

Organismi pluricellulari

Comparsa della pluricellularità

L'acquisizione della pluricellularità è stato certamente uno dei bioeventi fondamentali della storia della vita.

Vantaggi della pluricellularità:

- possibilità di ripetere il modulo cellulare con l'opportunità di sostituire le cellule non più funzionanti e di ottenere un incremento delle dimensioni e della durata della vita dell'organismo;
- si realizza la differenziazione e la specializzazione delle cellule

Comparsa della pluricellularità

E' difficile stabilire talora se certi organismi (es. colonie di cellule procariotiche o eucariotiche) siano classificabili come unicellulari o pluricellulari.

Il criterio più valido per distinguere l'organizzazione pluricellulare da individui unicellulari di grande taglia e/o da forme coloniali di organismi unicellulari sembra essere la differenziazione in tessuti ed organi.

Il contributo che la paleobiologia può dare è soprattutto quello di stabilire con buona approssimazione quando questo evento si è verificato.

Origine della pluricellularità

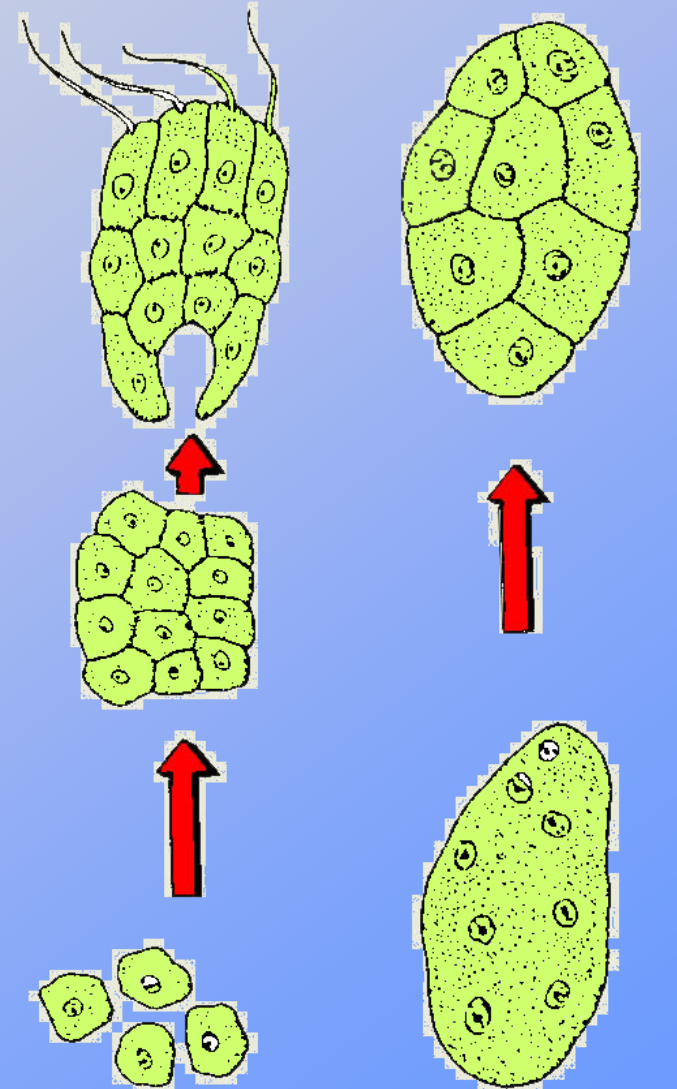
Esistono due ipotesi:

AGGREGAZIONE

Un gruppo di cellule si aggrega per formare una colonia all'interno della quale alcune cellule si specializzano acquisendo particolari funzioni (digestione, riproduzione, locomozione, etc).

DIFFERENZIAZIONE

Una singola cellula protista di grandi dimensioni e plurinucleata sviluppa nel suo interno pareti cellulari limitanti i diversi nuclei, formando così vere cellule.

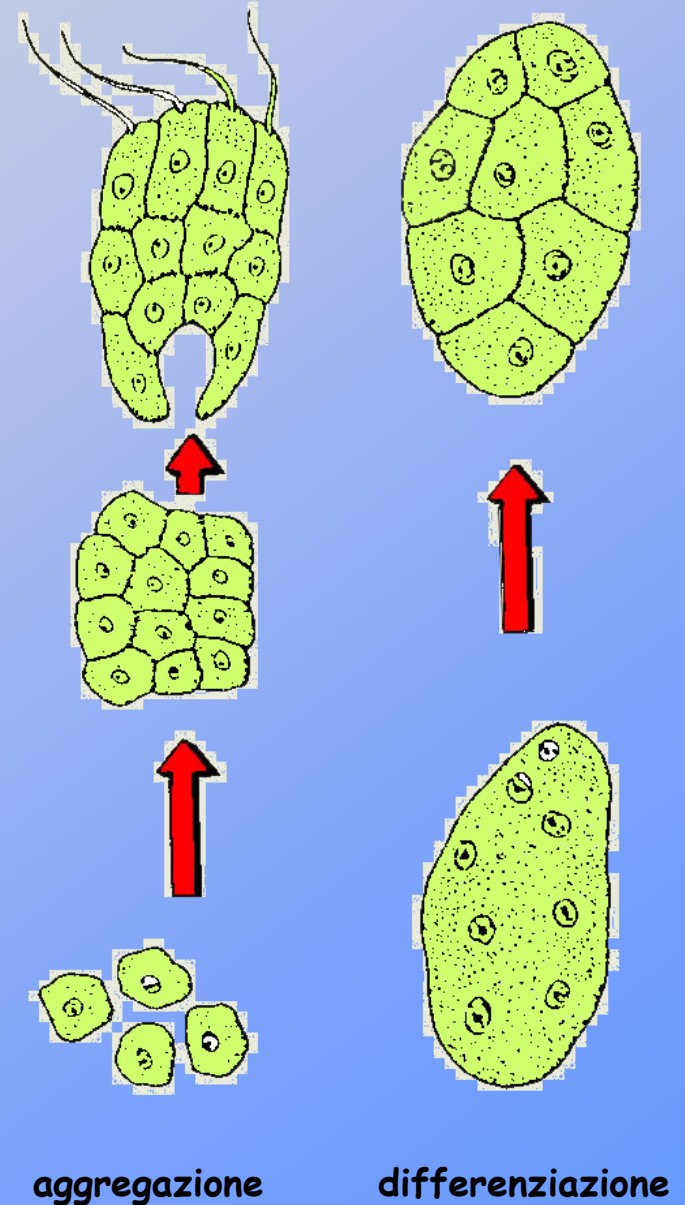


aggregazione

differenziazione

Origine della pluricellularità

Aggregati di cellule sono stati trovati a partire dalle prime fasi della diffusione della vita, per cui viene avvalorata la prima ipotesi della aggregazione.



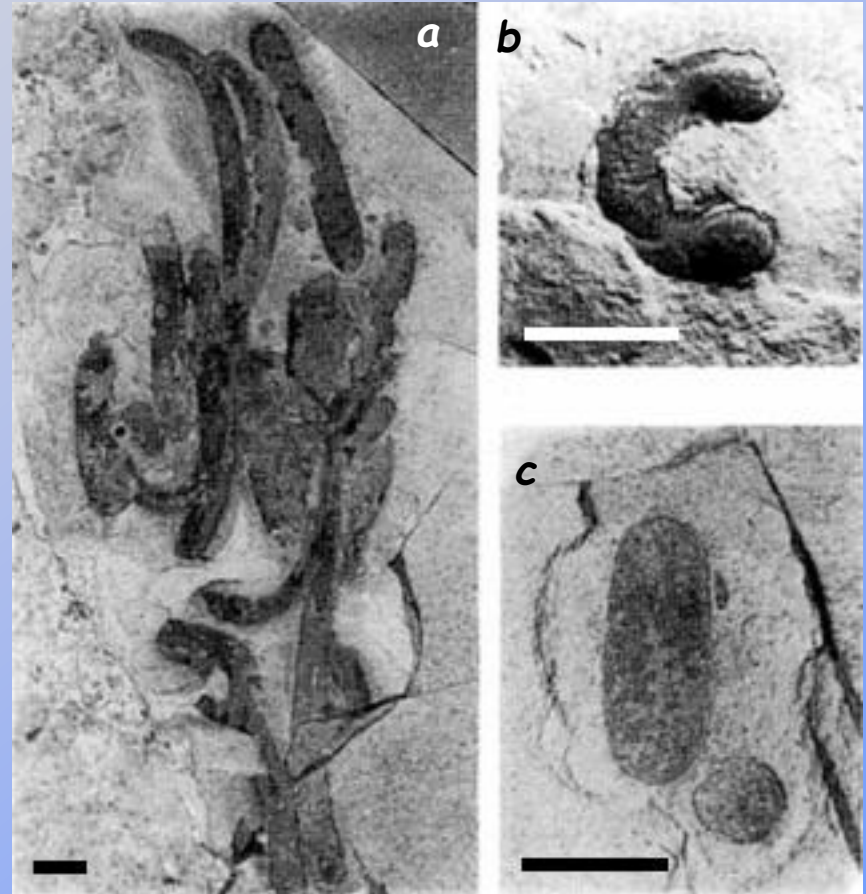
Comparsa della pluricellularità

- Tra 850 e 740 Ma si rinvengono: strutture vermiformi (Cina)
- Tra 900 e 700 Ma si rinvengono: impronte carboniose nastriformi (Cina)
- Circa 1000 ? Ma si rinvengono: tracce fossili (pluricellulari?) (Zambia)

Probabili metafite primitive
Territori del Nord-Ovest, Canada
Circa 700 Ma



Gyrpania



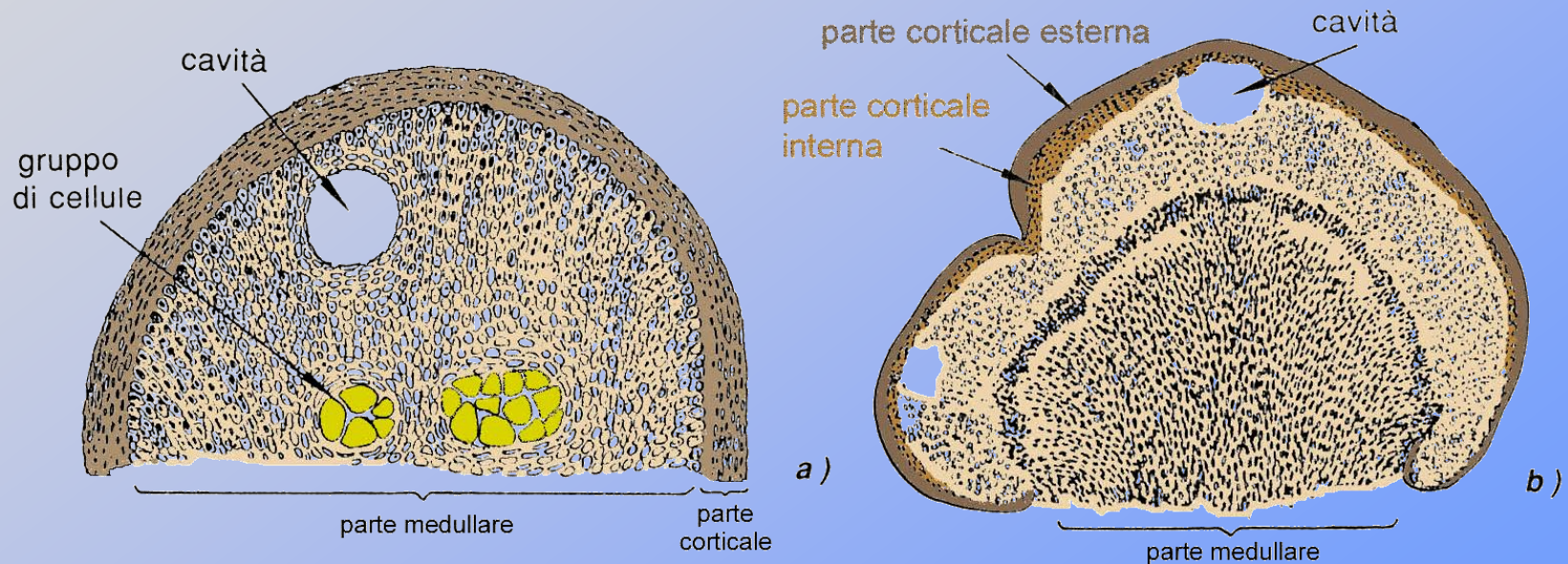
Tawuia dalensis. In c si distingue anche l'acritarco *Chuarina* (forma tonda).

Barre = 3 mm

Metafite primitive

Cina meridionale

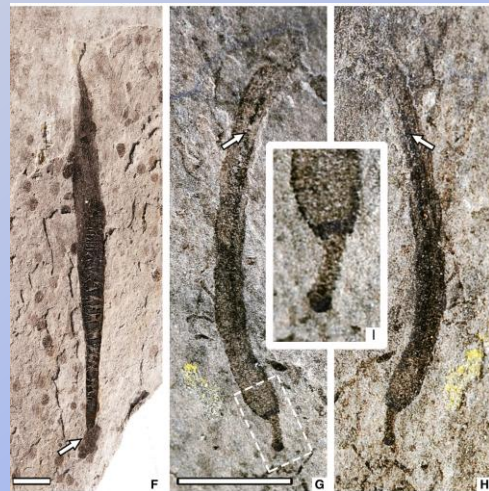
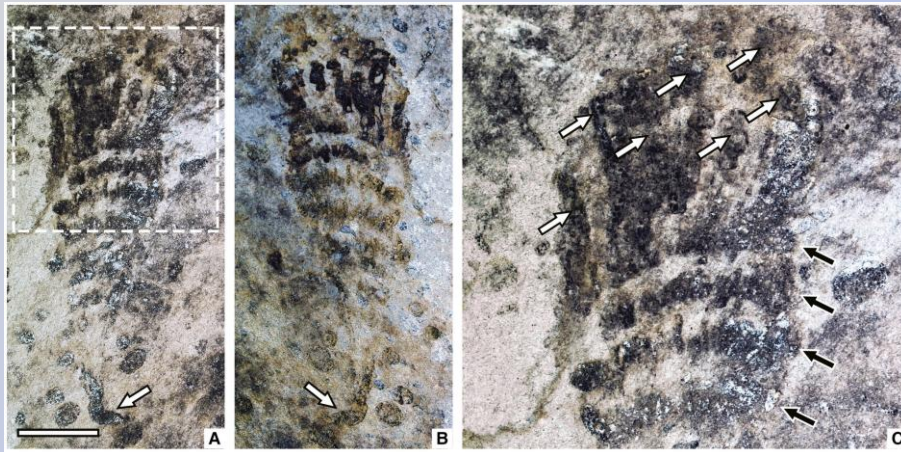
680 Ma



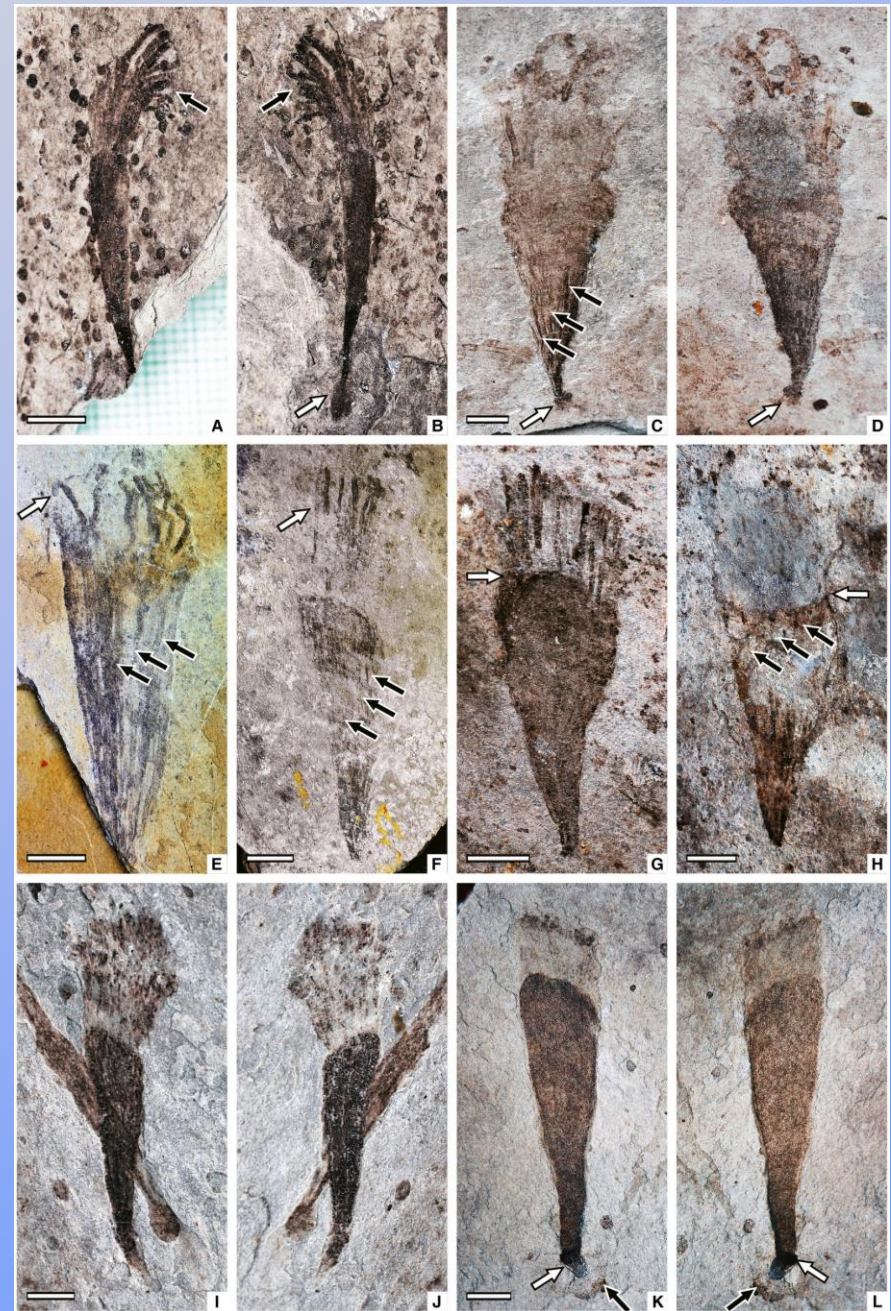
Rappresentazione dell'organizzazione dei tessuti e della microstruttura in *Thallophyta ramosa* (a) e *Thallophyta simplicia* (b). Queste piccole tallofite potevano raggiungere 2 cm e costituiscono i più antichi resti pluricellulari di sicura attribuzione sistematica.

Affinità incerta

Lantian Fm., Cina meridionale
570 Ma

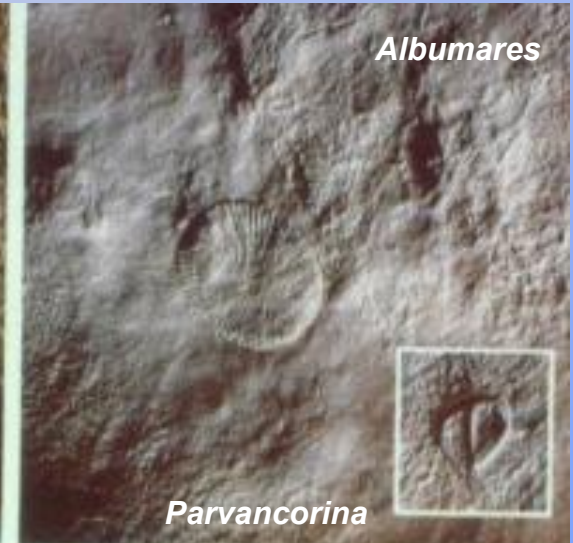
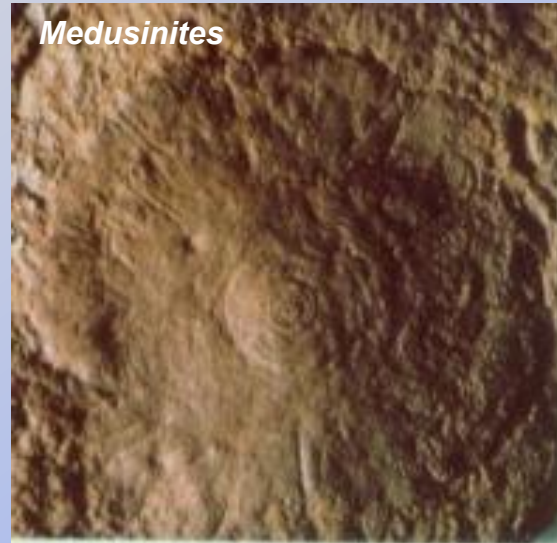


Chen et al, 2016
Scala = 5 mm



Fauna di Ediacara
Southwestern Australia
620-550 Ma

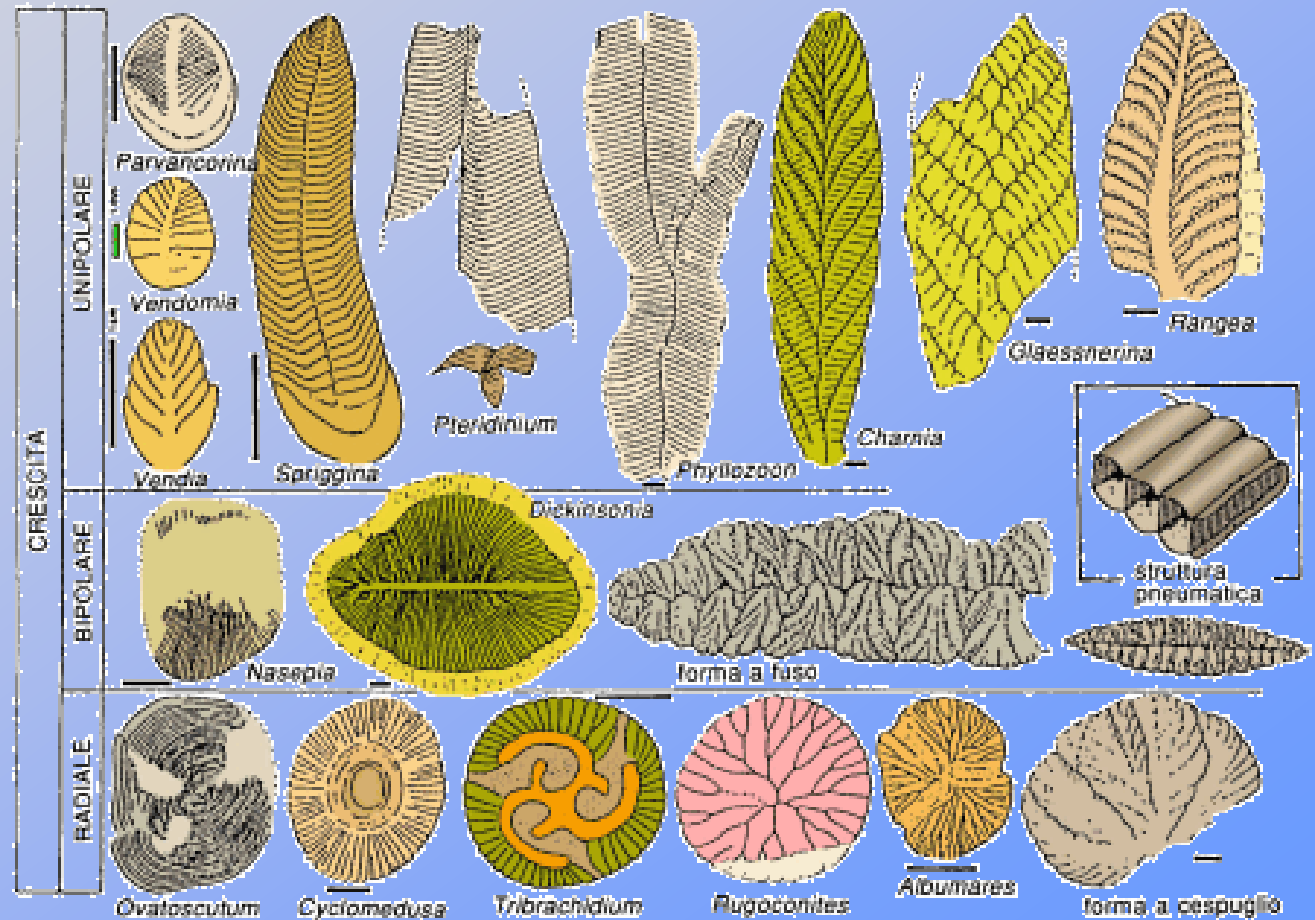
Dimensioni = 2-8 cm



Fauna di Ediacara

Southwestern Australia

630-550 Ma



Fauna di Ediacara
Southwestern Australia
630-550 Ma



Pteridinium



Dickinsonia



Charnia

Fauna di Ediacara

Southwestern Australia
630-550 Ma



Comparsa della pluricellularità

Con relativa certezza si può affermare oggettivamente che la prima radiazione adattativa dei metazoi e dei metafiti è avvenuta non prima di 650-700 Ma (fine del Precambriano).

Con la comparsa della pluricellularità il processo evolutivo ha subito una profonda accelerazione.

Processi di riproduzione

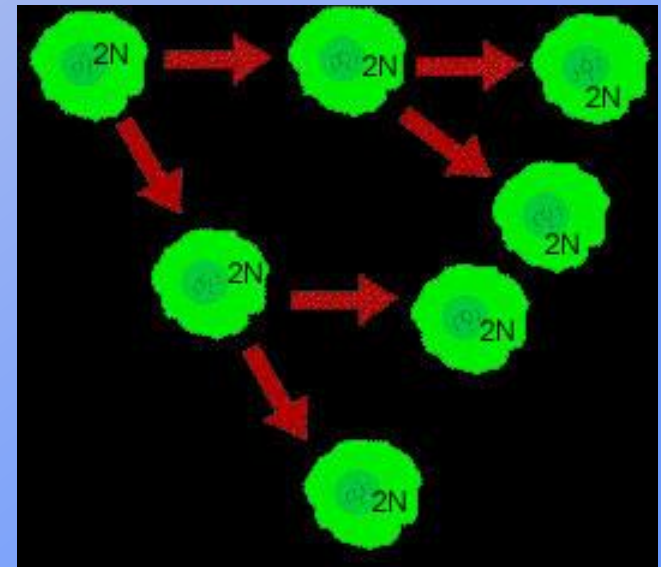
Processi di riproduzione

- **Scissione** nei procarioti
- **Mitosi** negli eucarioti unicellulari primitivi
- **Meiosi**: comparsa della sessualità

Come certe microscopiche alghe unicellulari viventi (es. *Chlorella*,) i primi acritarchi si moltiplicavano per mitosi, che rappresenta il modo più semplice per una cellula eucariotica di riprodursi.

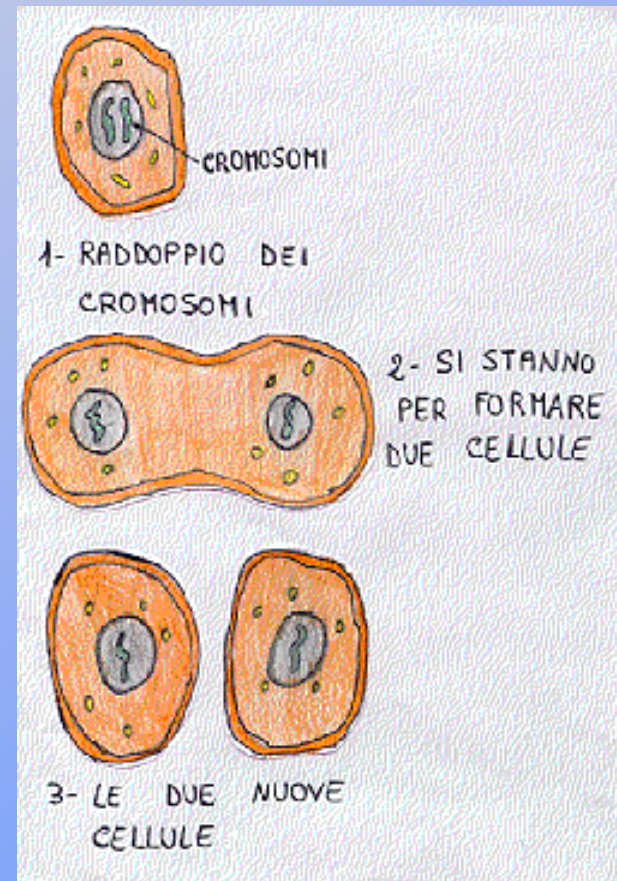
La cellula madre si clona in due copie esatte di se stessa.

Nella maggior parte dei procarioti la scissione cellulare è simile: l'unico cromosoma della cellula madre si duplica e le due copie vengono trasmesse alle cellule figlie, formatesi per divisione trasversale della cellula madre.



Mitosi

La clonazione per **mitosi** (appare per la prima volta negli eucarioti unicellulari) è più complessa perché la cellula eucariotica contiene molti cromosomi protetti da una membrana nucleare, che deve rompersi perché i cromosomi duplicati possano trasmettersi alla discendenza. I cromosomi si duplicano, si liberano del nucleo, si dispongono vicino al piano equatoriale della cellula e vengono trascinati in direzione opposta da fibre ricche di proteine (fuso mitotico) dentro le due nuove cellule, ciascuna copia fedele della madre.



La mitosi pur essendo un sistema semplice è altamente organizzato.



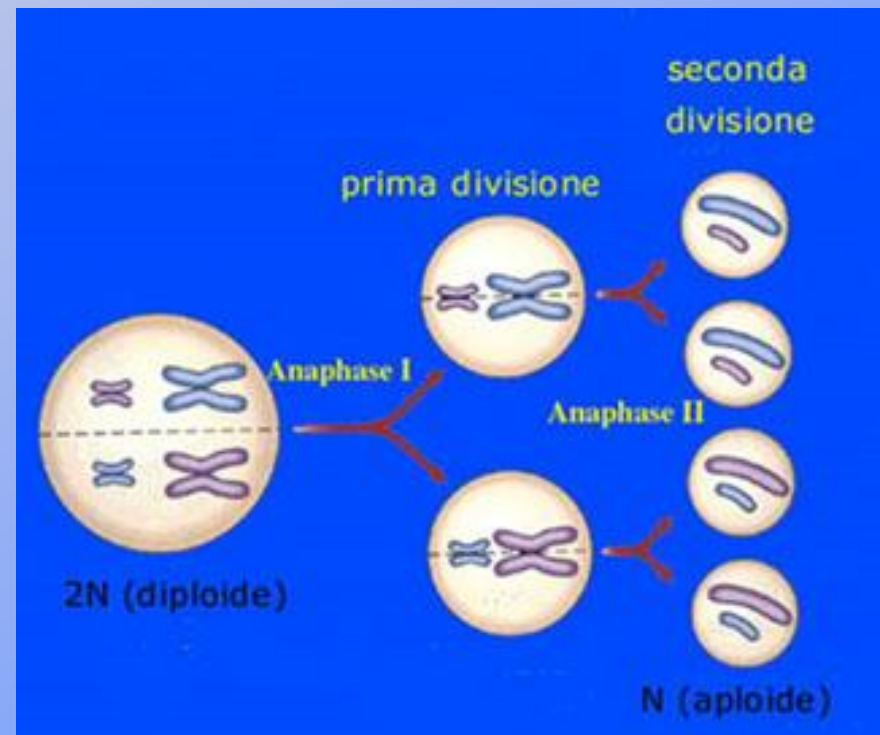
Il fitoplancton mitotico (acritarchi) ha costituito una tappa importante per i successivi avanzamenti evolutivi.

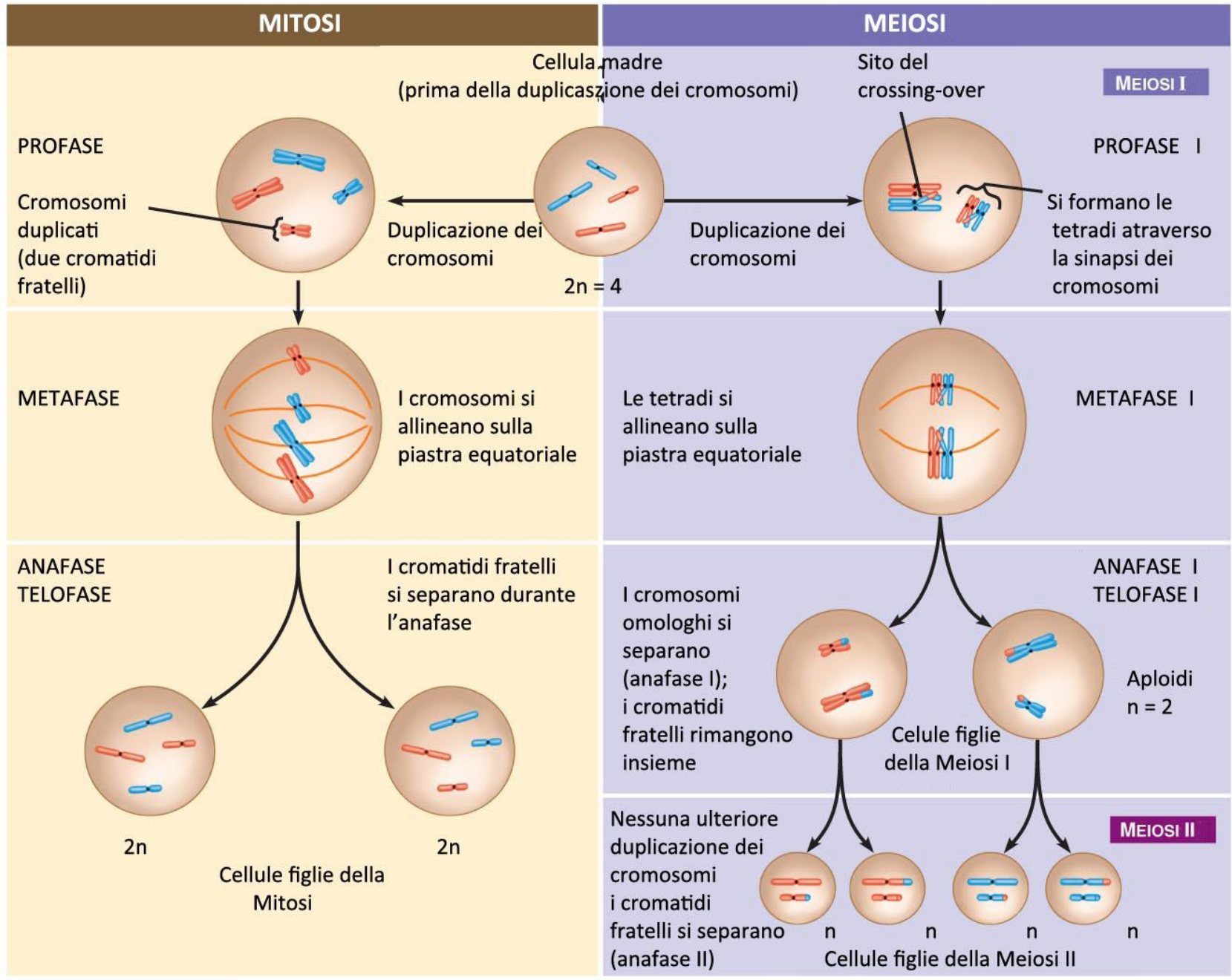
Meiosi

La divisione cellulare per **meiosi** si comincia a riscontrare in eucarioti unicellulari.

Per esempio i foraminiferi presentano una tipica alternanza di generazione, riproducendosi in fasi alterne per via asessuata (schizogonia) e sessuata (meiosi).

La meiosi dimezza il numero dei cromosomi.





Conseguenze della sessualità

L'avvento della sessualità negli eucarioti unicellulari rappresenta la fonte primaria della variabilità genetica e di conseguenza della rapidità dell'evoluzione e dell'incremento costante della biodiversità.

Nei periodi precedenti la comparsa della sessualità, il mondo vivente era assai statico e l'evoluzione assai lenta (ved. Cianobatteri).

Occasionalmente tra i procarioti e i più primitivi eucarioti unicellulari mitotici (acritarchi) comparivano mutanti, ma era un evento raro.

La riproduzione per clonazione conserva lo status quo. La situazione cambiò completamente quando la sessualità, e con essa la meiosi, soppiantò o si aggiunse alla riproduzione asessuata.

Un esempio:

in una **popolazione asessuata** 10 mutazioni possono produrre **11** combinazioni di geni (genotipi): quella di partenza più le 10 dei nuovi mutanti

in una popolazione di organismi **sessuati** (supposta per semplicità geneticamente uniforme), le stesse 10 mutazioni possono rimescolarsi in modo da produrre 3^{10} genotipi (circa **60.000**).

Cento mutazioni per via asessuata producono 101 combinazioni, con la riproduzione sessuata ne darebbero $3^{100} = 5 \times 10^{47}$.

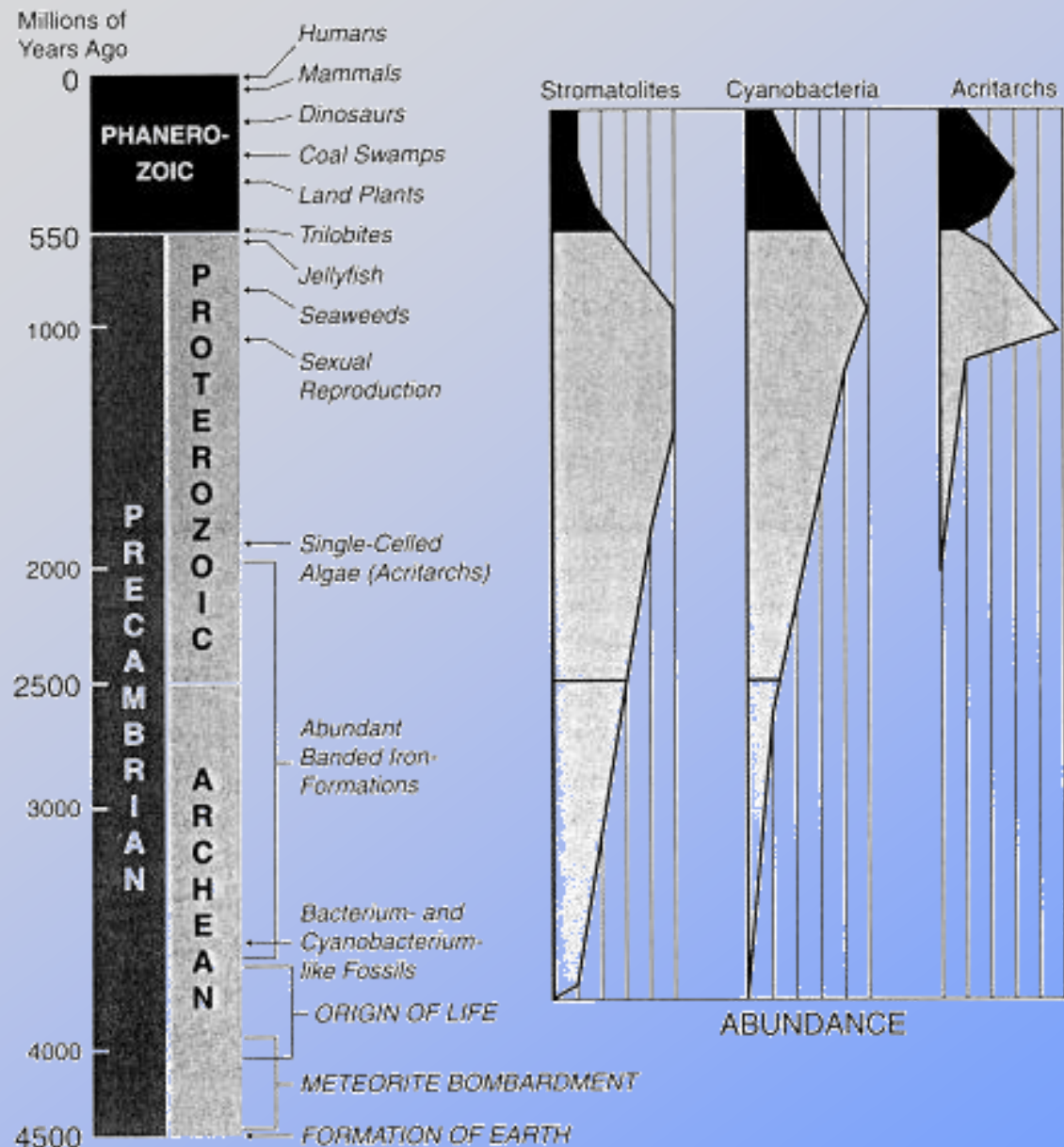
Relazioni tra sessualità e speciazione

La sessualità producendo un numero pressoché infinito di combinazioni geniche ha fatto crescere rapidamente la variabilità genotipica e di conseguenza quella fenotipica. Poiché numerose mescolanze portano alla comparsa di nuove specie, la sessualità ha accelerato la genesi di nuovi tipi di organismi.

Tra le più importanti innovazioni consequenziali avvenne la divisione del ciclo vitale in due parti distinte:

1. una dedicata alla crescita corporea dell'organismo per via mitotica
2. l'altra alla sua riproduzione per via meiotica.

Relazioni tra sessualità e speciazione



Il ruolo fondamentale della comparsa della sessualità a partire da 570 Ma e la sua assenza nei tempi precedenti, separano ancora una volta queste due grandi epoche della storia della vita.

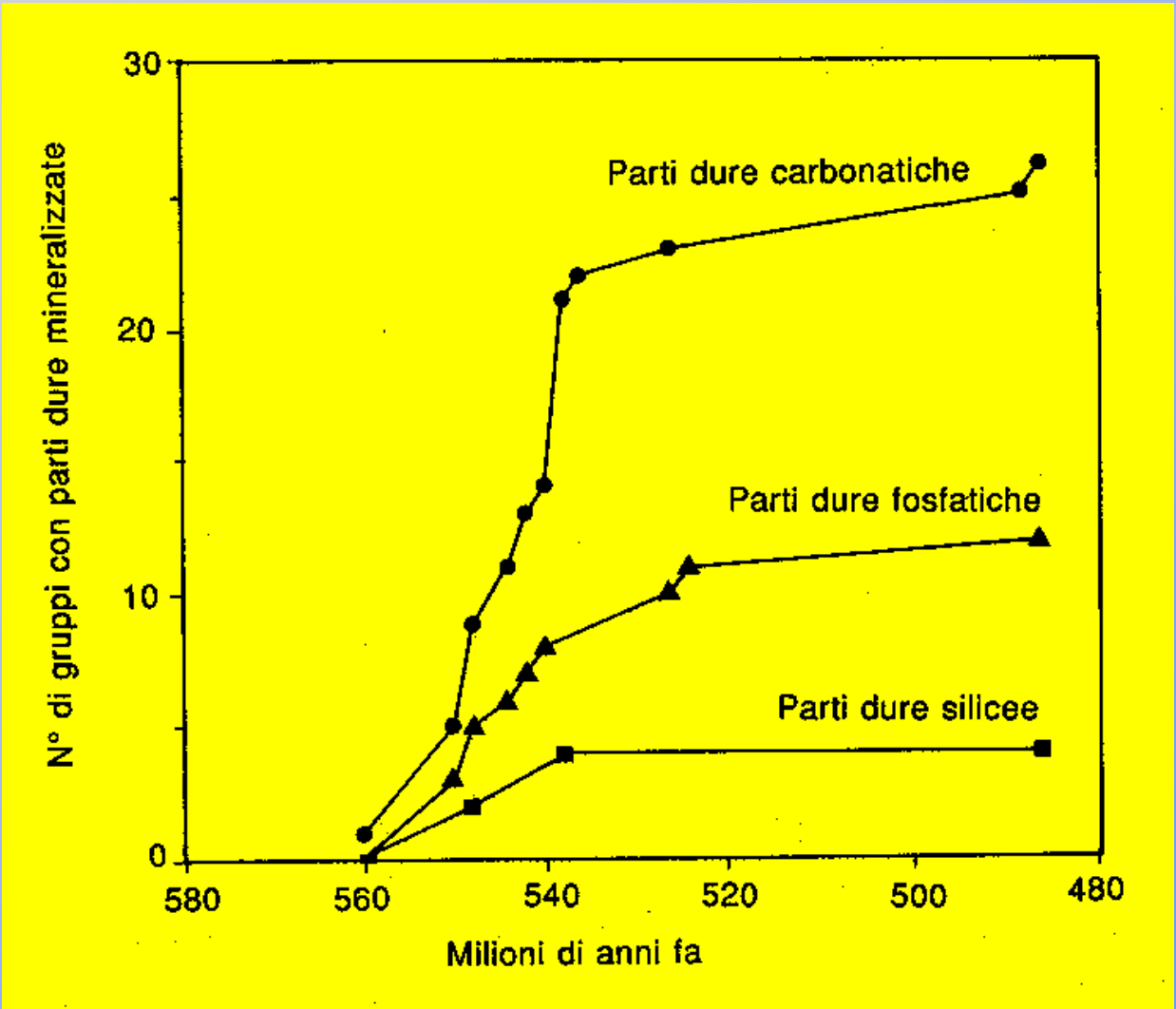
Biomineralizzazione

La biomineralizzazione è stato un processo graduale. Già a partire da circa 3.5 miliardi di anni comincia a verificarsi la precipitazione di CaCO_3 nella parete organica dei batteri (in particolar modo dei calcimicrobi), che poi prosegue sempre più intensa nel corso dei tempi.

A 540 Ma (inizio Cambriano) la biomineralizzazione è un evento ormai acquisito negli eucarioti, con la presenza di parti scheletriche mineralizzate (calcite, calcite magnesiaca, aragonite, apatite, silice amorfa, solfato di stronzio, fosfato di calcio, ecc.):

- precipitazione di CaCO_3 nella guaina dei calcimicrobi
- gusci di unicellulari eucarioti (foraminiferi, radiolari...)
- gusci di pluricellulari microscopici (ostracodi...)
- parti microscopiche di organismi pluricellulari "molli" (Conodonti, ...)
- endoscheletri ed esoscheletri di vario tipo, ecc.

Uno degli aspetti significativi della radiazione biologica all'inizio del Cambriano (540 M.a.) fu la comparsa di abbondanti parti scheletriche biomineralizzate, che svolgevano varie funzioni: protezione, sostegno, locomozione ecc.



Ipotesi sull'origine della biomineralizzazione

Le problematiche e le interpretazioni si basano su criteri scientifici moderni, in seguito a recenti studi.

Esistono quattro ipotesi:

Predazione

Disintossicazione

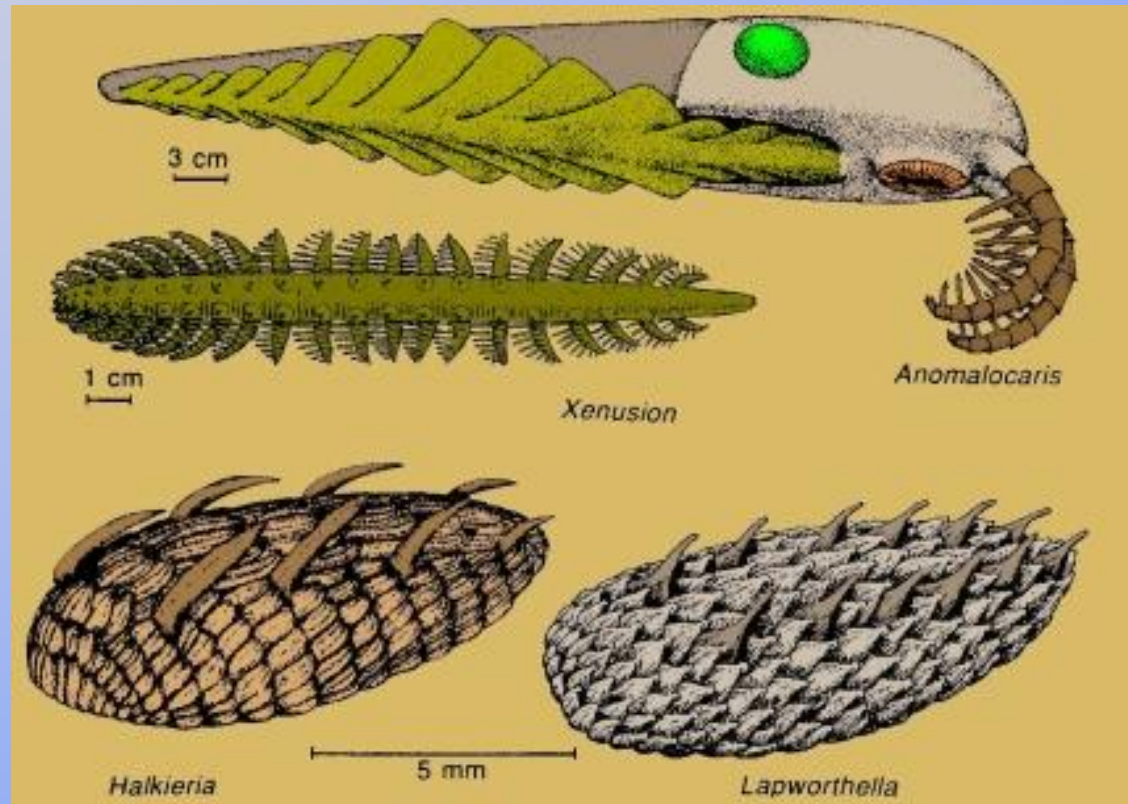
Aumento delle dimensioni

Ambiente

Predazione

Quest'ipotesi si basa sulla constatazione dell'effetto protettivo degli esoscheletri ed è confermata da reperti fossili a partire da 540 Ma, quali il rinvenimento di:

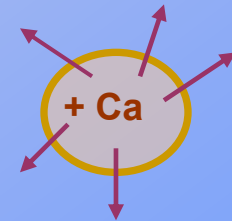
organismi predatori, di strutture predatorie, tracce di predazione, adattamenti antipredatori, armatura a scleriti, sviluppo di spine, ecc.



Disintossicazione

Le parti biom mineralizzate avrebbero avuto origine dalla necessità fisiologica di eliminare l'eccesso di calcio, in quanto tossico per l'organismo in dosi elevate.

Quest'ipotesi non trova sufficiente credito in quanto non spiega la grande diversità ed il successo degli organismi privi di parti dure calcificate. Inoltre va rilevato che il calcio presente in basse quantità negli oceani primitivi, raggiunse livelli simili a quelli attuali attorno a 1000-800 Ma, cioè circa 200-300 Ma prima della quasi improvvisa comparsa della biom mineralizzazione all'inizio del Cambriano.



Aumento delle dimensioni

Quest'ipotesi può sembrare plausibile solo per gli organismi pluricellulari, soprattutto di grandi dimensioni, ma non spiega la biomineralizzazione dei gusci degli unicellulari (esigenza di uno scheletro con funzioni di sostegno per la locomozione e per gli organi atti alla respirazione, circolazione, nutrizione ecc.).

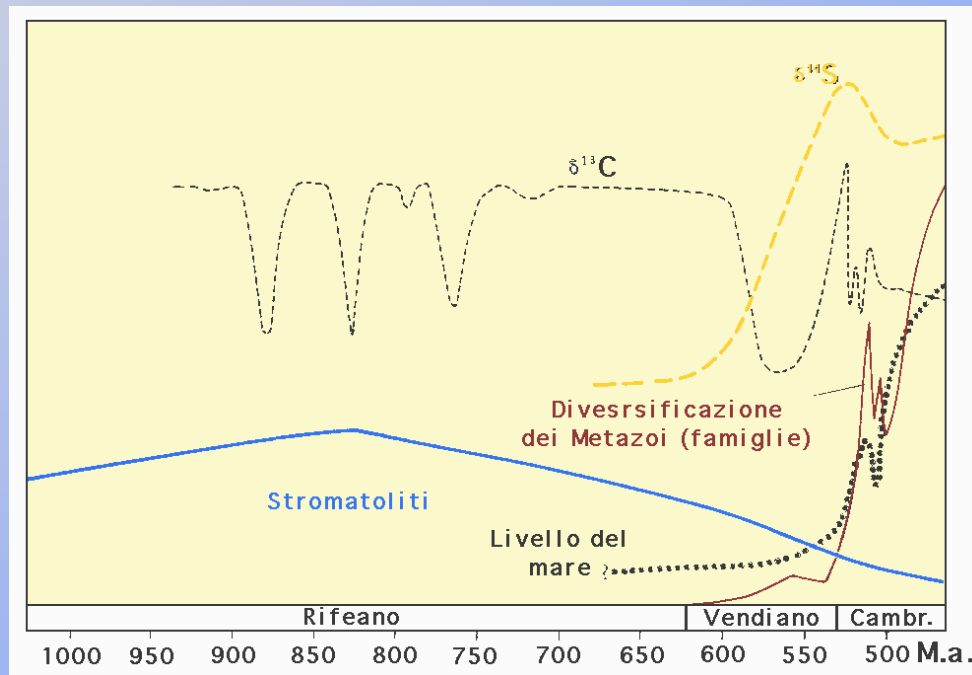
Si possono fare inoltre varie obiezioni:

- l'aumento corporeo si attuò in molte forme durante il Cambriano e l'Ordoviciano, dopo cioè che le parti scheletriche biomineralizzate si erano già evolute.
- i primi molluschi provvisti di scheletro, comparsi a partire da 540 Ma erano di piccole dimensioni
- molti grandi invertebrati marini (ottopodi, calamari,....) sono privi di parti dure mineralizzate
- il più grande predatore vissuto intorno a 520 Ma, (un artropode) aveva una struttura scheletrica organogena e non mineralizzata.

Ambiente

E' una ipotesi relativamente recente che si basa sui grandi cambiamenti avvenuti nei paleoceani al limite Precambriano-Cambriano (540 Ma). Gli studi sono ancora in corso

I fattori ambientali sarebbero alla base della seguente biomineralizzazione sequenziale secondo la successione:
aragonite, calcite altomagnesiaca, apatite, calcite bassomagnesiaca.



Commenti sulle varie ipotesi

L'incremento dei livelli di calcio negli oceani e dell'ossigeno nell'atmosfera, che raggiungono valori importanti intorno ai 540 Ma, contribuirono certamente all'evoluzione delle parti biomineralizzate carbonatiche, rendendo gli organismi disponibili ad opzioni evolutive, prima inaccessibili.

Il trasferimento di calcio tossico dai tessuti ad uno scheletro inerte (metazoi) può avere svolto un ruolo nella storia della biomineralizzazione, ma non è da considerarsi un fattore primario.

L'ipotesi della pressione selettiva della predazione spiega in modo coerente l'origine delle strutture biomineralizzate nei calcimicrobi (procarioti), negli eucarioti unicellulari e pluricellulari. Trova conferma inoltre nel record fossile.

La secrezione di strutture biomineralizzate ha costituito una delle innovazioni biologiche intorno ai 540 Ma, favorita certamente dall'evoluzione più o meno sincrona nella chimica oceanica.

Conclusioni

Il ruolo della biomineralizzazione è fondamentale per l'instaurarsi di complessi geochimici integrati tra biosfera, idrosfera e litosfera.

Uno degli aspetti più importanti e apprezzabili già a prima vista è il processo di trasferimento di materia dalla biosfera (tramite il metabolismo degli organismi) alla litosfera (deposizione di grandi corpi sedimentari di origine biogenica).