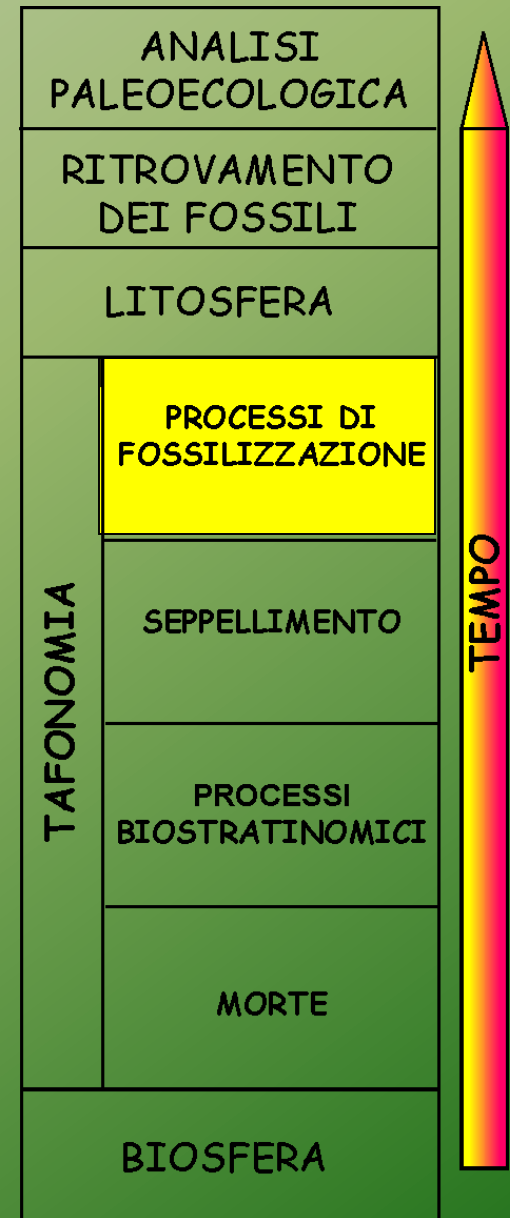


Processi di fossilizzazione

Dopo che sono stati sepolti sotto una coltre di sedimenti, i resti degli organismi che hanno superato tutte le peripezie della necrolisi e degli altri processi biostratinomici non sono altro che particelle sedimentarie tra le altre particelle sedimentarie e come tali sono soggetti a tutti i processi diagenetici che, a poco a poco, trasformano tutti i sedimenti che li inglobano in rocce sedimentarie.

Il procedere della sedimentazione sovrappone continuamente nuovi sedimenti a quelli appena deposti e fa sì che un determinato resto si trovi sepolto sempre più profondamente. I resti organici e organogeni si trovano ad essere sottoposti a un carico litostatico e idrostatico progressivamente crescente, si trovano immersi continuamente nel liquido interstiziale che impregna i sedimenti e vengono progressivamente sottoposti a temperature sempre più elevate.

I processi che portano alla fossilizzazione possono interessare sia la materia organica, che le parti mineralizzate.

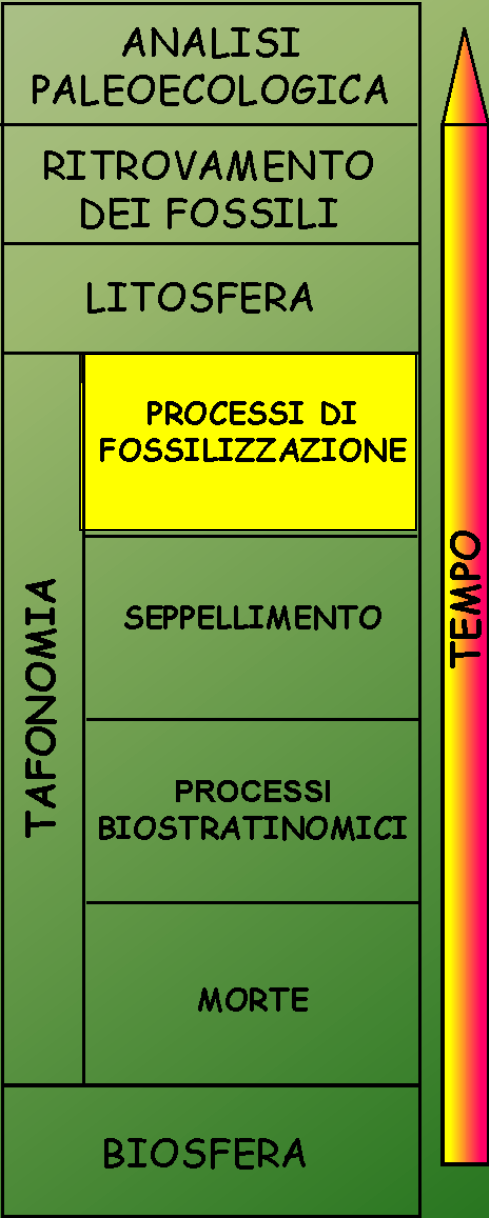


Fossilizzazione della materia organica

- mummificazione
- carbonificazione
- permineralizzazione
 - carbonati
 - silice
 - pirite o altri minerali
 - ghiaccio (crioconservazione)

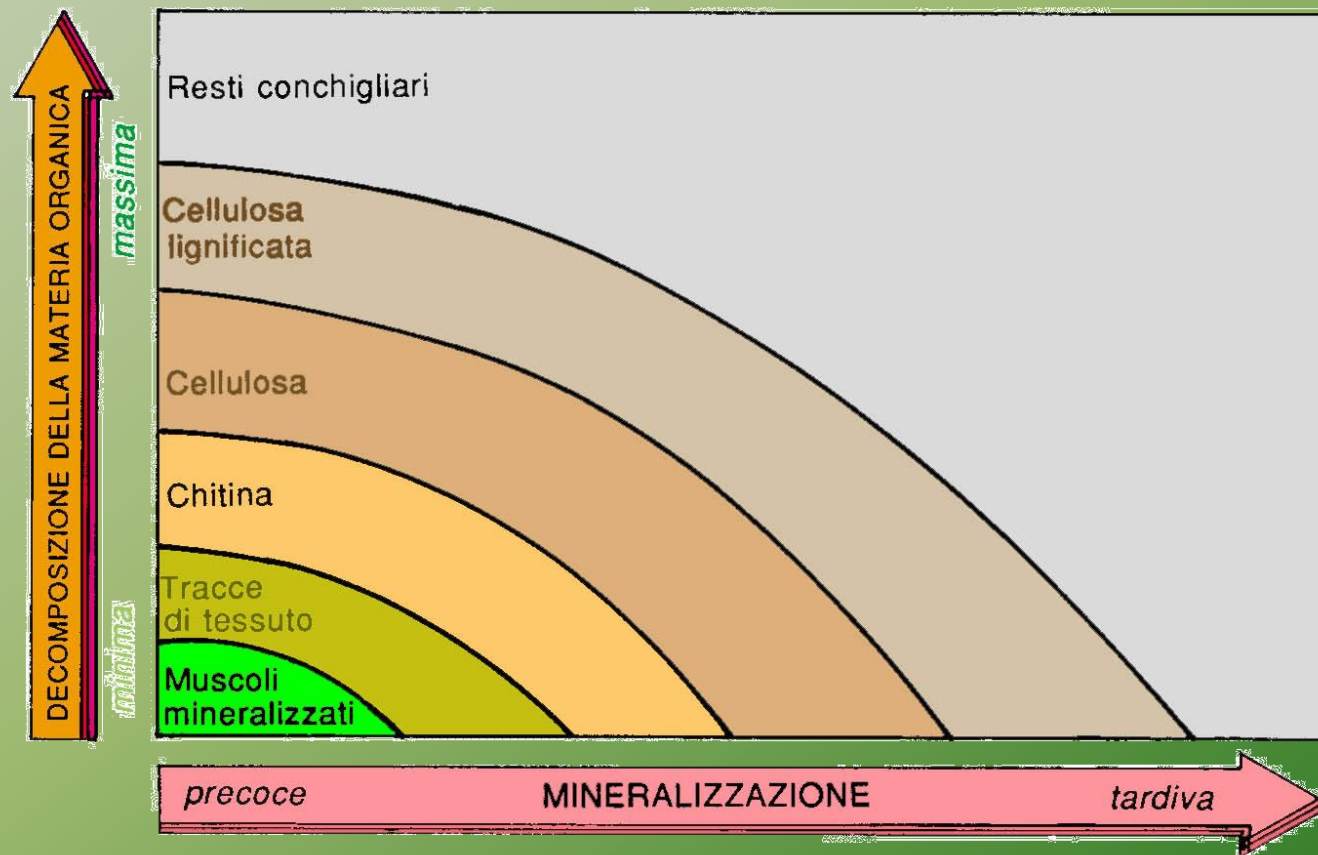
Fossilizzazione delle parti dure mineralizzate

- dissoluzione diagenetica
- mineralizzazione
 - impregnazione
 - sostituzione
 - calcitizzazione
 - dolomitizzazione
 - silicizzazione
 - piritizzazione
 - altri minerali



Fossilizzazione della materia organica

Per una conservazione tridimensionale della materia organica sono necessari una limitata decomposizione e una mineralizzazione precoce.



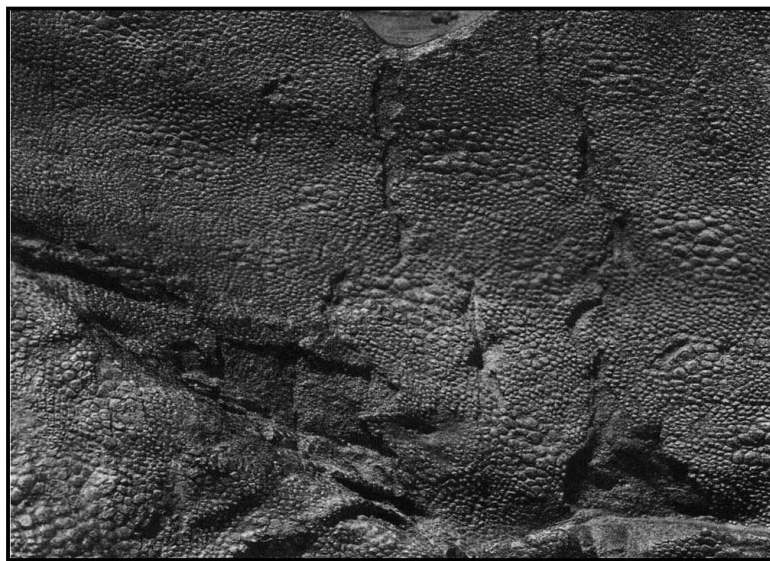
Fossilizzazione della materia organica

Mummificazione

La mummificazione è in sostanza un processo di disidratazione, che si può verificare in ambienti molto aridi, sia caldi che freddi.

E' un procedimento che permette di conservare alcuni tipi di materia organica per qualche migliaio di anni, ma non riesce a impedire l'ossidazione, che lentamente, ma inesorabilmente, disgrega e distrugge su lunghi periodi di tempo, ogni tipo di mummia.

In paleontologia sono noti due esemplari di *Anatosaurus*, che hanno lasciato impressa nel sedimento l'impronta della pelle raggrinzita sullo scheletro.



Particolare dell'impronta della pelle di *Anatosaurus*

(Cretaceo Sup., Nord America)

Fossilizzazione della materia organica

Carbonificazione

La carbonificazione è in sostanza un processo di fermentazione ad opera di batteri anaerobi, che porta ad una progressiva eliminazione dell'Idrogeno e dell'Ossigeno, con conseguente arricchimento di Carbonio.

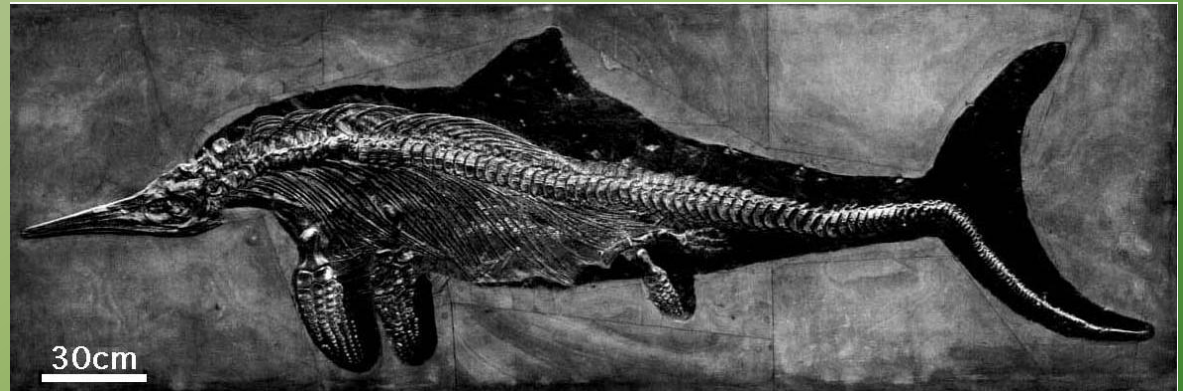
Idrati di Carbonio → Carbon fossile

Proteine e grassi → Idrocarburi

Si conservano per
tempi illimitati, in
assenza di Ossigeno



Rana sp.
Miocene, Spagna.



Stenopterygius quadriscissus
Ittiosauro del Giurassico inf.
Holzmaden, Germania.

ANTRACOLEIMMA

Pellicola carboniosa residua
dell'originale materia organica.
Non conserva mai la
microstruttura originaria

Fossilizzazione della materia organica

Carbonificazione

La carbonificazione, assieme alla carbonizzazione e alla permineralizzazione, è uno dei principali metodi di fossilizzazione delle piante.

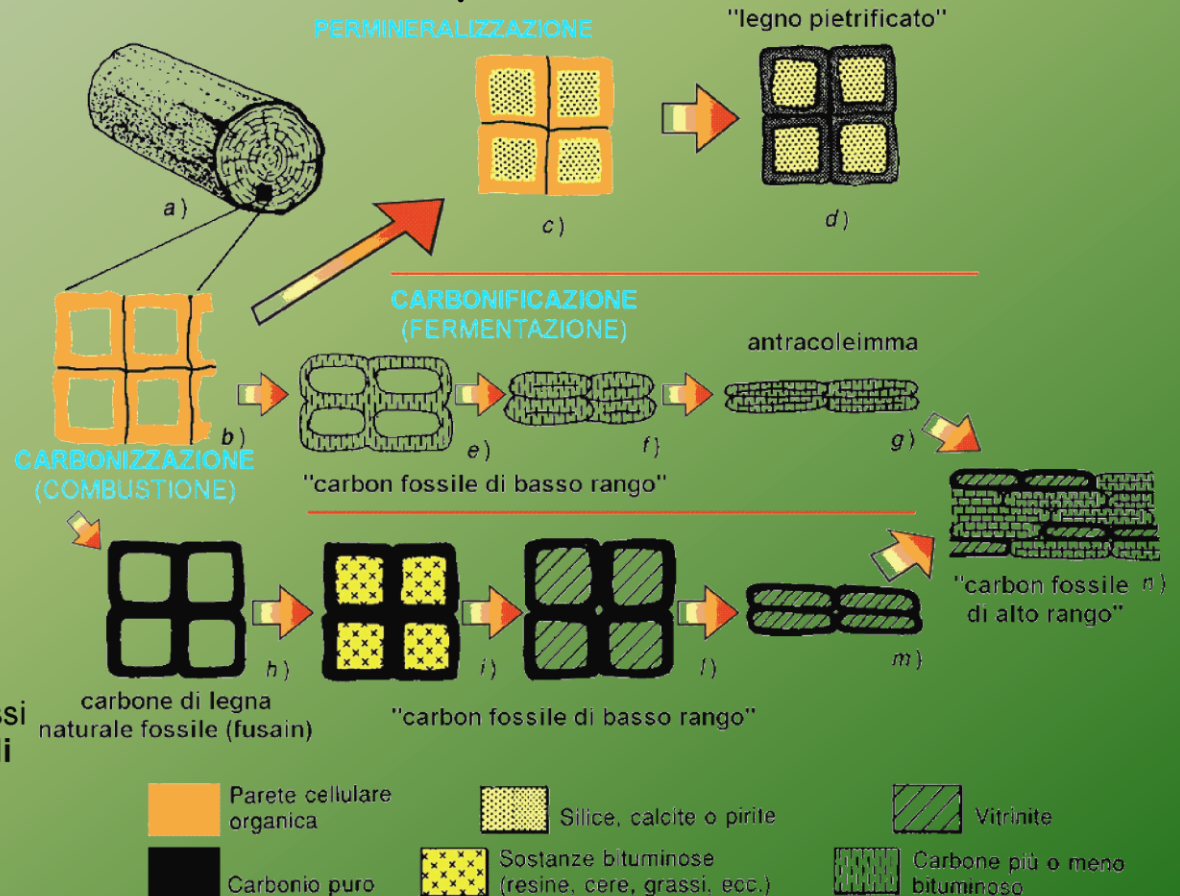
Rappresentazione schematica dei vari modi di fossilizzazione nelle piante. Partendo da un tronco (a) del quale sono mostrate ingrandite alcune cellule (b), la fossilizzazione può avvenire attraverso tre modi principali:

1- permineralizzazione (c, d)

2- carbonificazione (e-g). Viene definita anche **fermentazione**

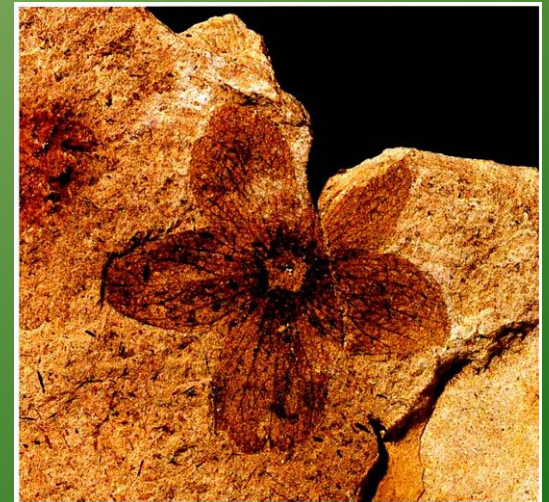
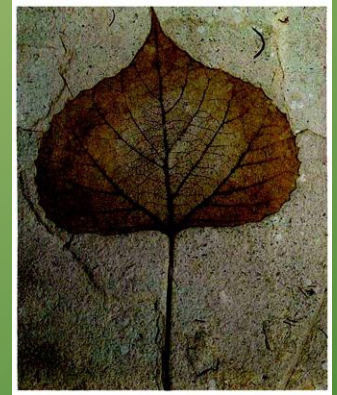
3- carbonizzazione (h-m). Viene definita anche **combustione**

I prodotti di questi due ultimi processi sono costituiti da “**carbon fossile di basso rango**” che mescolandosi e compattandosi ulteriormente danno origine al “**carbon fossile di alto rango**” (n)



Fossilizzazione della materia organica Carbonificazione

La carbonificazione, assieme alla carbonizzazione e alla permineralizzazione, è uno dei principali metodi di fossilizzazione delle piante.



Fossilizzazione della materia organica Carbonificazione



Carbonifero Sup.
Bacino di San Giorgio,
Iglesias, Sardegna



Fossilizzazione della materia organica
Carbonificazione

In assenza di sovraccarichi sedimentari



Fossilizzazione della materia organica Permineralizzazione (o permeazione cellulare)

Non sempre la diagenesi spinta della materia organica porta all'obliterazione totale delle cellule animali o vegetali.

Quando i resti organici sono sepolti in fanghi di origine minerale possono verificarsi condizioni in cui le acque interstiziali mineralizzate percolano attraverso i tessuti e depositano i sali contenuti in forma amorfa o cristallina all'interno delle cellule organiche.

Se questa precipitazione di minerali avviene durante le prime fasi dei processi di fermentazione anaerobica, prima che si verifichi lo schiacciamento (parziale o totale) dei lumina cellulari, le strutture organiche così mineralizzate non si deformeranno più neppure sotto i carichi imposti dalle fasi avanzate della diagenesi.

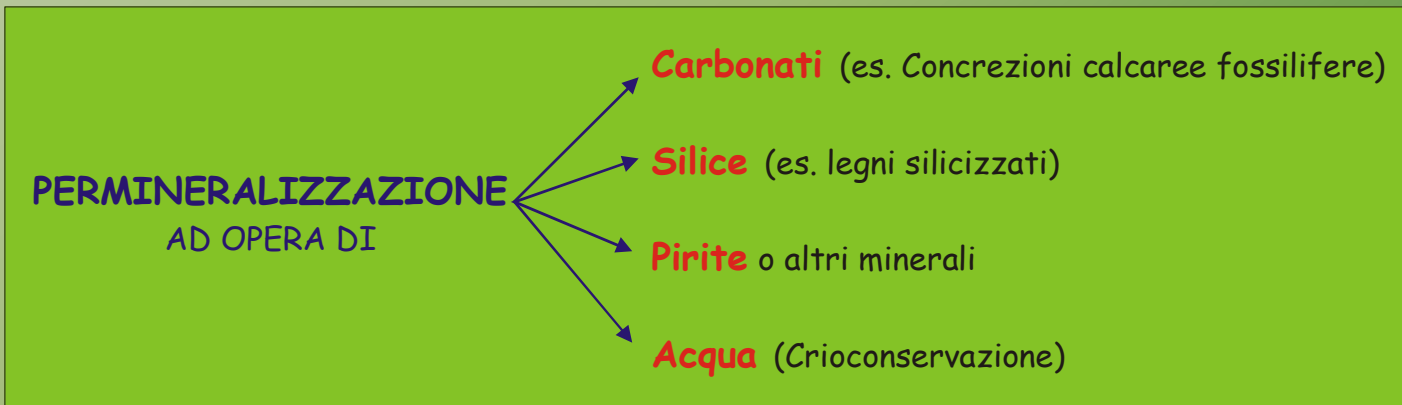
Questo processo ha permesso la formazione di fossili nei quali è conservata anche la struttura cellulare degli organismi.

La permeazione cellulare è molto simile a quei processi di inglobamento artificiale che si usano in istologia per sezionare i tessuti. La sola differenza è che il mezzo inglobante è costituito da sostanza amorfa o criptocristallina, invece che da paraffina, silicone, resine, etc.

Fossilizzazione della materia organica

Permineralizzazione (o permeazione cellulare)

Alla permeazione cellulare possono prendere parte diversi tipi di sostanze minerali presenti nei fluidi circolanti, come Carbonato di Calcio, Silice, Solfuri di Ferro, etc.



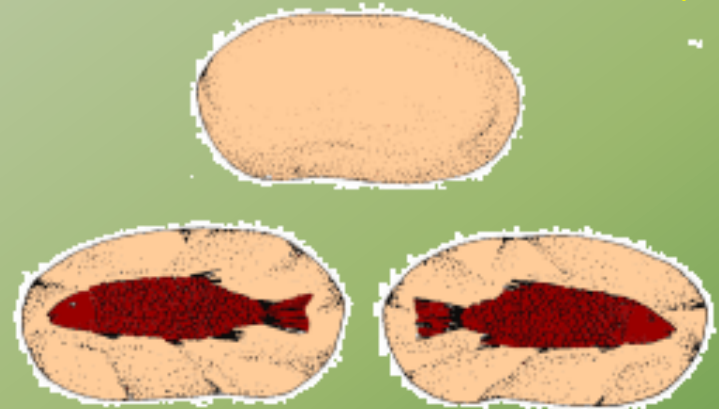
Fossilizzazione della materia organica

Concrezioni calcaree fossilifere

(Permineralizzazione ad opera dei Carbonati)

Nelle argille marnose a basso contenuto in carbonato sono frequenti concrezioni composte prevalentemente da calcite o siderite. Si tratta di corpi di forma arrotondata, di dimensioni di qualche cm, o a volte di qualche dm.

All'interno contengono sempre resti di organismi, che non sono mai schiacciati.

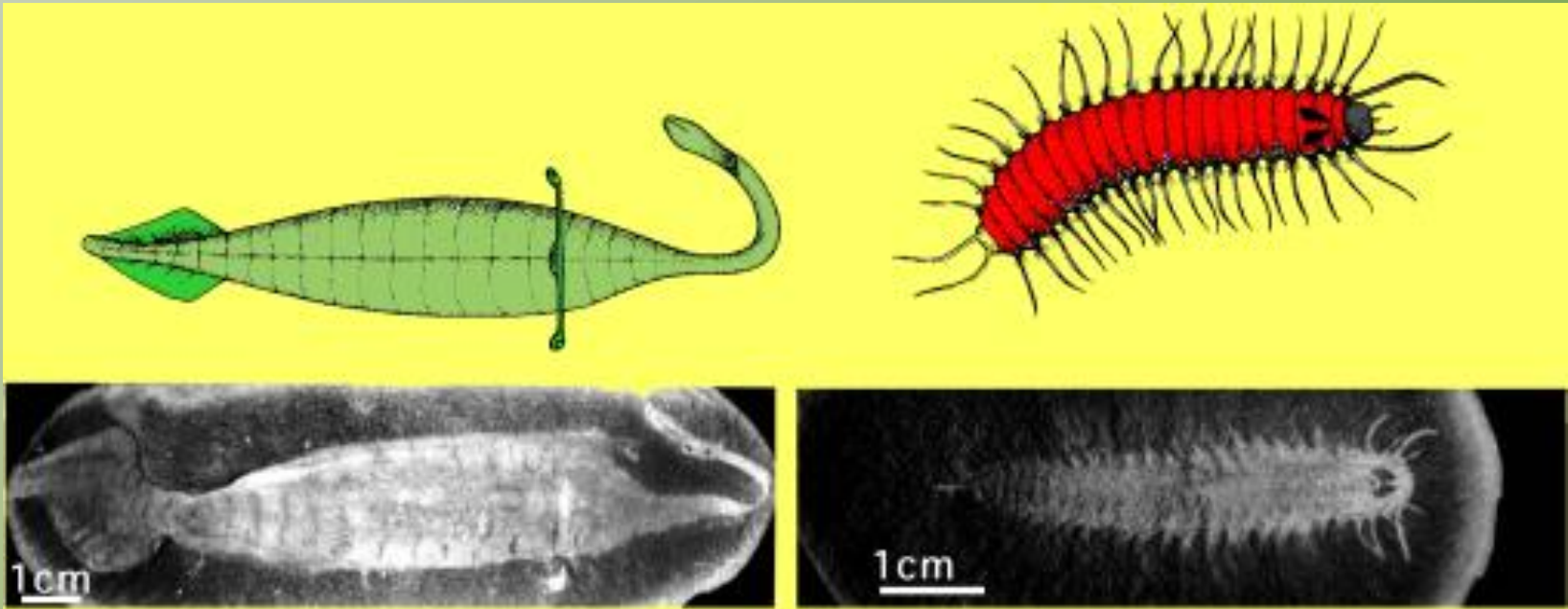


- a. seppellimento;
- b. la decomposizione di proteine e ammine libera ammoniaca che rende l'ambiente fortemente alcalino;
- c. la solubilità dei carbonati decresce con l'aumentare del pH: le acque interstiziali depositano CaCO_3 nei tessuti e negli interstizi. La precipitazione di calcite riduce localmente la concentrazione di carbonato, dando luogo a un gradiente che attira costantemente ioni Ca^{2+} verso il fossile;
- d. il processo continua fino a quando prosegue la produzione di ammoniaca o si esaurisce la disponibilità di carbonato.

Fossilizzazione della materia organica
Concrezioni calcaree fossilifere
(Permineralizzazione ad opera dei Carbonati)



Fossilizzazione della materia organica
Concrezioni calcaree fossilifere
(Permineralizzazione ad opera dei Carbonati)



Tullimonstrum gregarium

Fossundecima konecniorum

Mazon Creek, Illinois, USA
Carbonifero Superiore

Fossilizzazione della materia organica

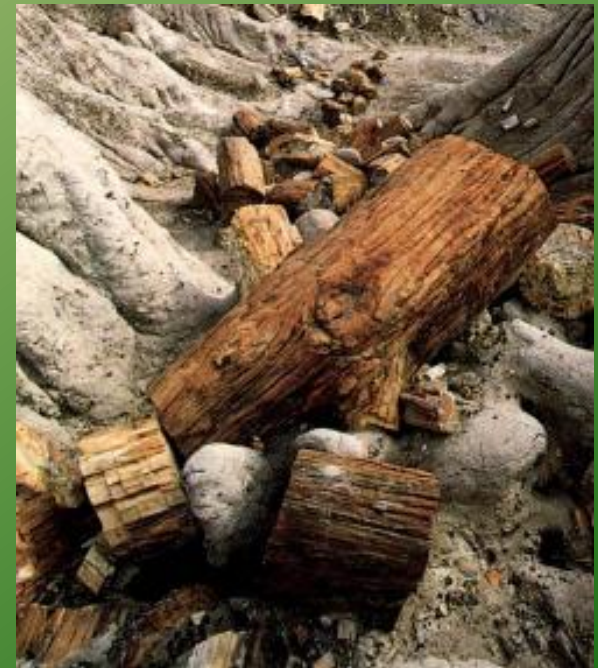
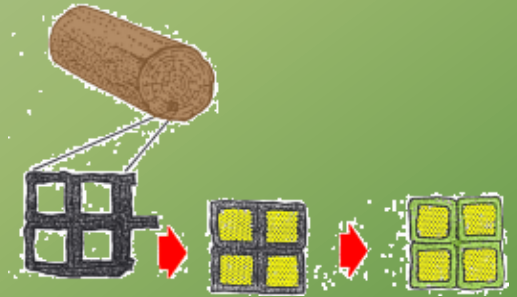
Silicizzazione (Permineralizzazione ad opera della Silice)

E' tipica dei legni, ma può riguardare anche altri tipi di organismi.

Si verifica completamente solo in depositi piroclastici.

Le sostanze acide che si generano dalla decomposizione dei legni provocano un abbassamento di pH, e quindi la deposizione di gel siliceo (opale) dalle soluzioni sature di silice; la silice viene quindi a rivestire i canali legnosi, fino al loro completo riempimento.

Nel corso della diagenesi, l'opale viene trasformato in quarzo.



Fossilizzazione della materia organica

Piritizzazione (Permineralizzazione ad opera della Pirite)

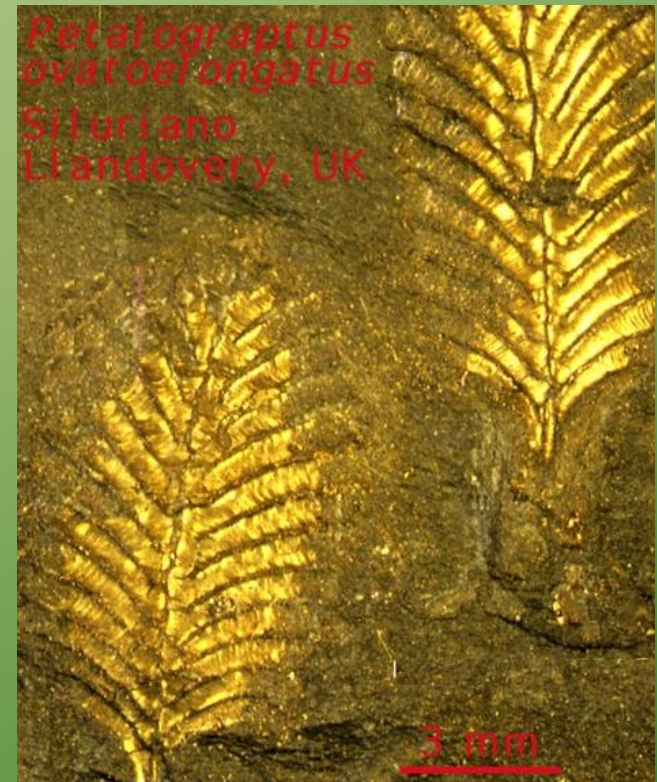
La pirite può produrre parziali permineralizzazioni di tessuti organici. Si trova spesso associata ad antracoleimmi e si forma per attività batterica in condizioni anaerobiche. Può riempire gli spazi delle cellule.

Molto spesso le condizioni ossidanti che dominano in prossimità della superficie alterano la pirite a ossidi di ferro, portando alla distruzione del fossile.

In rari casi, sono note permineralizzazioni ad opera di altri minerali.



Trilobite



Graptoliti

Fossilizzazione della materia organica

Crioconservazione (Permineralizzazione ad opera del ghiaccio)

La conservazione di esemplari di *Mammuthus* e di *Mammut* nelle alluvioni ghiacciate dei fiumi della Siberia e dell'Alaska si può assimilare a un tipo di permineralizzazione ad opera del ghiaccio.



Fossilizzazione delle parti dure

Tutte quelle parti dell'organismo che non sono state distrutte dai processi biostratinomici e sono state inglobate nei sedimenti vengono a trovarsi immerse in una sospensione acqua/sedimento con peculiari proprietà chimiche.

Con il procedere della sedimentazione in ambiente acquoso le parti dell'organismo sopravvissute si trovano a contatto con i liquidi interstiziali. Le condizioni chimiche cambiano anche a causa del rapido e continuo apporto delle sostanze prodotte da batteri aerobici e anaerobici che aggrediscono molte delle sostanze organiche e inorganiche presenti.

TIPI DI ACQUE CON LE QUALI POSSONO VENIRE A CONTATTO I RESTI ORGANOGENI

Acque dell'ambiente deposizionale

Acqua interstiziale

Acqua espulsa dai minerali in seguito a disidratazione durante la diagenesi

Acqua di derivazione profonda, prodotta dal metamorfismo degli strati sotto al bacino sedimentario (in genere ricche di sali minerali)

Acqua di derivazione meteorica (in genere aggressive)

QUESTE ACQUE, TUTTE CON CHIMISMI DIFFERENTI, A SECONDA DEI CASI POTRANNO PRODURRE DISSOLUZIONI, CRISTALLIZZAZIONI E SOSTITUZIONI

Fossilizzazione delle parti dure

**LE PARTI DURE
MINERALIZZATE
POSSONO
SUBIRE QUESTI
PROCESSI**

DISSOLUZIONE DIAGENETICA

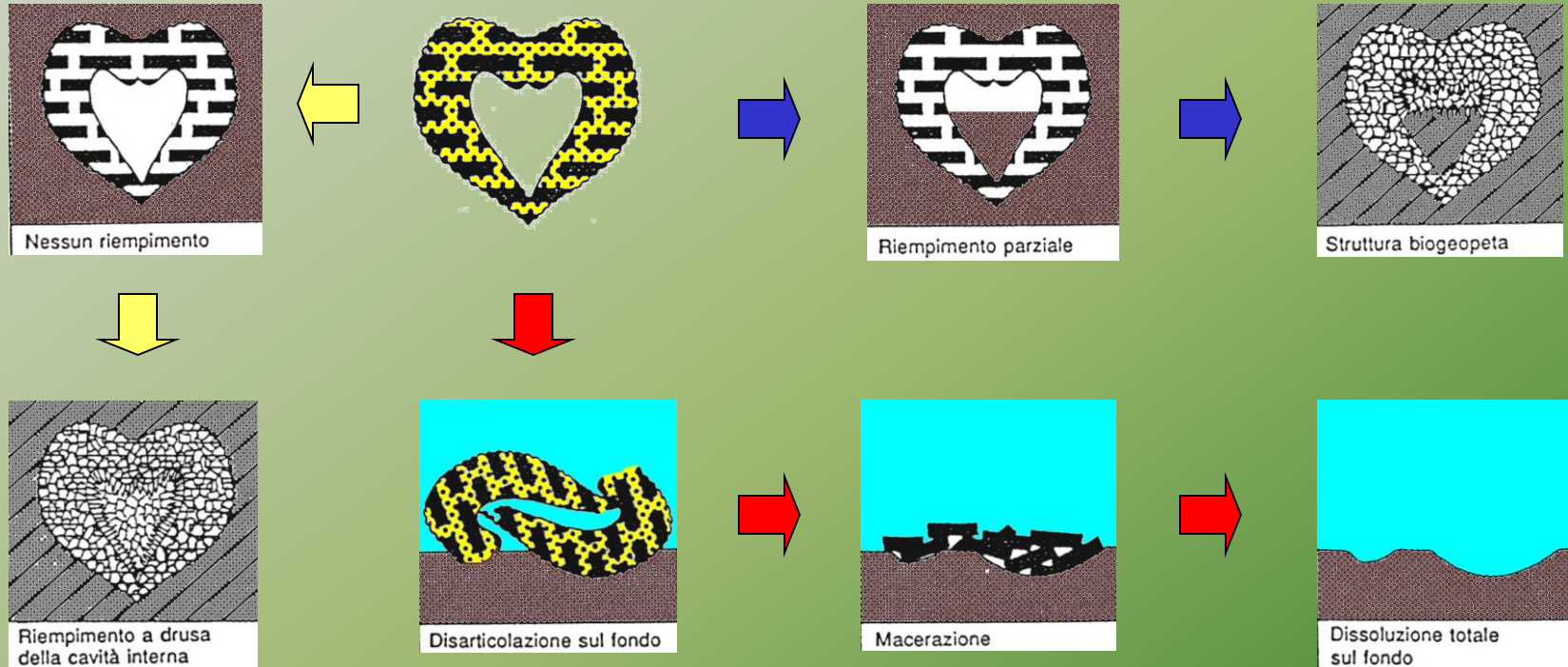
MINERALIZZAZIONE

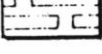
- Impregnazione
- Sostituzione

**DISSOLUZIONE E CEMENTAZIONE
combinati**

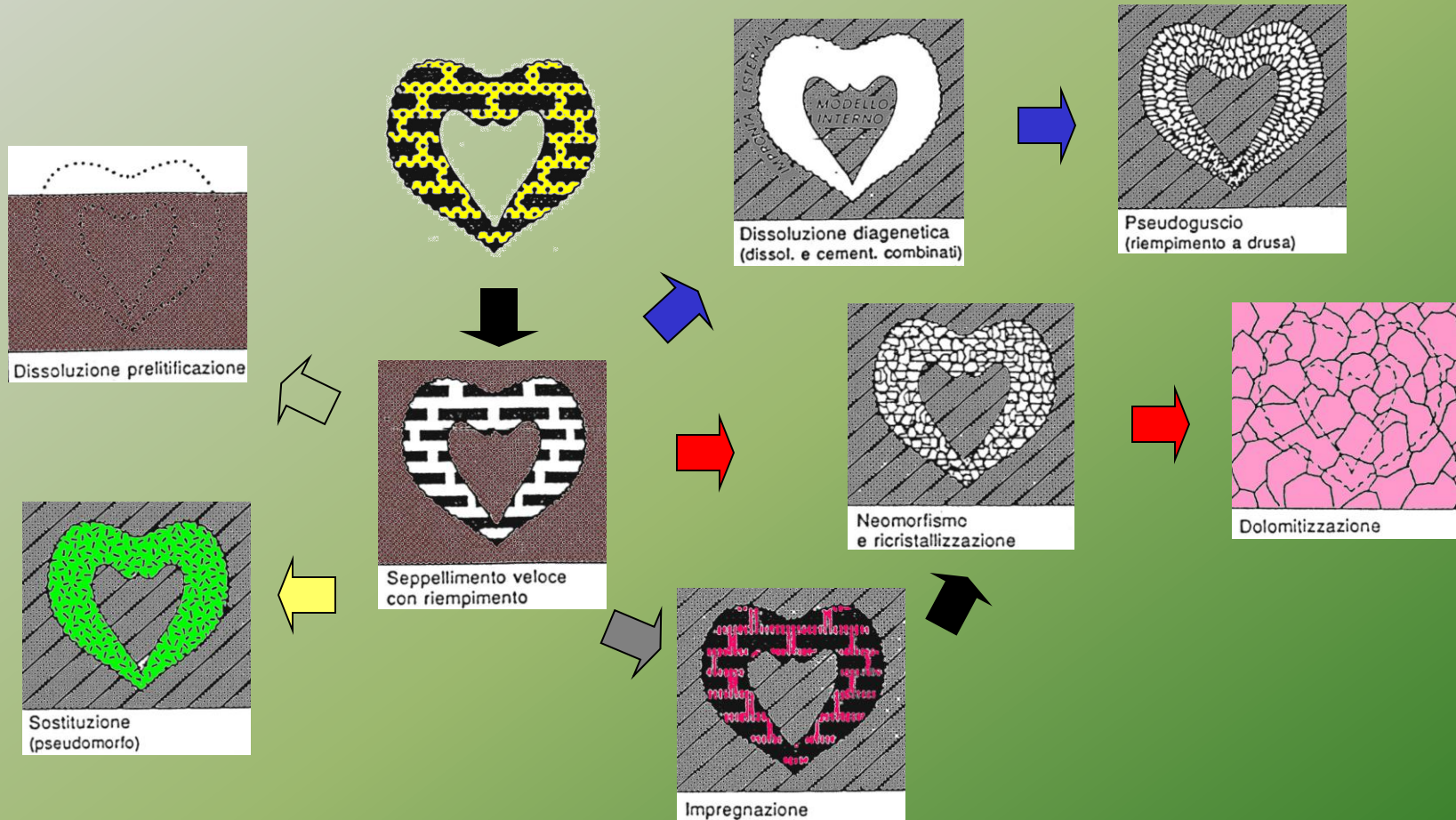
NEOMORFISMO

Fossilizzazione delle parti dure



	sedimento incoerente		prismi cristallini		calcite di riempimento		fantasmi di prismi cristallini		materiale impregnante
	sedimento litificato		materia organica		dolomite di sostituzione		materiale di sostituzione		cristalli di neoformazione

Fossilizzazione delle parti dure



	sedimento incoerente		prismi cristallini		calcite di riempimento		fantasmi di prismi cristallini		materiale impregnante
	sedimento litificato		materia organica		dolomite di sostituzione		materiale di sostituzione		cristalli di neoformazione

Fossilizzazione delle parti dure

Dissoluzione diagenetica

La dissoluzione può aggredire i resti degli organismi sia prima, sia durante la diagenesi. In ambiente bentonico la dissoluzione diagenetica è il principale agente di distruzione.

Dipende da:

Composizione mineralogica dei gusci: i più solubili sono

ambiente acido	calcite (HMC), aragonite, calcite (LMC), fosfati
ambiente alcalino	silicei

Composizione mineralogica del sedimento: condiziona il chimismo delle acque

sedimento calcareo	acque acide si neutralizzano rapidamente
sedimento silicoclastico	acque sottosature rispetto ai carbonati

Superficie specifica

i gusci molto ornati e porosi sono più solubili di quelli lisci e compatti

Bioturbazione

favorisce la diffusione dei liquidi all'interno del sedimento, quindi aumenta l'intensità della dissoluzione.

Fossilizzazione delle parti dure

Mineralizzazione

La **mineralizzazione** è il principale processo che porta alla fossilizzazione delle parti mineralizzate. Le modalità sono differenti a seconda dei vari ambienti diagenetici.

Può avvenire per

- Sostituzione
- Impregnazione

Fossilizzazione delle parti dure

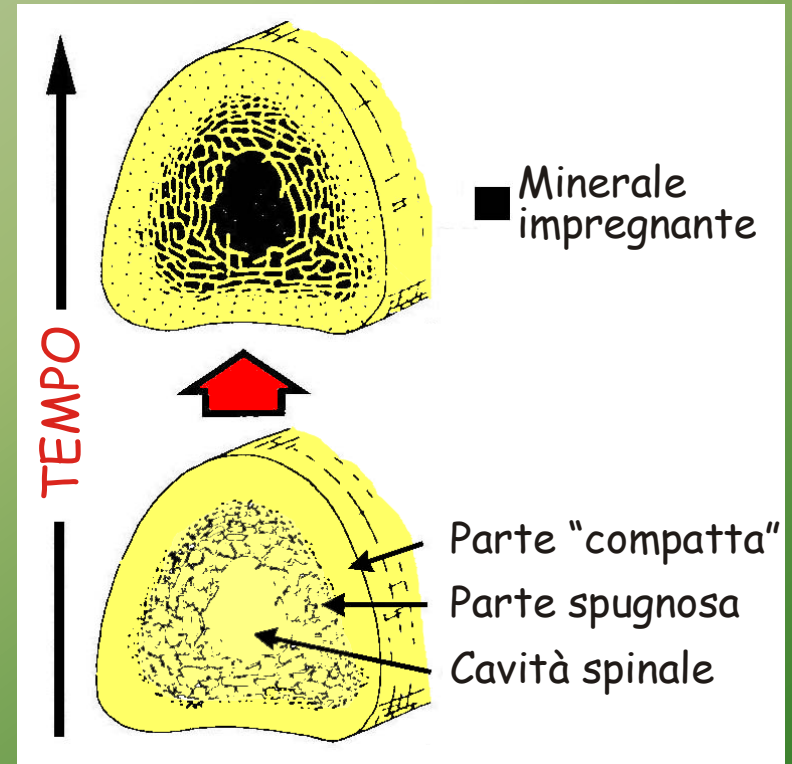
Mineralizzazione per impregnazione

Si verifica quando la sostanza organica contenuta nelle parti dure mineralizzate si ossida e scompare rapidamente lasciando delle microcavità entro le quali si depositano per precipitazione i sali contenuti nelle soluzioni circolanti nei sedimenti.

Questi sali possono avere la stessa composizione delle parti dure degli organismi, o essere molto diversi. I minerali che prendono parte al processo dipendono dal chimismo delle acque circolanti. I più comuni sono: calcite, silice e barite.

E' tipica dei tessuti spugnosi e/o porosi (ossa, placchette di echinodermi, ...).

I fossili così ottenuti sono più compatti, più solidi, più resistenti e più pesanti dell'osso o della conchiglia originaria.



Questo processo è senza dubbio il più comune nella fossilizzazione delle parti scheletriche dei vertebrati

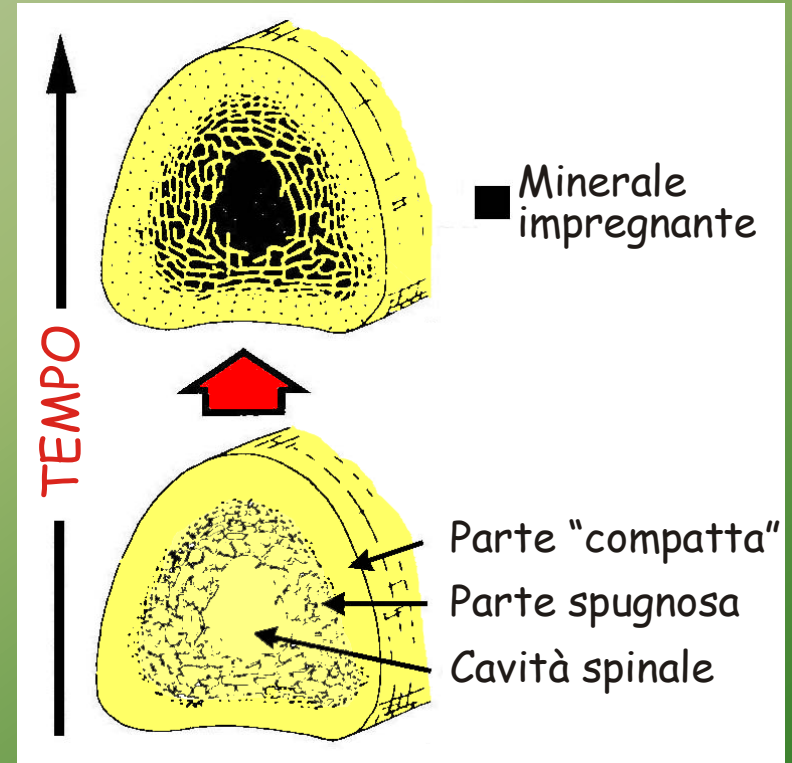
Fossilizzazione delle parti dure Mineralizzazione per impregnazione



Neanderthal & Cro Magnon



Macaca maiori
Pleistocene
Fluminimaggiore
Sardegna



Questo processo è senza dubbio il più comune nella fossilizzazione delle parti scheletriche dei vertebrati

Fossilizzazione delle parti dure

Mineralizzazione per sostituzione

La sostituzione di un minerale ad opera di un altro è molto comune nelle rocce sedimentarie e può interessare anche le parti scheletriche degli organismi.

Il fenomeno avviene per **precipitazione penecontemporanea** del nuovo minerale all'interno delle microcavità che si sono formate per dissoluzione all'interno dei gusci e degli scheletri.

Questo processo tende ad alterare la microstruttura, ma conserva sia l'architettura, sia la forma esterna, producendo **pseudomorfi**.

Molte volte la sostituzione interessa solo la parte più superficiale dei gusci, in quanto il processo è molto lento e il suo stesso sviluppo tende a limitare o impedire l'ulteriore penetrazione dei fluidi mineralizzanti.

La sostituzione prende nomi diversi a seconda del minerale che partecipa al processo:

Calcite	CALCITIZZAZIONE
Silice	SILICIZZAZIONE
Dolomite	DOLOMITIZZAZIONE
Pirite	PIRITIZZAZIONE
...	...

Fossilizzazione delle parti dure Mineralizzazione per sostituzione



Ammoniti piritizzate



La sostituzione prende nomi diversi a seconda del minerale che partecipa al processo:

Calcite

CALCITIZZAZIONE

Silice

SILICIZZAZIONE

Dolomite

DOLOMITIZZAZIONE

Pirite

PIRITIZZAZIONE

...

...

Brachiopode
piritizzato



nautiloide piritizzato

Fossilizzazione delle parti dure Mineralizzazione per sostituzione



Gasteropodi
conservati in
calcedonio

La sostituzione prende nomi diversi a seconda
del minerale che partecipa al processo:

Calcite

CALCITIZZAZIONE

Silice

SILICIZZAZIONE

Dolomite

DOLOMITIZZAZIONE

Pirite

PIRITIZZAZIONE

...

...



Trilobite limonitizzato



corallo silicizzato

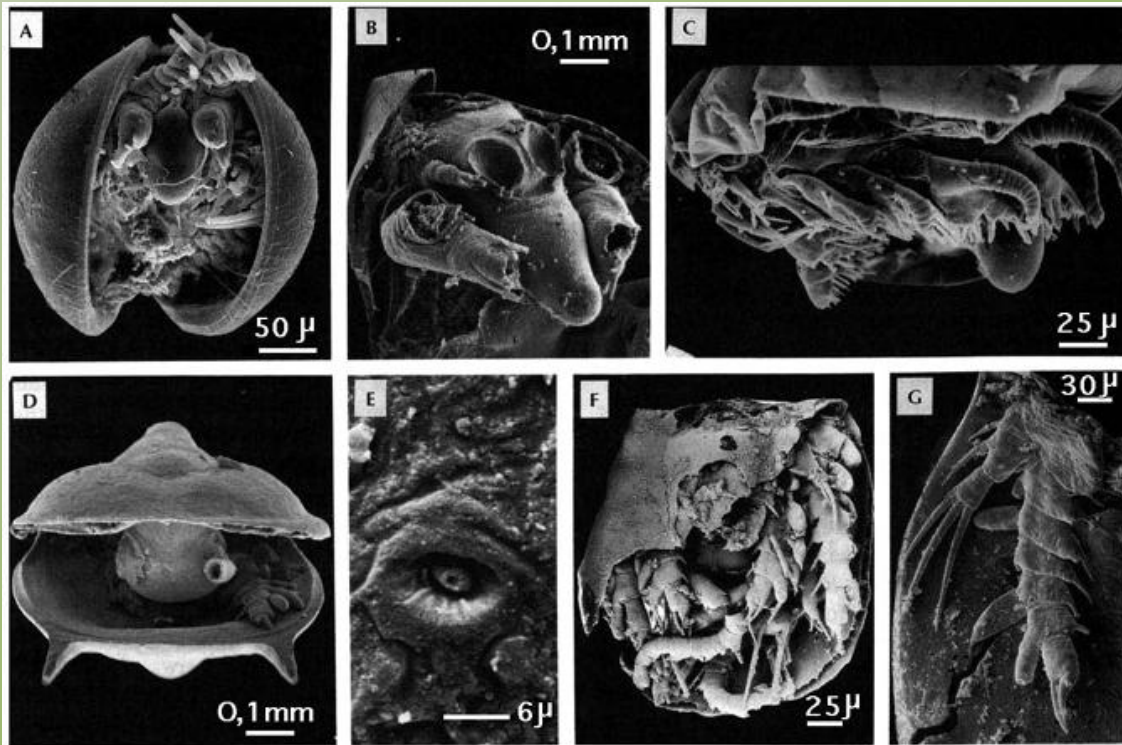


Echinide
conservato in
azzurrite

Fossilizzazione delle parti dure Mineralizzazione per sostituzione

La sostituzione prende nomi diversi a seconda del minerale che partecipa al processo:

Calcite	CALCITIZZAZIONE
Silice	SILICIZZAZIONE
Dolomite	DOLOMITIZZAZIONE
Pirite	PIRITIZZAZIONE
...	...



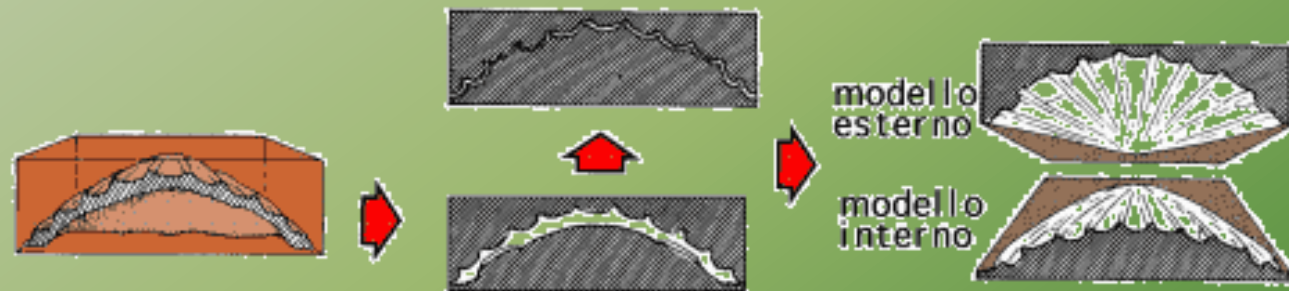
Concrezioni di calcari carboniosi con solfuri negli "Alum Shales" di Orsten, Cambriano superiore, Svezia.

A-C) Ostracodi
D-G) Trilobiti

Fossilizzazione delle parti dure

Dissoluzione e Litificazione

Quando il guscio o altre parti scheletriche si sciolgono prima della litificazione del sedimento inglobante non rimane di loro alcuna traccia. Se, invece, la dissoluzione avviene dopo il processo di litificazione, allora la presenza di un organismo può venire ugualmente registrata come:



impronta esterna

E' l'impronta lasciata dal corpo di un organismo intero o di una qualsiasi sua parte nel sedimento. E' importante in paleontologia quando registra in dettaglio tutti i particolari della superficie esterna del guscio.

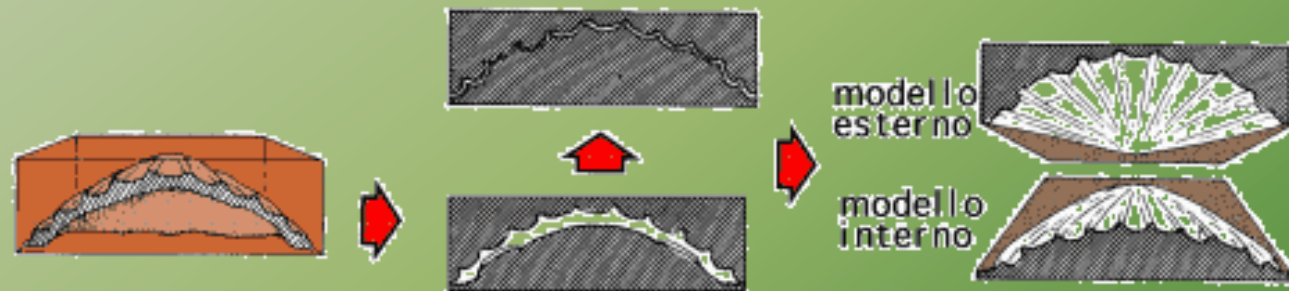
modello interno

Si forma quando la cavità interna del guscio viene riempita da sedimento, che, litificando durante la diagenesi, produce un calco della parte interna della conchiglia. Il riempimento può avvenire anche ad opera di sali minerali precipitati dalle acque interstiziali. E' comune nei molluschi, brachiopodi ed echinidi. E' importante in paleontologia quando riproduce i dettagli interni della conchiglia (es. le linee di suture delle ammoniti).

Fossilizzazione delle parti dure

Dissoluzione e Litificazione

Quando il guscio o altre parti scheletriche si sciolgono prima della litificazione del sedimento inglobante non rimane di loro alcuna traccia. Se, invece, la dissoluzione avviene dopo il processo di litificazione, allora la presenza di un organismo può venire ugualmente registrata come:



pseudoguscio

Si forma quando la cavità generata dalla dissoluzione del guscio viene riempita dai minerali depositati dalle acque percolanti. Lo pseudoguscio ha forma identica a quello originario, ma non ne conserva la struttura.

modello composito

Si forma quando l'impronta esterna e il modello interno aderiscono a seguito della dissoluzione precoce del guscio.

Fossilizzazione delle parti dure
Modelli interni e impronte esterne

