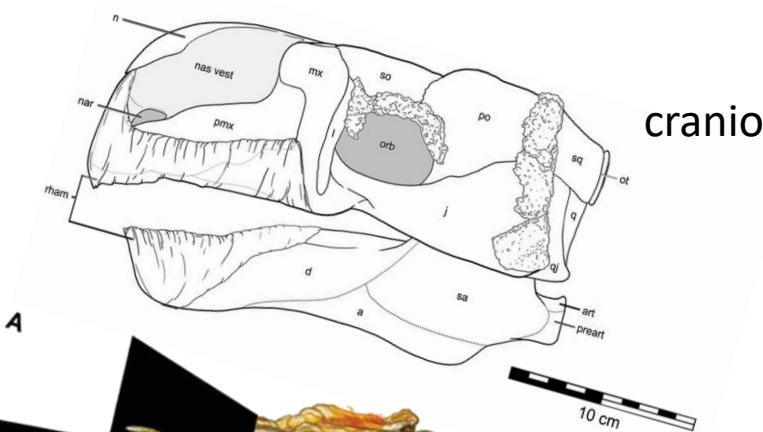
Modelli endocranico vertebrato

In molti casi l'endocranio (la cavità che conteneva il cervello) dei vertebrati è riempita da sedimento litificato durante la diagenesi.

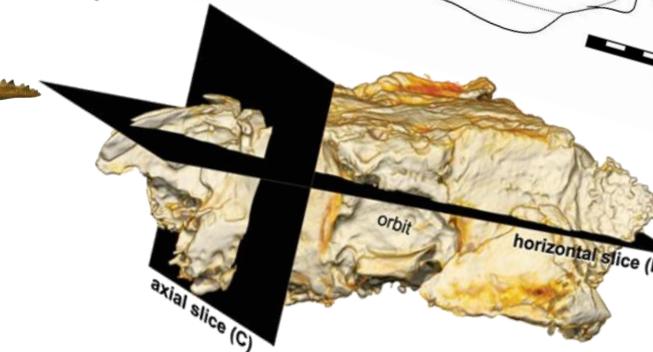
Tramite una **tomografia assiale (TAC)** è spesso possibile ricostruire in maniera non distruttiva la morfologia 3D e calcolare il volume in di questa cavità ed avere informazioni sulle parti molli e sulla fisiologia dell'animale.



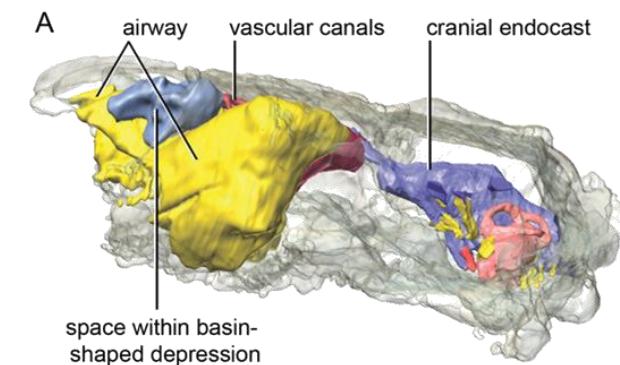
Ricostruzione endocranio di *Minmi* (Anchilosauro, Cretaceo, Australia)



cranio



Ricostruzione 3D cranio con TAC



Ricostruzione 3D cavità endocraniche con TAC

Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Impronta esterna

Può essere l'unica manifestazione nel caso di organismi **privi di parti dure** o quando il **guscio** si è **disciolto** dopo la litificazione della roccia inglobante.

Riveste un ruolo paleontologico importante quando il sedimento è caratterizzato da **grana fine** e permette la registrazione dettagliata dei caratteri.



Fossilizzazione delle parti mineralizzate

Riempimento a drusa

I cristalli che si formano più frequentemente nelle cavità delle strutture scheletriche sono di **calcite** e di **silice**.

Questi cristalli possono riempire la cavità totalmente (**riempimento a drusa**) o solo parzialmente formando un **geode**.

Talvolta i cristalli non riempiono totalmente la cavità e si forma un geode

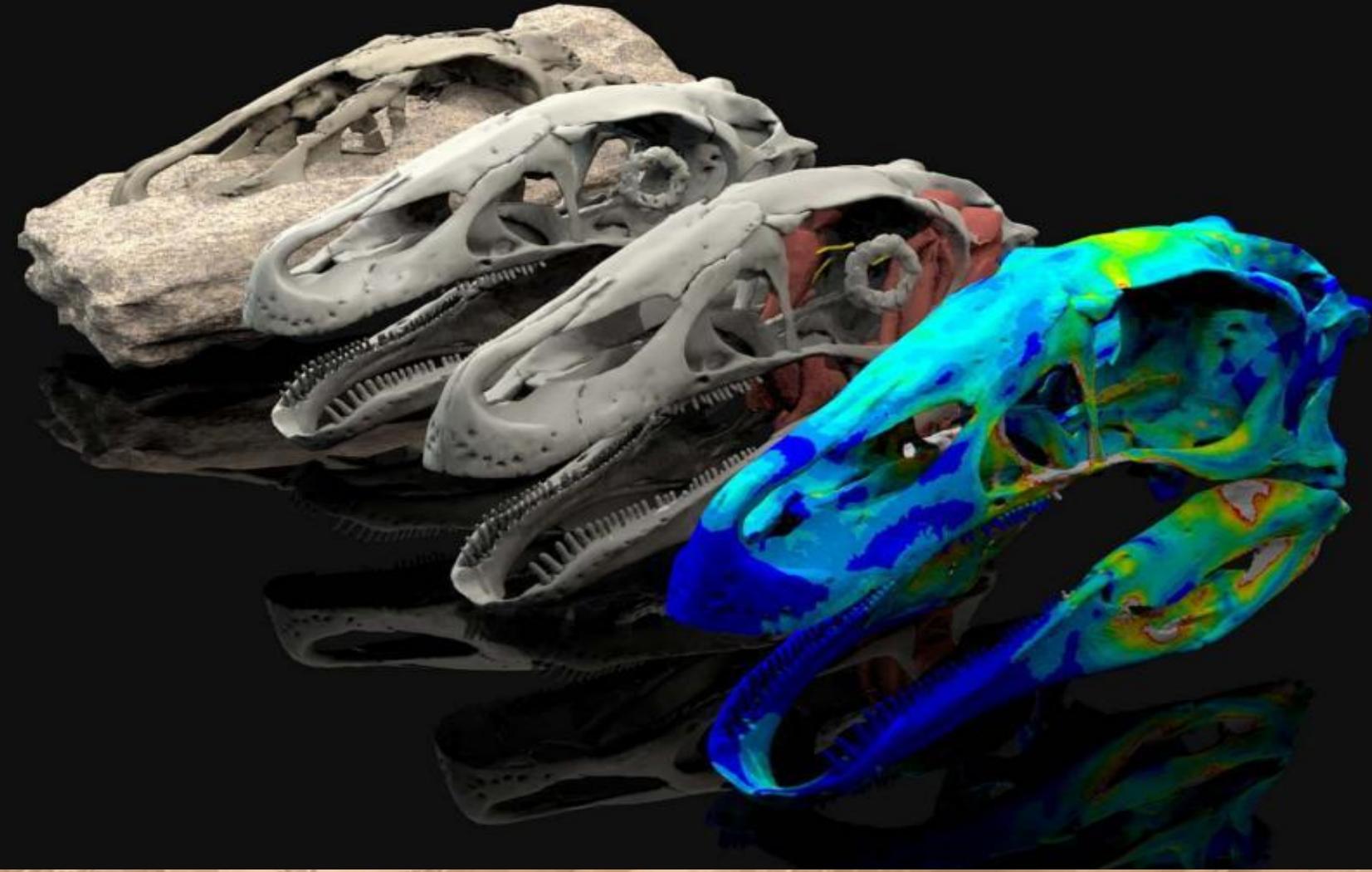


Ammoniti in sezione con riempimento a drusa delle camere con grossi cristalli di calcite

Paleontologia virtuale

La Paleontologia Virtuale è lo studio dei fossili attraverso l'acquisizione, l'elaborazione e l'analisi di immagini digitali prodotte attraverso tecniche e strumentazioni informatiche avanzate, quali la scansione con **scanner laser**, la **fotogrammetria 3D** e la **tomografia assiale computerizzata**.

<https://sketchfab.com/MuseoStoriaNaturaleUnipi>



Lo scopo è quello di ottenere **modelli virtuali 3D** e/o di investigare parti del fossile non visibili o che non possono essere manipolate perché troppo fragili.