

Origine della vita

Le teorie attualmente più accreditate hanno in comune l'ipotesi di una:

Evoluzione precellulare

Si accetta universalmente che le prime forme di vita sono costituite da batteri che vivevano in ambienti marini.

Viene generalmente ammesso che lo sviluppo e l'evoluzione della vita sia avvenuto attraverso 5 tappe successive:

1. **Origine delle prime molecole organiche, partendo da composti inorganici (es. minerali)**
2. **Sintesi di molecole organiche ad elevata massa molecolare**
3. **Transizione non viventi - viventi precellulari (precursori delle prime cellule)**
4. **Comparsa di primi organismi unicellulari, caratterizzati da cellule prive di nucleo (procarioti)**
5. **Comparsa di primi organismi unicellulari, con cellule provviste di nucleo differenziato (eucarioti unicellulari)**

Mentre le prime tre tappe sono ancora in gran parte ipotetiche e dimostrabili solo parzialmente, le ultime due (4 e 5) sono ben documentate.

Le fonti di energia necessarie per alimentare le prime reazioni chimiche (1-3) si ammette che possano essere state:

- energia solare
- geotermica (vulcanismo sottomarino)
- fulmini
- radiazione UV
- radiazioni ionizzanti (raggi β e γ , per decadenza radioattiva)
- onde d'urto (impatto meteoriti, etc.)

Le prime prove di vita datano circa 4 miliardi di anni fa, cioè appena 500 Ma da quando la crosta terrestre si è solidificata (4.5 miliardi di anni).

La vita deve quindi aver avuto origine in un intervallo compreso tra 4.5 e 4 miliardi di anni fa.

I microfossili e i dati di geochimica isotopica testimoniano concordemente della grande antichità della vita.

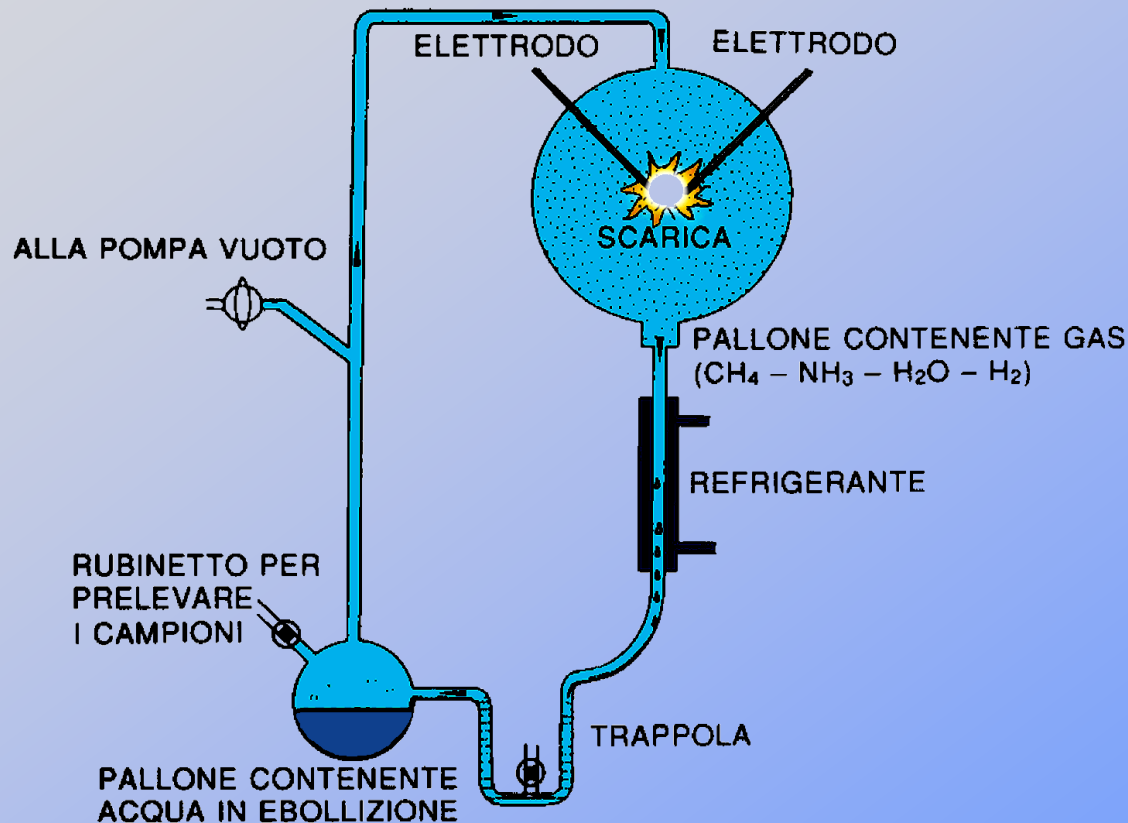
Appena un miliardo di anni dopo la consolidazione della Crosta, la sua superficie pullulava di un microscopico mondo di microrganismi ad alta biodiversità:

autotrofi ed eterotrofi, produttori e/o consumatori di ossigeno, altri capaci di vivere in assenza di ossigeno, altri capaci di produrre metano o altri prodotti chimici (es. acido solfidrico).

Le ricerche paleobiologiche integrate (micropaleontologia, biochimica e geochimica isotopica) rivelano che l'evoluzione primordiale della vita fu sorprendentemente rapida ed articolata.

Il modello più accreditato deriva dalle prime ipotesi formulate tra gli anni '20 e '50 del secolo scorso. Esperimenti in laboratorio confermarono queste ipotesi.

ESPERIMENTO DI MILLER



L'atmosfera della Terra promordiale era costituita da Idrogeno (H_2), metano (CH_4), ammoniaca (NH_3), vapore acqueo (H_2O), monossido e biossido di carbonio (CO e CO_2).

Venne simulata l'ambiente della terra primordiale e attraverso scariche elettriche, dopo una settimana vennero trovati **7 amminoacidi**, tra i quali tre (glicina, alanina e acido aspartico) presenti nelle proteine degli organismi viventi. Si formarono cioè i precursori delle biomolecole, a partire da semplici composti inorganici.

Questo esperimento venne ripetuto in laboratori di tutto il mondo, con pieno successo.

Un modello più innovativo è stato sviluppato più recentemente in laboratori in vari paesi.

In questo nuovo modello le molecole di CO e CO₂, liberate dai magmi nelle profondità oceaniche si sono stabilizzate sulla superficie di grandi minerali (solfuri di ferro, apatite, etc) dove hanno agito con l'idrogeno molecolare presente nelle emanazioni idrotermale per formare monomeri organici.

In conclusione la sintesi di monomeri di **CHON** è abbastanza semplice. Attraverso questi modelli pre-biotici, tra loro abbastanza simili, sono state identificate dozzine di composti organici: quasi tutti i più comuni amminoacidi, le basi puriniche e pirimidiniche del DNA e del RNA, molti tipi di glucidi e i lipidi.

I sistemi viventi sono costituiti al 99,9% di CHON, accompagnati da Zolfo, Fosforo, etc

Perchè proprio CHON?

La risposta è ovvia. La vita è fatta di CHON perchè quando la vita ebbe inizio c'era CHON in abbondanza. Questi elementi inoltre sono tutti capaci di combinarsi tra loro per formare piccole molecole stabili, quali metano, anidride carbonica, ammoniaca e tutti i composti sono solubili in acqua.

Dai protisti all'uomo i sistemi viventi, pur essendo biologicamente straordinariamente differenziati, a livello chimico mostrano una grande uniformità, il che indica una loro comune origine.

Queste caratteristiche dimostrano che non solo i milioni di specie attuali, ma anche gli organismi che sono vissuti in tutte le epoche affondano le loro radici in una sola linea primordiale.

Origine delle cellule

Si ammette che le molecole presenti nel cosiddetto brodo primordiale si siano aggregate a formare goccioline colloidali (coacervati), dotate di una membrana lipidica che le separava dall'ambiente esterno e capaci di compiere al proprio interno reazioni enzimatiche.

Si ipotizza che nei mari primordiali si siano formate piccolissime bolle delimitate da una sottile pellicola (protocellule) che proteggeva le sostanze organiche addensate all'interno, permettendo loro di interagire e assumere nuove conformazioni.

Nel corso dei tempi, al primo strato pellicolare se ne è sovrapposto un secondo, formando così una membrana bistratificata, uguale per struttura alle attuali membrane cellulari. Questo duplice strato deformabile è stato poi rinforzato dall'inserimento di proteine, che contribuiscono a mantenere uno scambio di sostanze nutritive e di scorie con l'habitat esterno (osmosi). Questo duplice strato è stato ulteriormente irrobustito da un involucro rigido, formato da carboidrati e proteine, che ha costituito una capsula resistente come nei batteri.

Processi metabolici

Gli organismi, per vivere, riprodursi ed evolversi, hanno bisogno di CHON ed energia.

Le strategie di vita si esplicano nella **autotrofia** (organismi vegetali) e nell'**eterotrofia** (organismi animali).

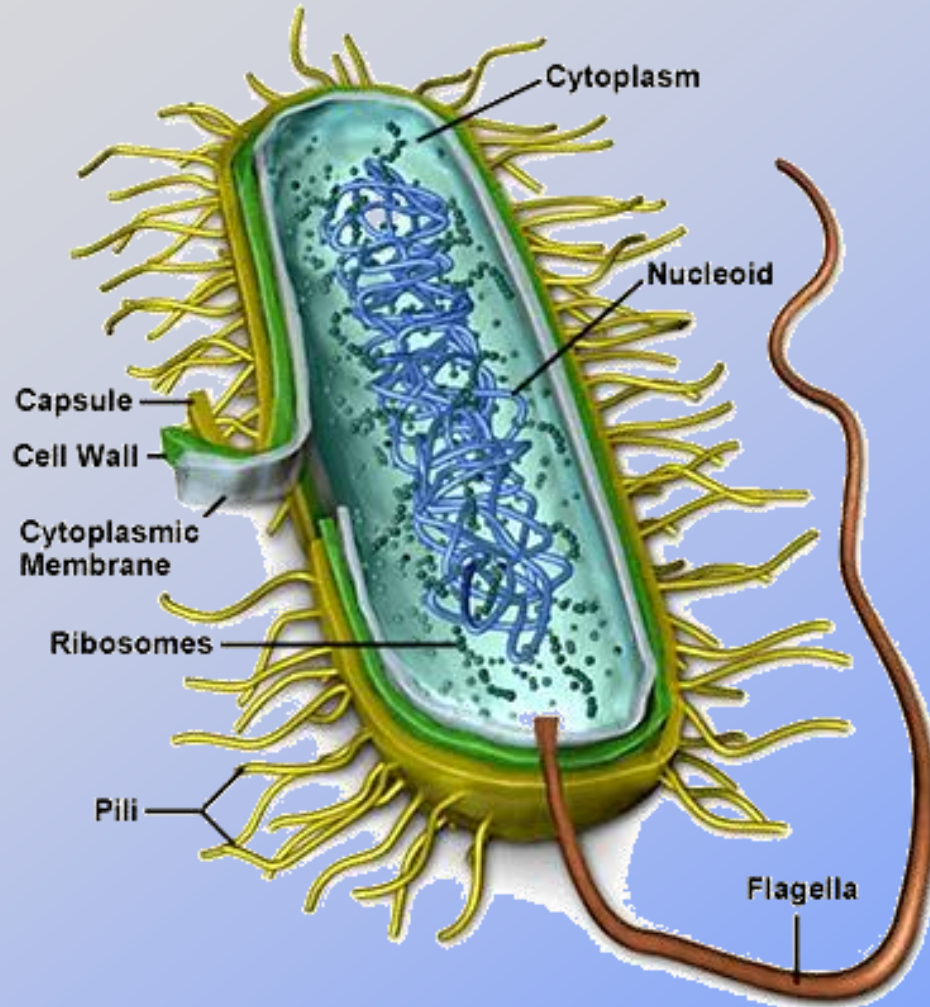
Gli **organismi autotrofi** soddisfano il bisogno di CHON assumendo sostanze nutrienti semplici (anidride carbonica, acqua, nitrati e fosfati) e trasformandole nelle sostanze necessarie per il loro metabolismo.

Alcuni (chemioautotrofi) si procurano l'energia necessaria attraverso reazioni chimiche e per lo più sono fotosintetici e quindi fotoautotrofici, come piante e microrganismi di tipi vegetale, che crescono utilizzando l'energia solare per costruire molecole organiche, quali il glucosio, che poi demoliscono per produrre l'energia necessaria ai processi vitali

Le prime forme viventi

Caratteristiche di procarioti, eucarioti
e primitivi organismi pluricellulari

Prokaryotic Cell Structure



Procariote

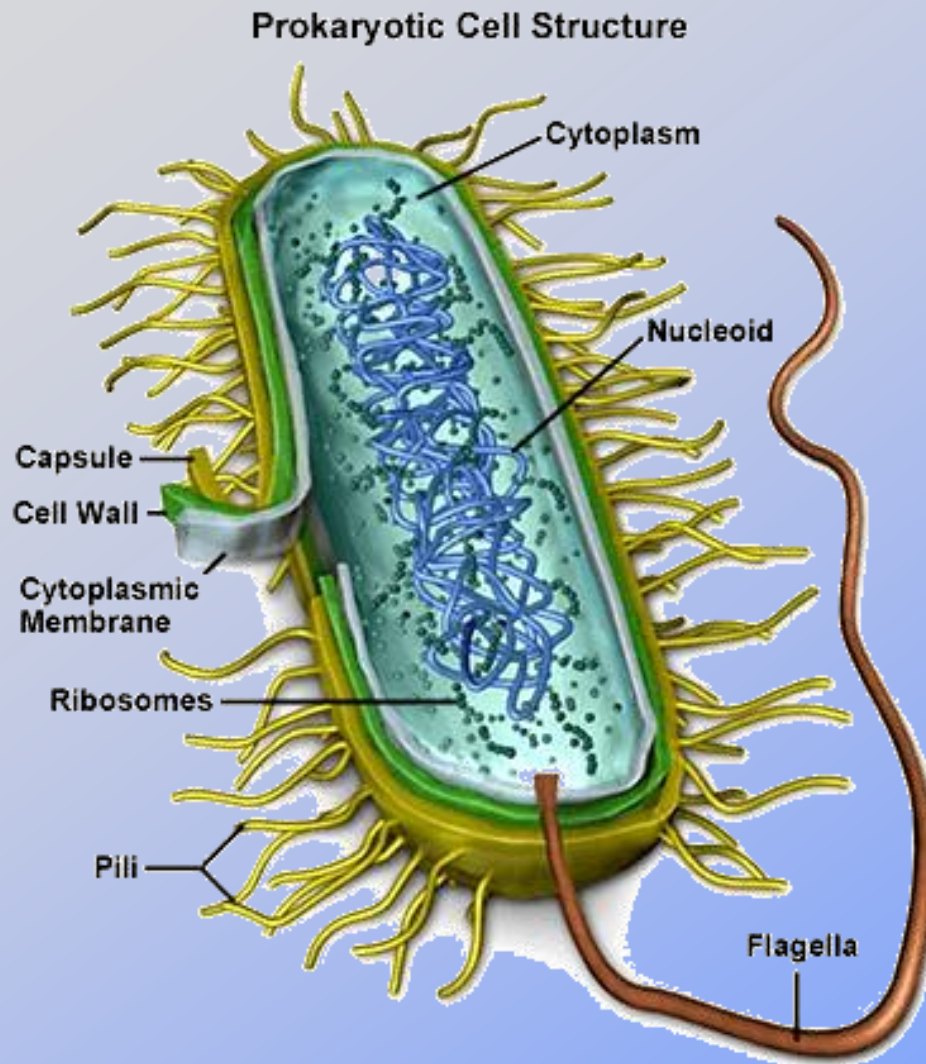
Organismo protocellulare poco differenziato, privo di scomparti interni delimitati da membrana.

Il DNA nucleare è nudo ed è costituito da un unico filamento raggomitolato su se' stesso.

La riproduzione è agamica, per semplice scissione.

Comparsa: circa 4 mld di anni (inizio vita)

Esempi: batteri e calcimicrobi.

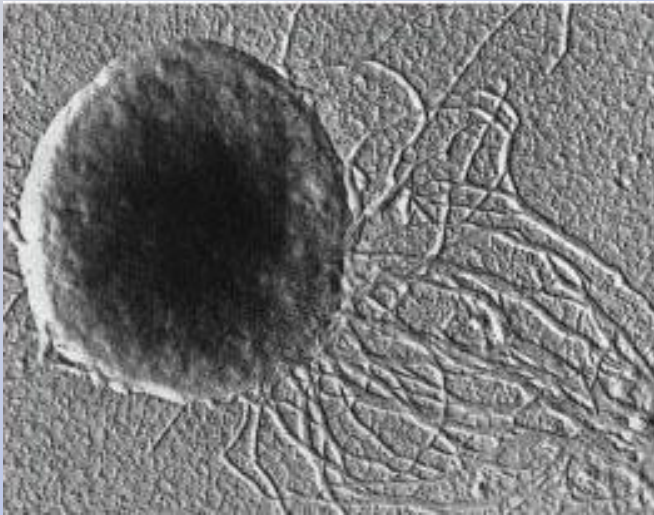


Gli organismi procarioti non possiedono mitocondri, nè cloroplasti, nè altri organuli. Possiedono solo **ribosomi**, necessari per la sintesi proteica.

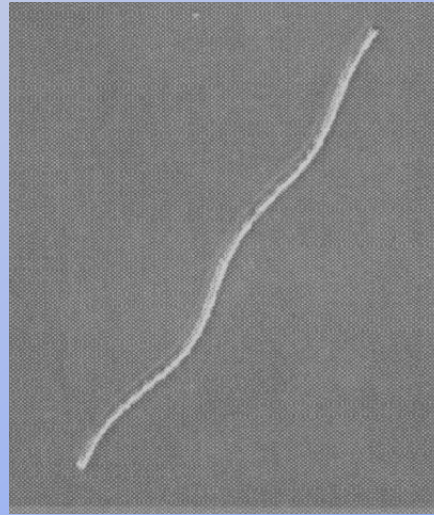
Possono avere metabolismo di vario tipo: gli autotrofi sono in grado di produrre autonomamente le sostanze energetiche (glucosio); gli eterotrofi prelevano, invece, le sostanze energetiche dall'ambiente esterno.

I procarioti sono inquadrati nel Regno Monera, e vengono distinti in batteri e cianobatteri (tra cui calcimicrobi). Entrambi sono fotosintetici e possiedono la clorofilla *a*, come nelle piante.

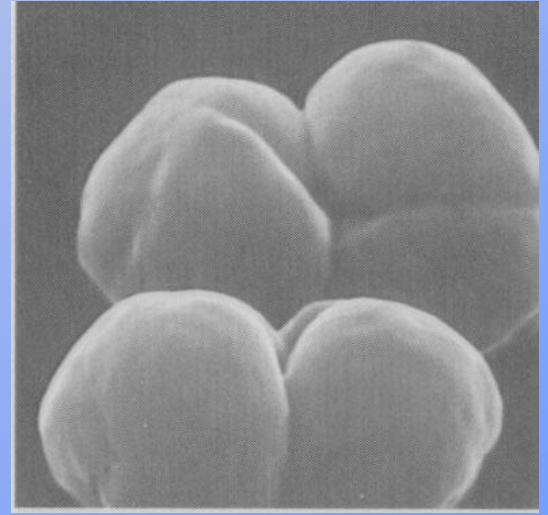
Fra i batteri attualmente viventi, gli **archeobatteri**, particolarmente primordiali, sono ritenuti la forma più simile ai primi organismi apparsi sulla Terra.



Methanococcus



Methanobacterium



Methanosarcina

Gli archeobatteri sono molto diversi, dal punto di vista biochimico, sia da altri procarioti (eubatteri) sia dagli eucarioti. In particolare sono diverse la composizione della membrana cellulare, oltre alle caratteristiche dell'RNA ribosomiale. Possiedono un metabolismo particolare, in base al quale producono metano, partendo da anidride carbonica e idrogeno, gas molto abbondanti nella atmosfera primitiva.

Vivono in condizioni ambientali simili a quelle che si suppone esistessero all'origine della Terra.

Si possono distinguere: i metanobatteri, viventi nel fondo marino e nei fanghi marcescenti; gli alobatteri, viventi in acque salate molto concentrate; i termoacidofili, viventi in prossimità delle sorgenti termali, acide e calde.



Quale poteva essere il metabolismo dei primi organismi?

Sicuramente erano **anaerobi**, cioè non utilizzavano Ossigeno, assente nei primordi dell'atmosfera terrestre.

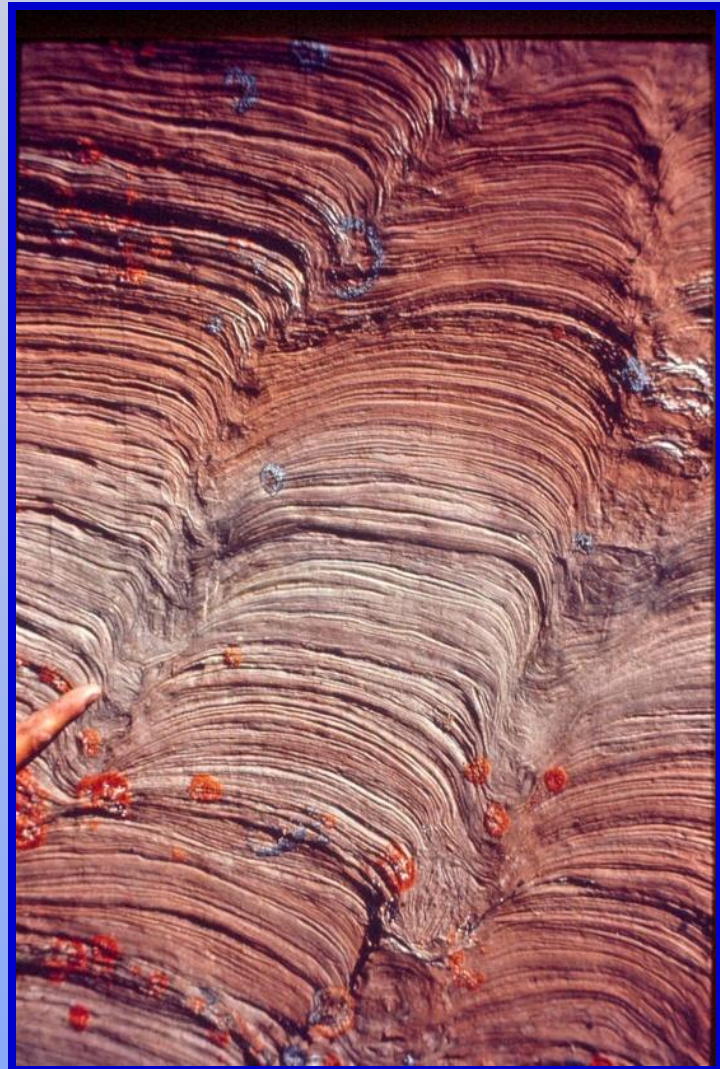


La comparsa della fotosintesi si verificò sicuramente in una fase molto precoce, come suggerito dai ritrovamenti di stromatoliti risalenti a quasi 4 miliardi di anni.



Le **stromatoliti** sono strutture rocciose dall'aspetto striato per sottili bande alterne scure e chiare, dovute alla presenza di materiali depositati dall'attività metabolica di procarioti (calcimicrobi), simili agli attuali cianobatteri, capaci di compiere fotosintesi.

Ne parleremo più avanti

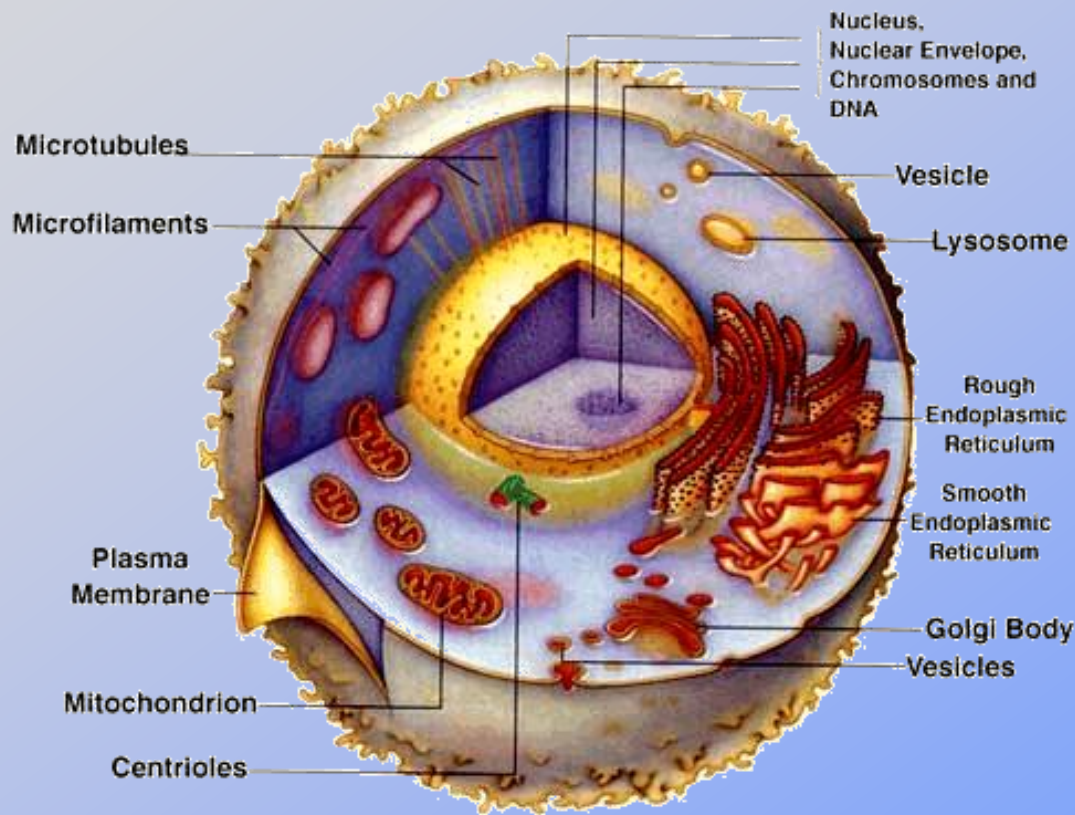


Con la comparsa della fotosintesi, l'ossigeno iniziò ad accumularsi nell'atmosfera terrestre e questo processo determinò almeno due importanti conseguenze:

- la nascita del **metabolismo aerobico**, cioè la respirazione cellulare;
- la formazione dello **strato di ozono**, che protegge i viventi dalle radiazioni ultraviolette provenienti dal sole.

Attualmente l'Ossigeno costituisce il 21% dell'atmosfera e si ritiene che circa 2 miliardi di anni fa abbia raggiunto una concentrazione pari all'1%, precedendo la comparsa dei primi eucarioti e consentendo loro di sviluppare un metabolismo eucariotico.

Eucariote



Organismo cellulare più complesso, con DNA più abbondante, racchiuso nel nucleo.

Si riproducono sia agamicamente (mitosi), che gamicamente (meiosi).

Possiedono organuli specializzati per le diverse funzioni. In particolare, nei mitocondri si svolge la respirazione, mentre i cloroplasti (presenti nei vegetali) sono sede della fotosintesi.

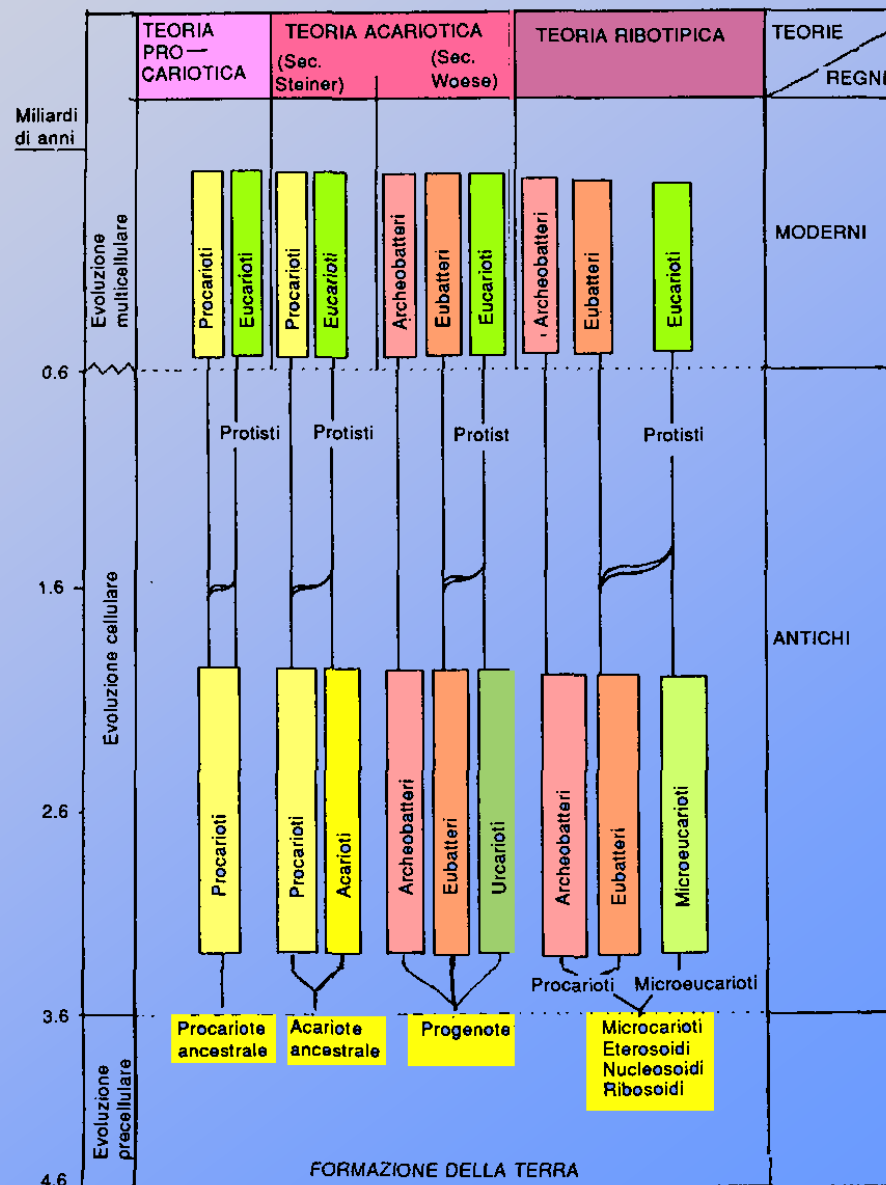
Comparsa eucarioti unicellulari circa 1.8 miliardi di anni.

Comparsa eucarioti pluricellulari circa 700 milioni di anni.

Sviluppo degli eucarioti

Esistono varie teorie:

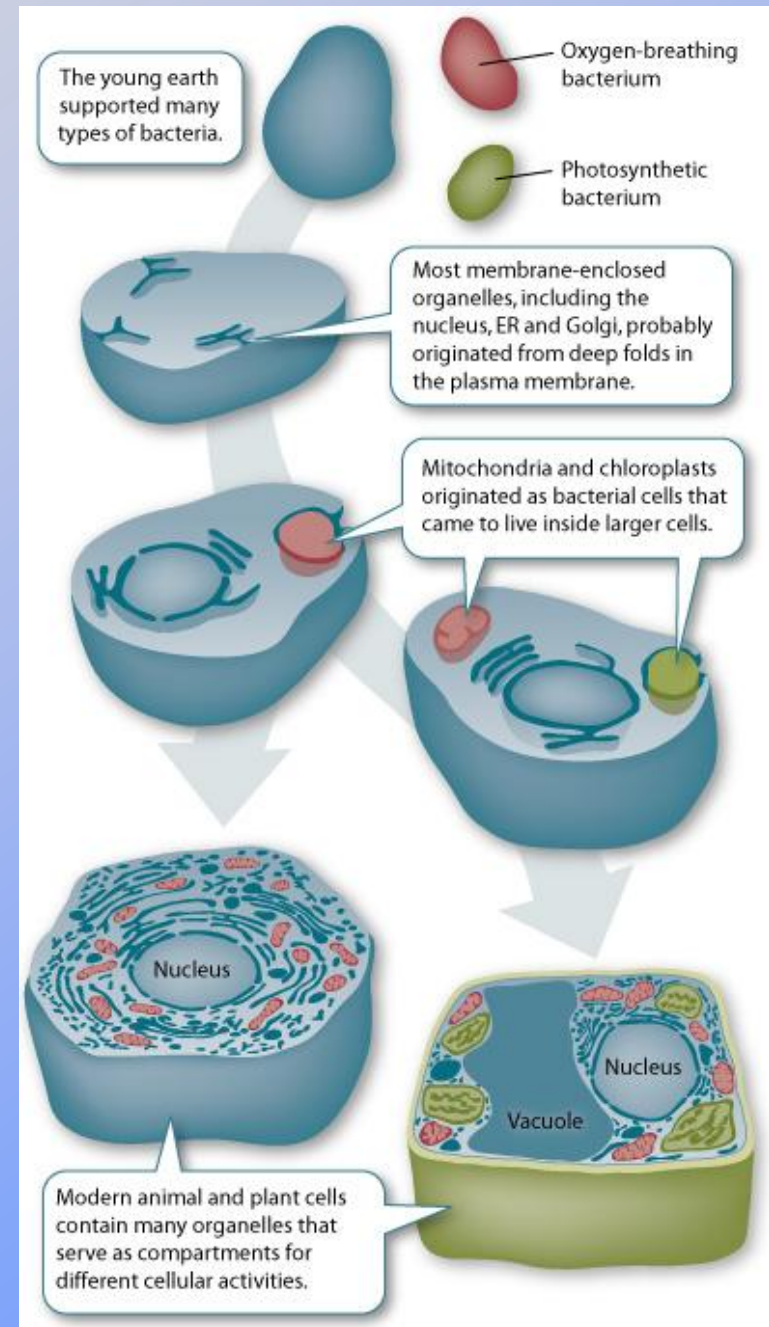
- Teoria procariotica
- Teoria acariotica
- Teoria ribotica della cellula (o ribotipica)



Sviluppo degli eucarioti

Esistono varie teorie:

- Teoria procariotica
- Teoria acariotica
- Teoria ribotica della cellula (o ribotipica)



Documenti della vita primordiale

La paleontologia (o paleobiologia) è finora la sola scienza che può dare concrete informazioni sull'inizio dell'attività biologica.

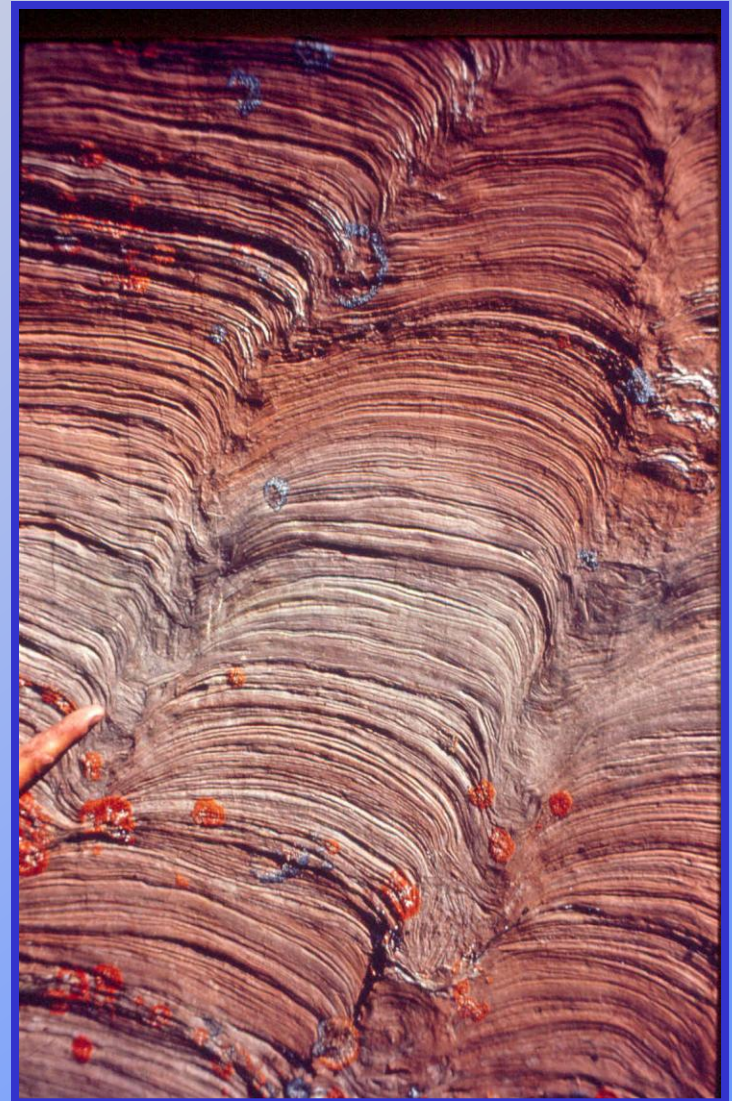
La quasi totalità dei reperti fossili ritrovati tra 4 miliardi e 700 milioni di anni è costituito da microrganismi unicellulari.

Gli organismi pluricellulari compaiono circa 700 milioni di anni fa.

Stromatoliti o microbialiti

Sono strutture organico-sedimentarie (con dimensioni da centimetriche a decimetriche) finemente laminate dovute all'attività di comunità di microrganismi fotosintetici, tra i quali predominano i procarioti (cianobatteri e batteri termofili, come l'attuale *Cloroflexus*).

Subordinatamente possono partecipare alla loro costruzione anche microscopiche alghe eucariotiche.

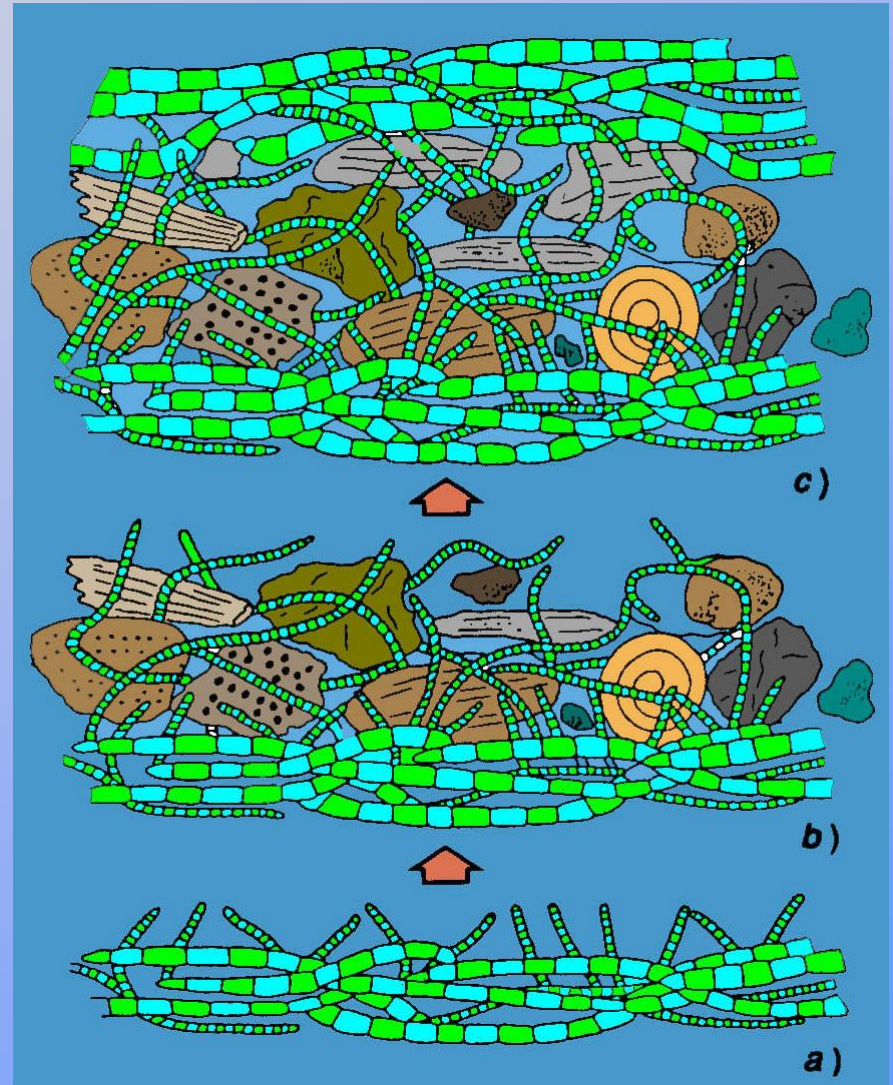


2.600-2.300 m.a., Canada

Le stromatoliti, che si formano anche attualmente, sono molto frequenti a partire da 4 miliardi di anni, con punte attorno a 3.5.

Si formano per intrappolamento periodico di particelle sedimentarie molto fini (fango) nella mucillagine dei tappeti gelatinosi prodotti dai batteri.

Crescita ciclica in una stromatolite attuale. Di giorno (a-b) il sottilissimo tappeto algale, attraverso i suoi filamenti, intrappola i granuli di sedimento. Durante la notte (c) lo sviluppo è prevalentemente orizzontale.

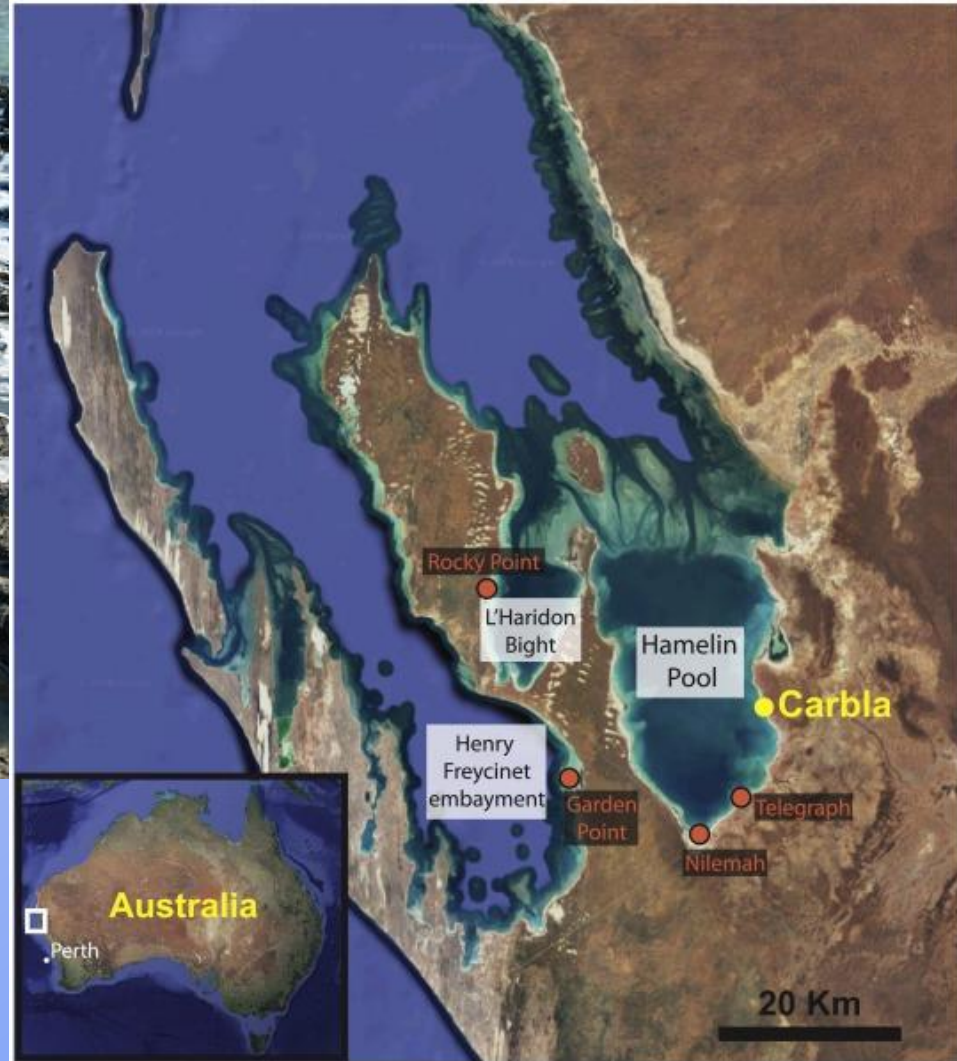


Le prime forme viventi

Documenti della vita primordiale
Stromatoliti o microbialiti



Stromatoliti attuali
Skark Bay, Western Australia



Le prime forme viventi

Documenti della vita primordiale
Stromatoliti o microbialiti



Stromatoliti attuali
Skark Bay, Western Australia
In regime di bassa e di alta marea

Le prime forme viventi

Documenti della vita primordiale
Stromatoliti o microbialiti



Le stromatoliti attuali
della Skark Bay...

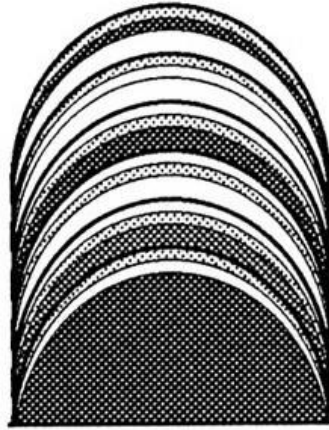
... sono praticamente
identiche a stromatoliti
fossili della Transvaal
Dolomite del Sud Africa
datate a 2300 Ma



Forme delle stromatoliti



planari



a cupola



colonnari

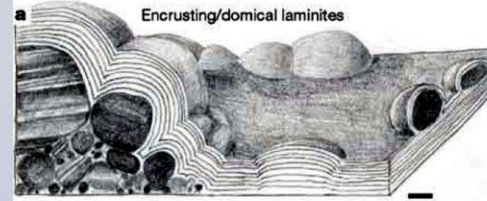


coniche

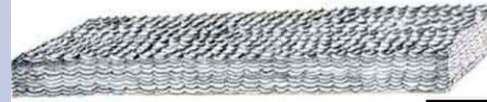
Le prime forme viventi

Forme delle stromatoliti

Allwood et al. (2006)
Barra di scala = 5 cm
(in o = 1 cm)



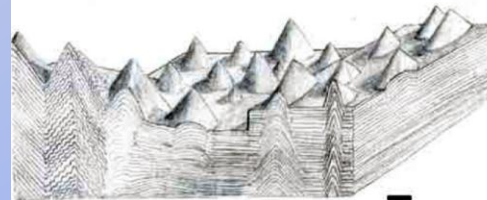
d Small crested/conical laminites



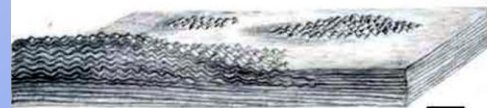
g Cuspate swales



j Large complex cones



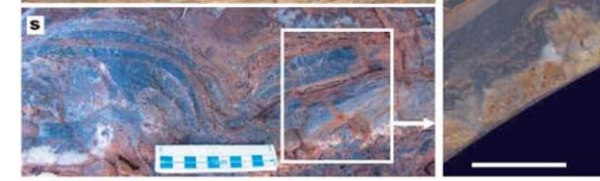
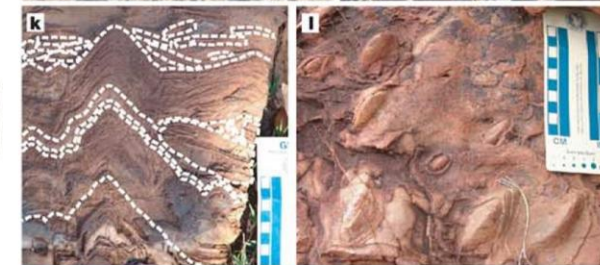
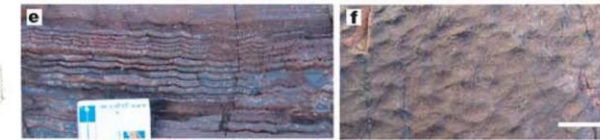
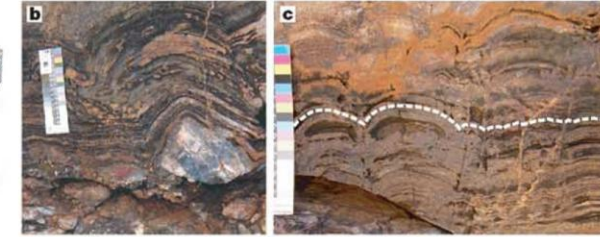
m Egg-carton laminites



p Wavy laminites



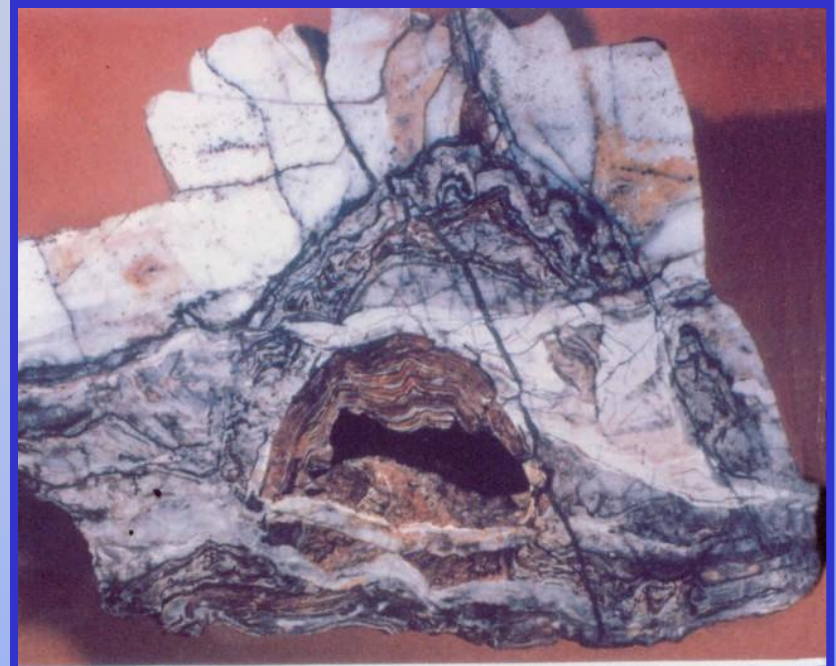
r Iron-rich laminites



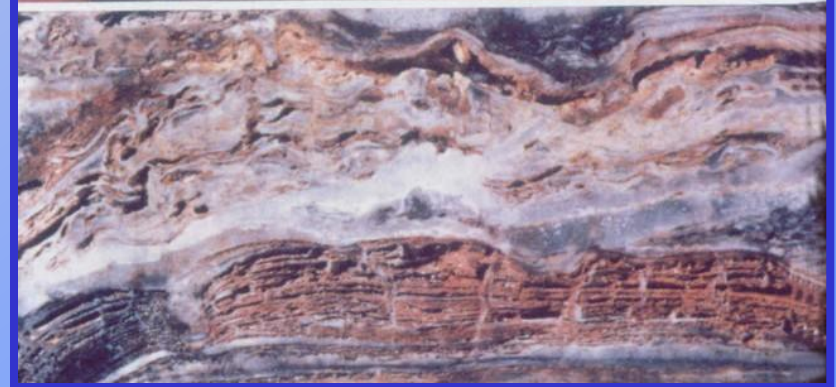
Forme delle stromatoliti



**Stromatoliti colonnari,
Africa meridionale**

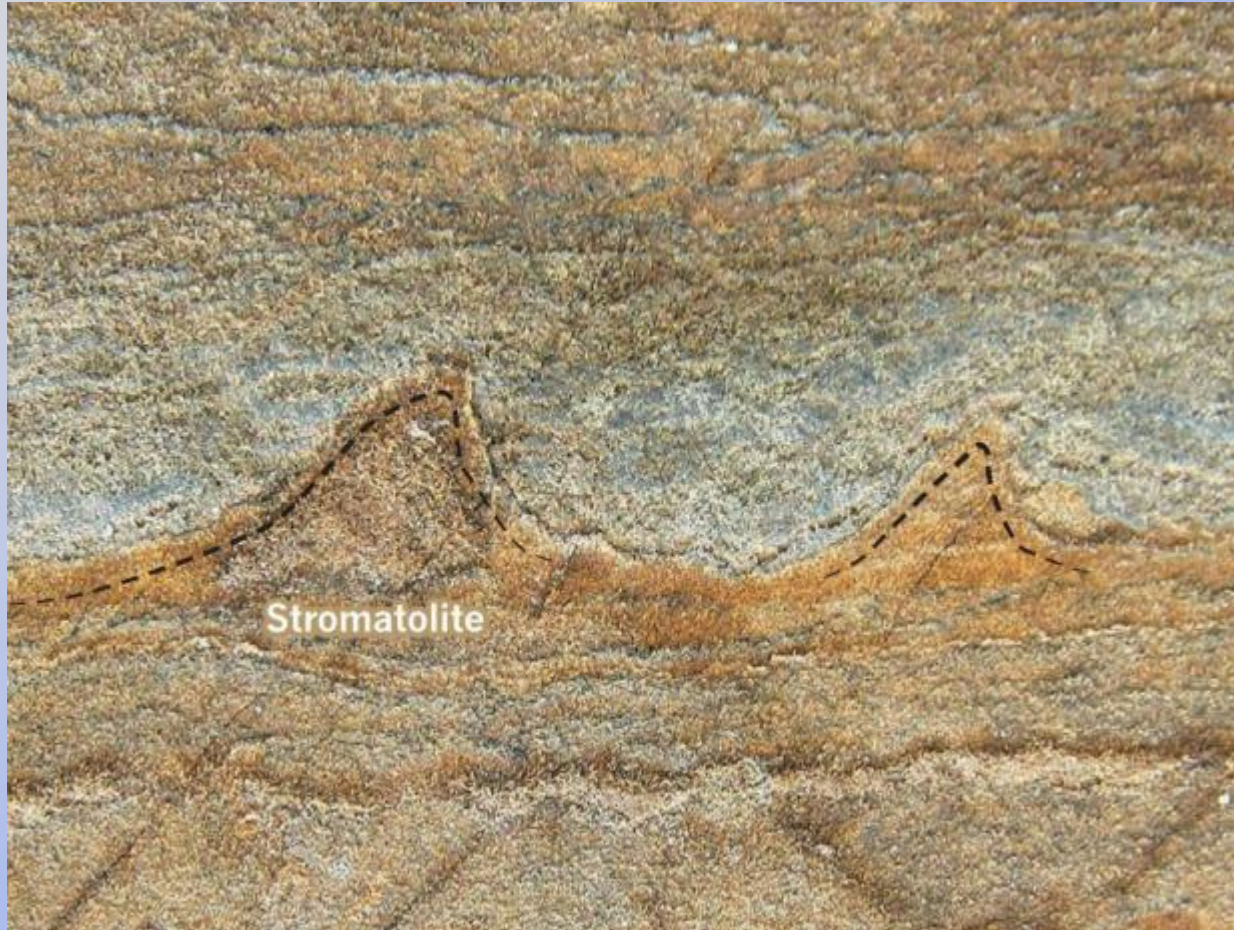


**Stromatoliti a cupola,
Western Australia**



**Stromatoliti planari,
Western Australia**

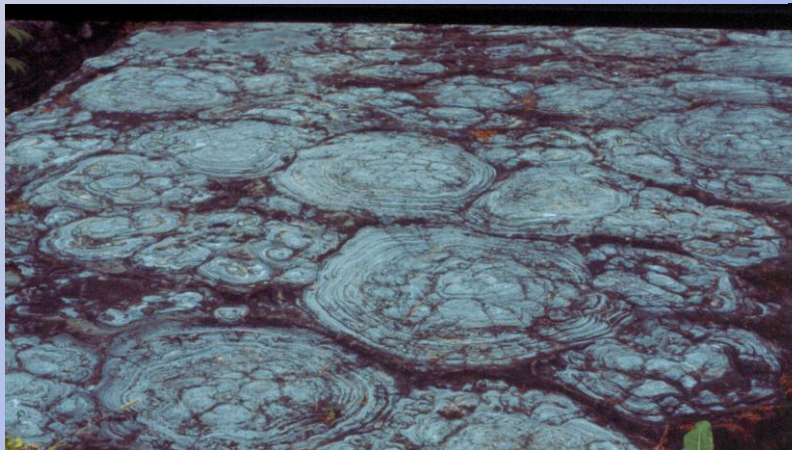
Il più antico fossile noto.



3.7 Miliardi di anni - Groenlandia



2.7 miliardi di anni
Canada



Veduta dall'alto



Veduta della sezione laterale

Saratoga Springs,
New York State
(800 Ma ca.)

E' molto difficile che i resti di microrganismi vengano conservati; però si conoscono numerosi esempi di stromatoliti precambriane nelle quali i resti di microrganismi sono stati conservati nella selce (es.: Gunflint Iron Fm, Canada; Warrawona Group e Fortescue Group, Western Australia; etc).

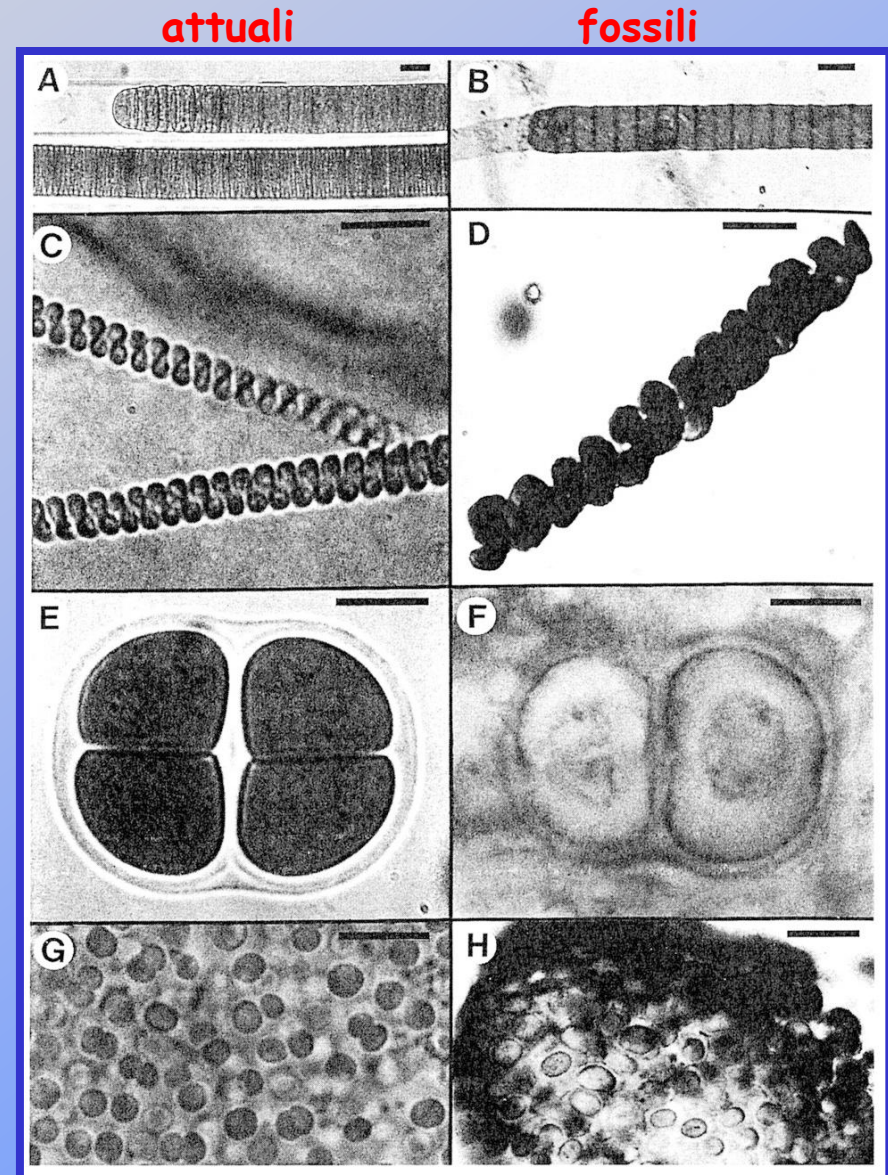
La diversità e l'abbondanza delle microbialiti dimunirono in modo drastico a partire da 680 Ma. Tale declino viene posto in relazione con la comparsa e lo sviluppo dei primi metazoi erbivori brucatori, che impedivano la formazione dei tappeti algali, e degli organismi fossatori che bioturbavano e distruggevano queste strutture.

Attualmente si formano in ambienti instabili, con parametri ambientali sfavorevoli (temperature elevate, fluttuazioni di salinità, esposizione periodica al disseccamento, etc), che limitano drasticamente la diversità e l'abbondanza degli organismi epi- e infaunali. Si formano inoltre in ambiente marini della zona intertidale a salinità normale (canali di marea) o elevata (baie o lagune ipersaline) e in ambienti subtidali di alcune aree dell'Australia, della Florida, Bahamas e Golfo Persico. Sono state osservate anche in ambienti continentali come laghi, corsi d'acqua e sorgenti termali.

Altri procarioti primordiali

Si conoscono a partire da circa 4 miliardi di anni si conoscono varie testimonianze di significative manifestazioni della vita rappresentate da cianobatteri filamentosi, sferule, strutture a forma di vaso, grappoli, etc

Nella colonna di sinistra (A, C, E, G) sono mostrati cianobatteri presenti in stromatoliti attuali del Messico settentrionale che sono del tutto simili a cianobatteri trovati in stromatoliti fossili, illustrati nella colonna di destra (B, D, F, H). Le età dei cianobatteri fossili variano da 2.100 m.a. (H) a 850 m.a. (D).



Warrawona, Western Australia 3500 Ma

Sono tra i più vecchi fossili fino a ora conosciuti. Vengono trovati in sezioni sottili di selci.

Sono filamenti non ramificati di cianobatteri attribuiti ai generi *Primaevifilum* e *Archaeoscleratoriopsis*.

Cianobatteri
fotosintetizzatori
attuali del genere
Oscillatoria

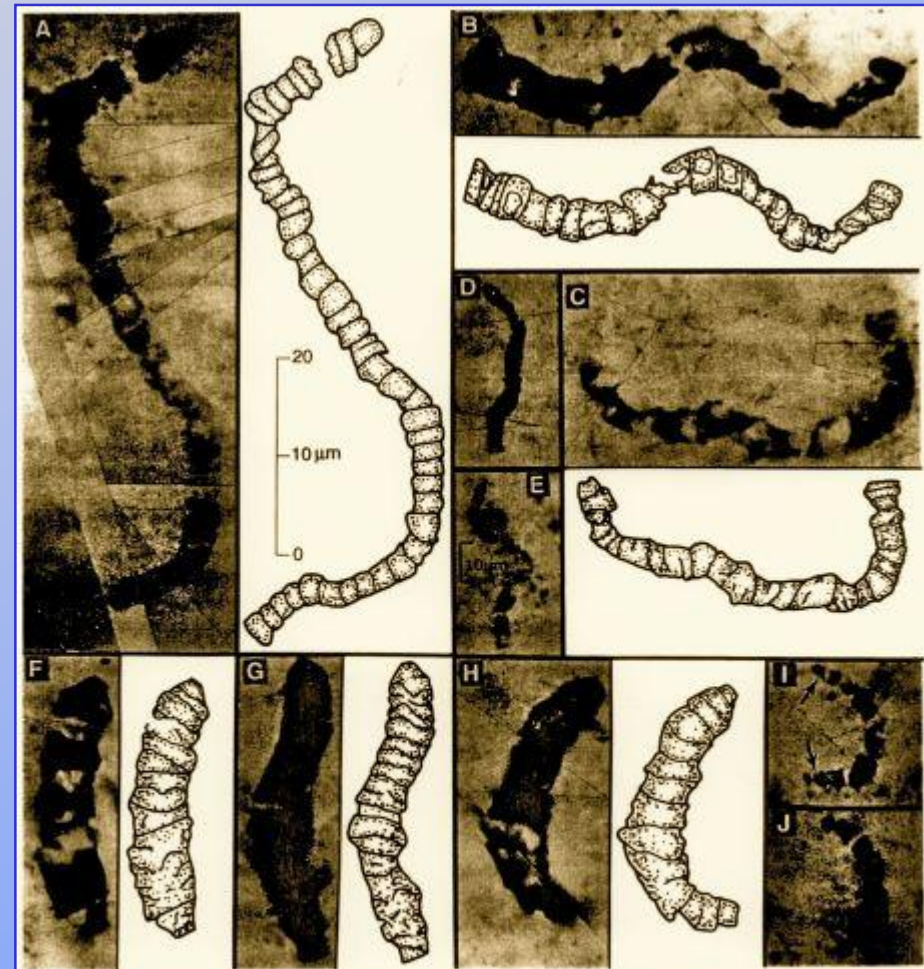
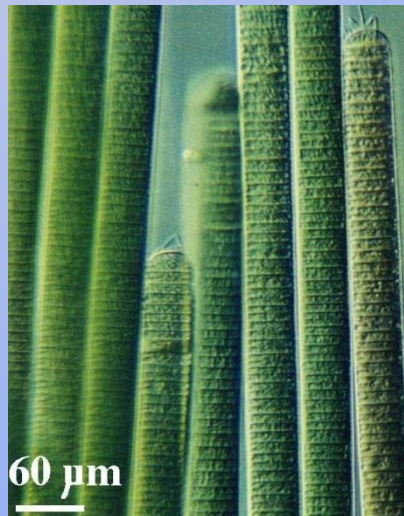
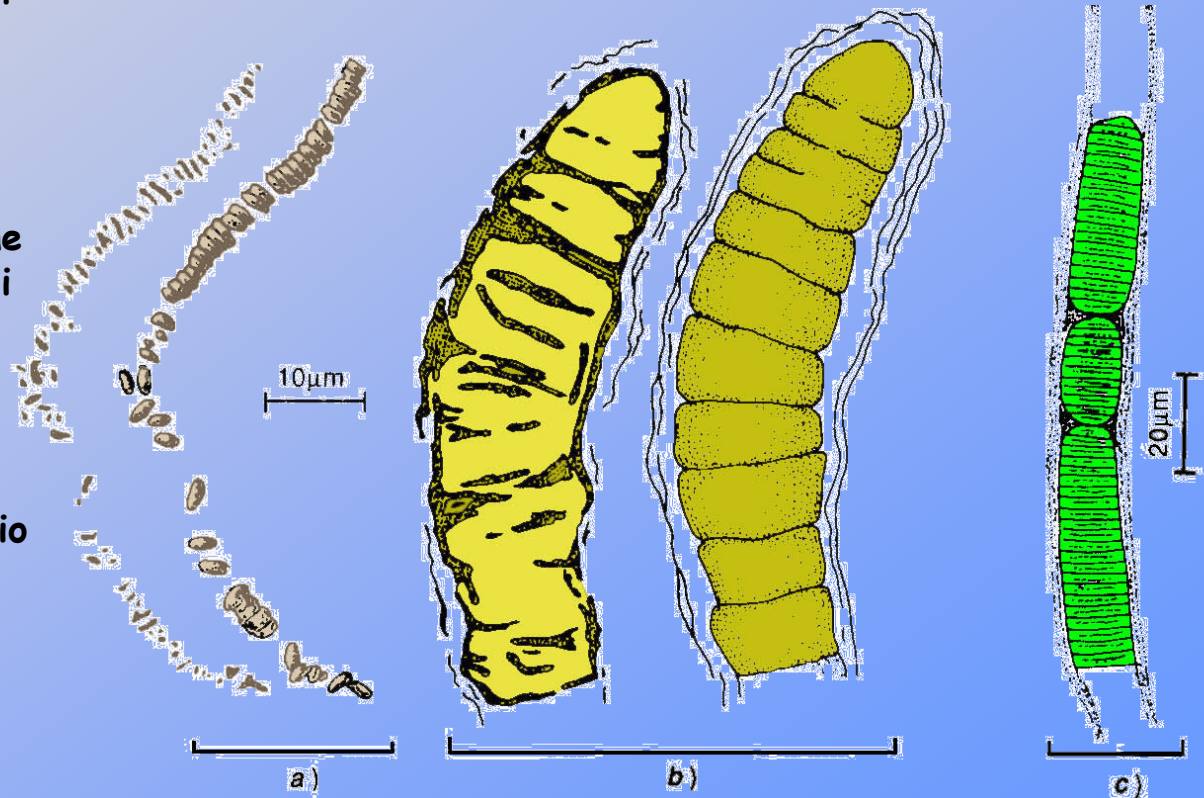


Fig. 4. Carbonaceous microfossils (with interpretive drawings) shown in thin sections of the Early Archean Apex chert of Western Australia. Magnification of (D, E, I, and J) denoted by scale in (E); magnification of all other parts shown by scale in (A). (A, B, C, and D) and (F, G, H, and I) show photomontages of the sinuous three-dimensional microfossils. (A, B, C, D, and E) *Primaevifilum amoenum* Schopf, 1992 (A, holotype) (3). (F, G, H, I, and J) *P. conicoterminatum* Schopf, 1992 (H, holotype) (3); arrows in (I) point to conical terminal cells.

Fortescue, Western Australia

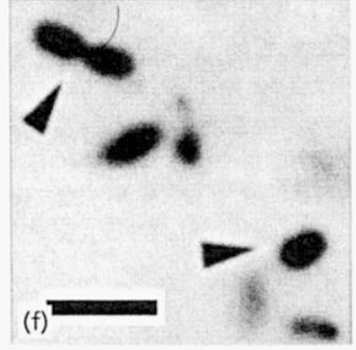
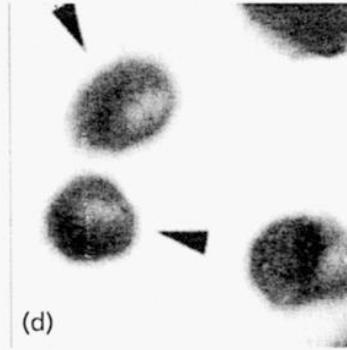
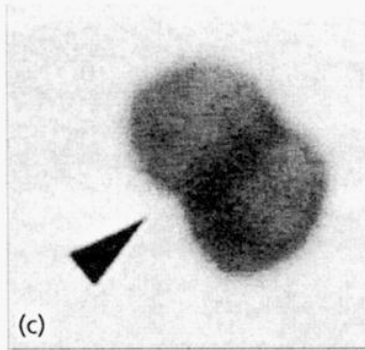
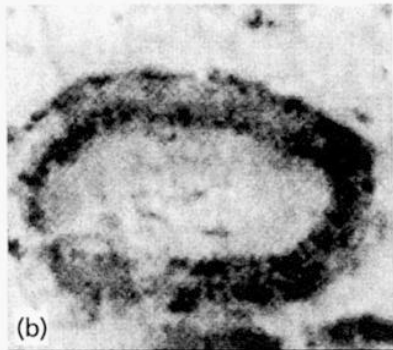
2700 Ma

- a. Tentativo di ricostruzione schematica in due fasi di un filamento di cianobatterio fossile simile al genere attuale *Oscillatoria*
- b. Tentativo di ricostruzione schematica in due fasi di un filamento di cianobatterio fossile appartenente al genere *Palaeolyngbya*
- c. Filamento di cianobatterio attuale appartenente al genere *Lyngbya*



Transvaal, Sud Africa

2520 Ma



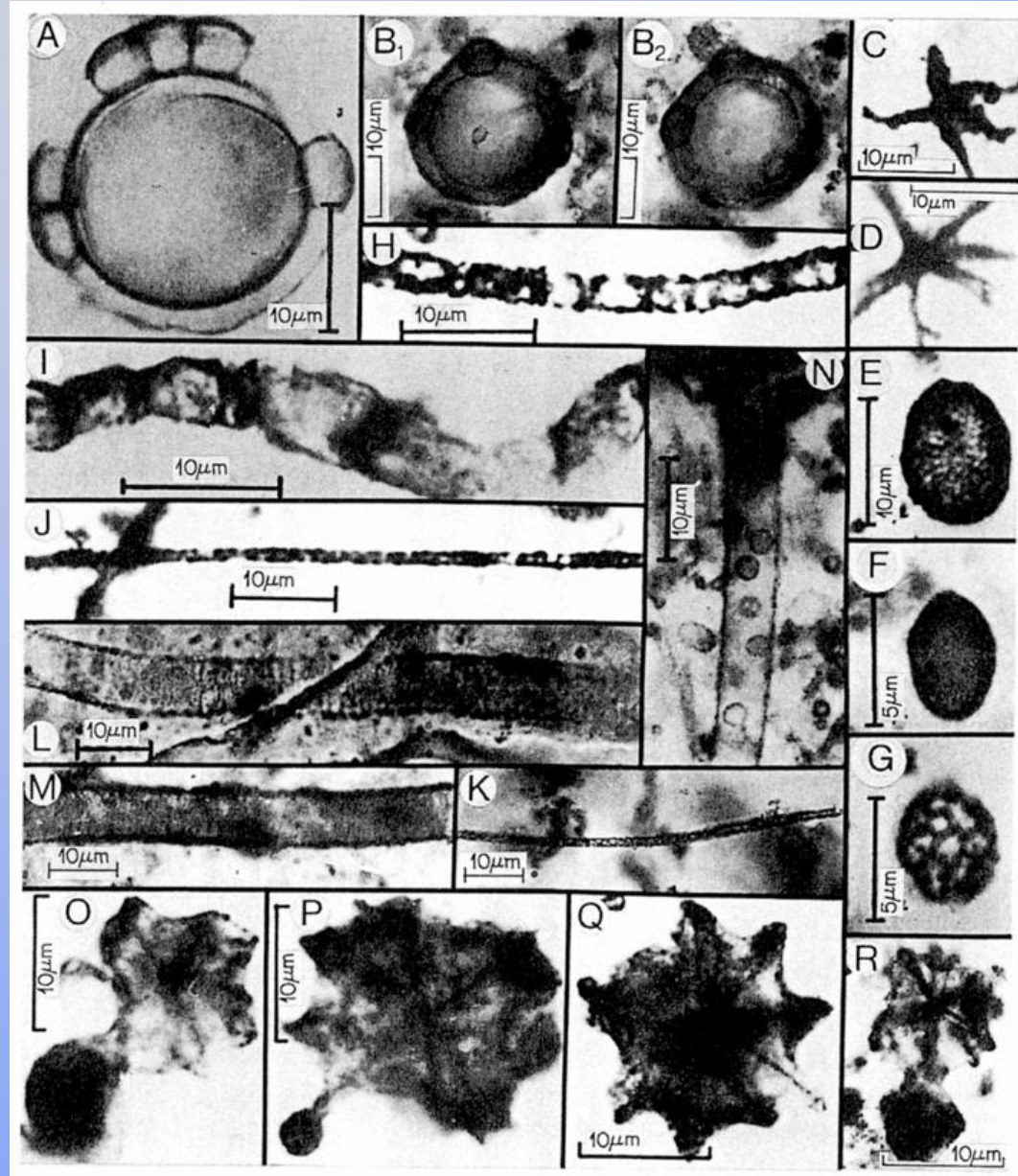
Procarioti filamentosi e sferoidali.

Gunflint Iron Fm, Ontario

1900 Ma



E' uno dei più abbondanti e diversificati biota del Proterozoico inferiore. I microrganismi sono tutti procarioti.

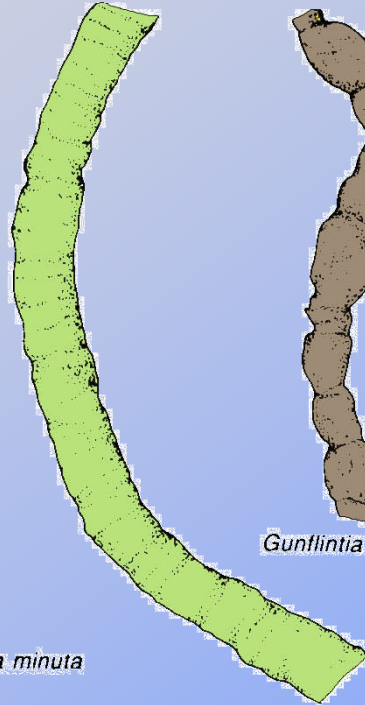


Gunflint Iron Fm, Ontario

1900 Ma



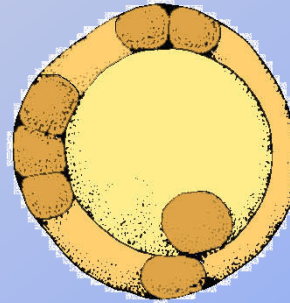
Gunflintia minuta



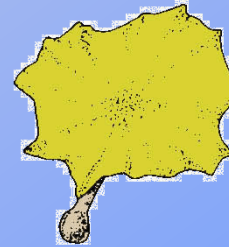
Animikiea septata



Gunflintia grandis



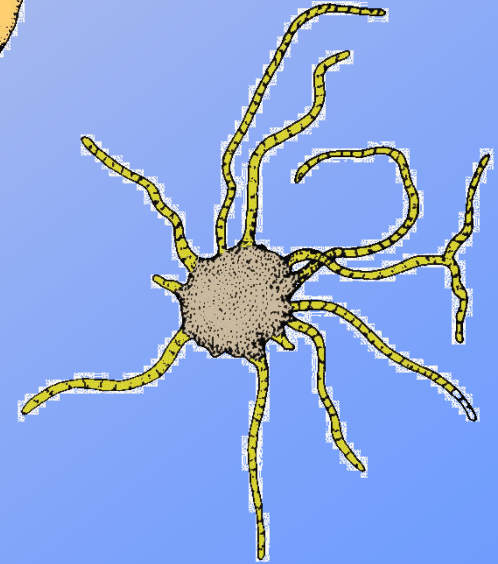
Eosphaera tyleri



Kakabekia umbellata



Huroniospora microreticulata



Eoastrion bifurcatum

E' uno dei più abbondanti e diversificati biota del Proterozoico inferiore. I microrganismi sono tutti procarioti.

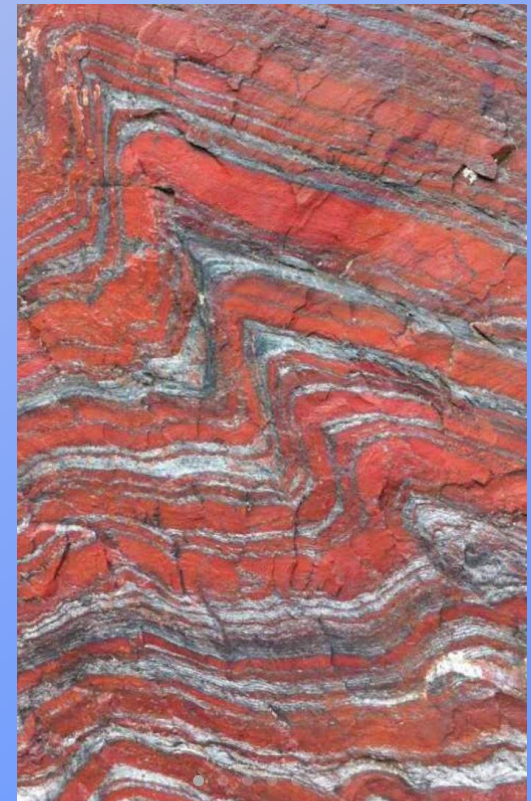
Banded Iron Formation

2500-2000 Ma

Depositi alternati di selci e minerali di ferro ossidati diffusi in tutta la Terra



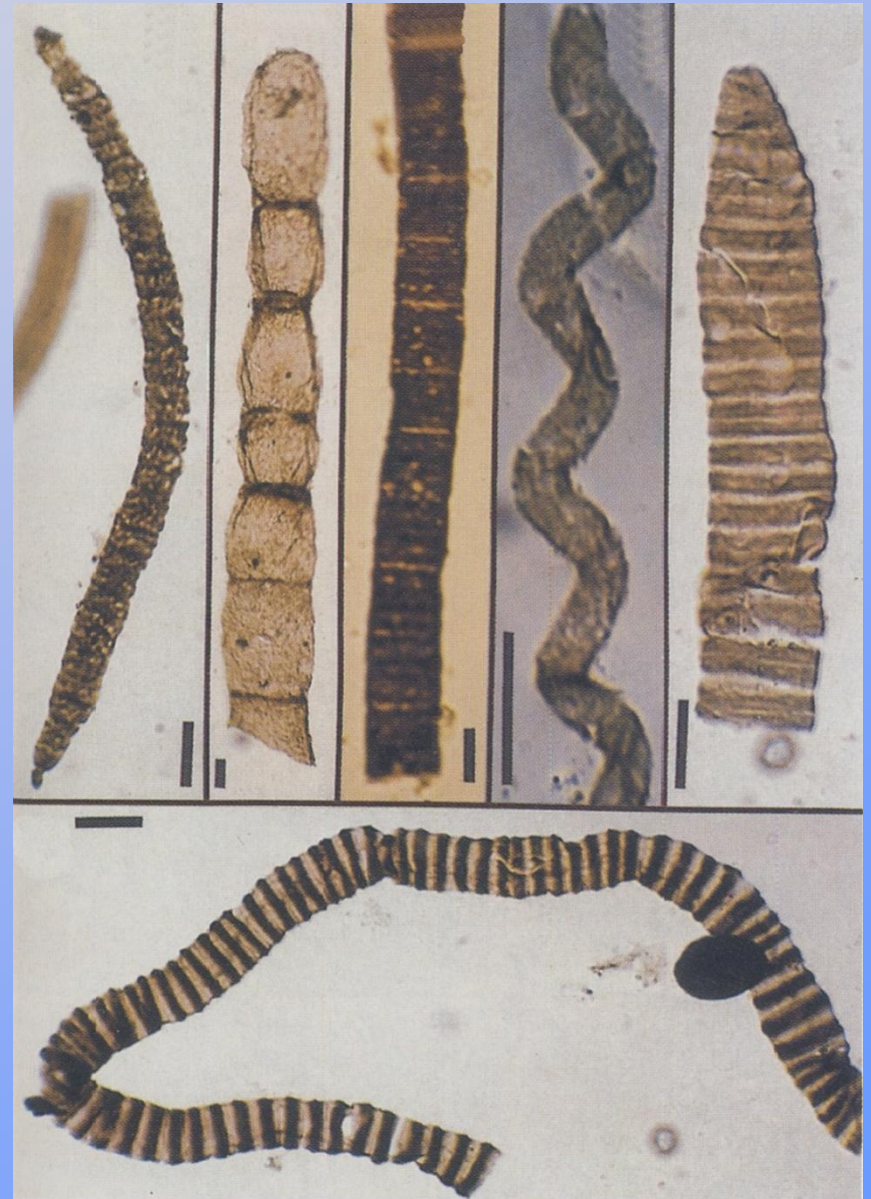
Western Australia



Siberia

950-850 Ma

Cianobatteri filamentosi
appiattiti conservati in siltiti
La barra equivale a 10 μm .

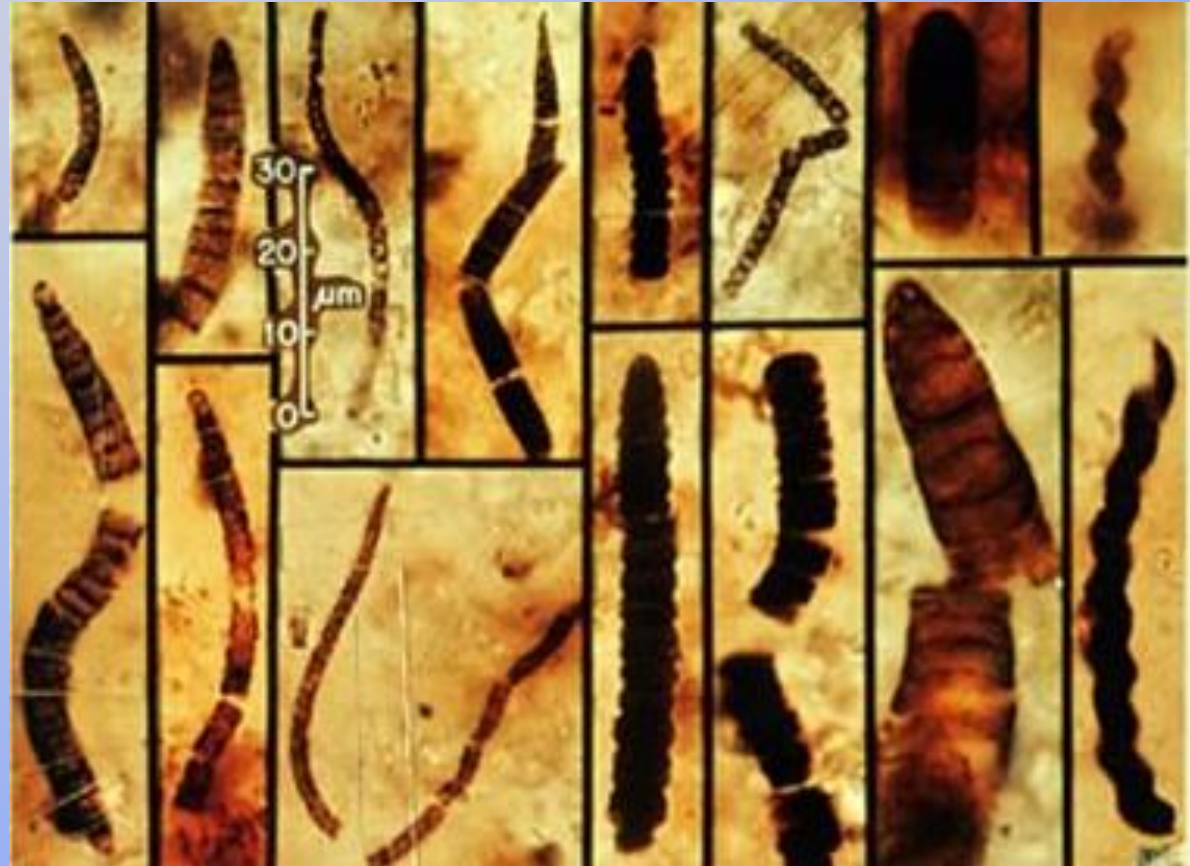


Bitter Springs, Australia

850 Ma

Cianobatteri filamentosi
(conservati in tre dimensioni)
nelle stromatoliti selcificate
della Bitter Springs Fm.

La barra equivale a 10 μm .



Varie località

1000-650 Ma

Cianobatteri sferoidali conservati nelle selci

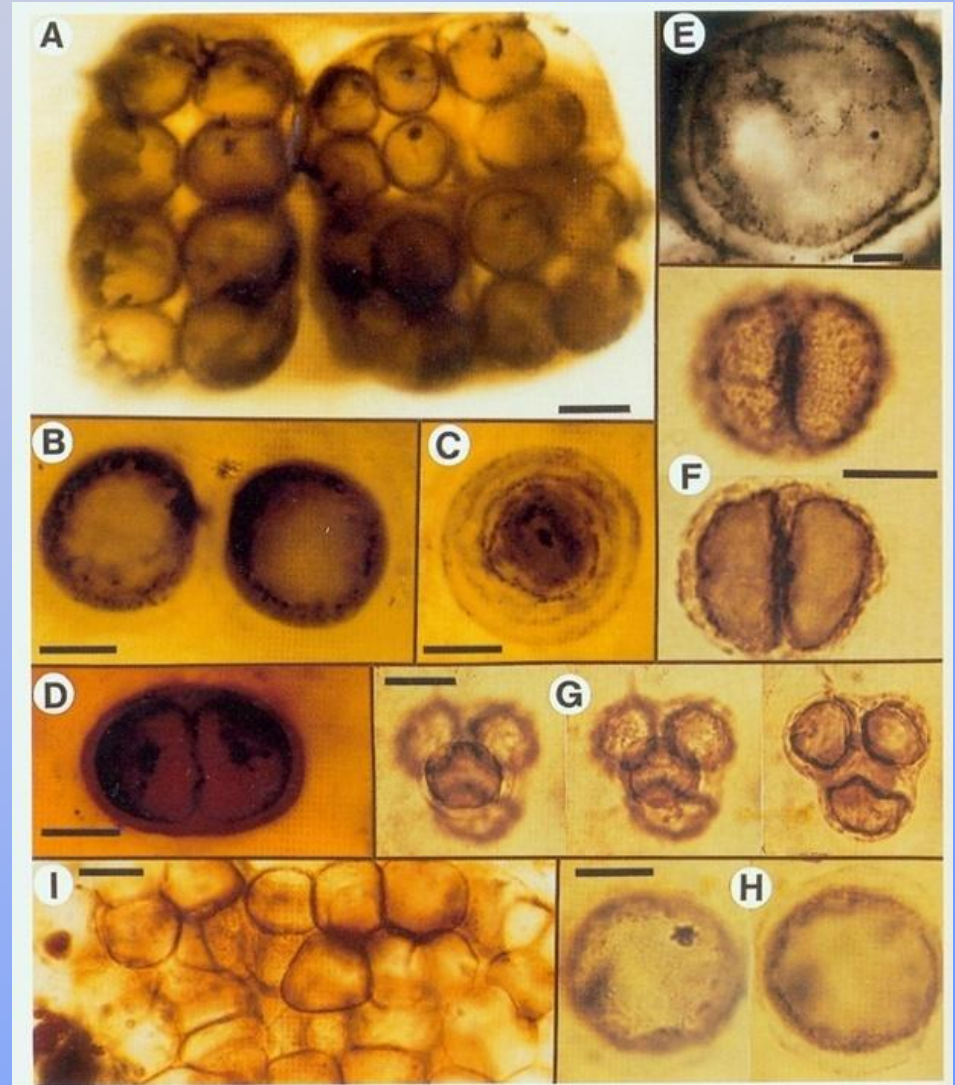
A-D Sukhaya Tunguska Fm. della Siberia (1.000 m.a.);

F-H Bitter Springs Fm. (850 m.a.);

E Skillogalee Dolomite, Australia (770 m.a.);

I Chihkan Fm., Kazakhstan (650 m.a.).

Le barre equivalgono a 10 μm .



I primi eucarioti unicellulari

A partire da 1.8 miliardi di anni, cominciarono a comparire microrganismi di forma sferoidale di dimensioni maggiori dei procarioti; costituiscono il gruppo assai eterogeneo degli **acritarchi**.

Si tratta di vescicole sferoidali con una ornamentazione superficiale, di dimensioni comprese tra circa 30 e 70 μm . Sono dotati di una parete organica relativamente robusta, simile alle cisti di certe alghe dinoflagellate attuali.

Questi caratteri suggeriscono una notevole affinità degli acritarchi con i dinoflagellati.



Le prime forme viventi

Rappresentano i primi organismi planctonici comparsi sulla Terra.

Raggiungono un notevole sviluppo attorno agli 800 Ma e vanno in declino a partire da 660 Ma, in corrispondenza dell'inizio di una glaciazione.

Successivamente si osserva una nuova affermazione con forme spinose, con una ripresa evolutiva che perdurerà nel Paleozoico inferiore.

La loro scomparsa avvenne circa 400 Ma.

Documenti della vita primordiale Acritarchi



Acanthomorph,
from the latin acantha = thorn



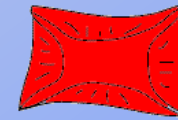
Polygonomorph,
poly = many,
gonia = angle



Netromorph, netron
= spindle



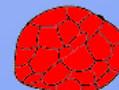
Diacromorph,
di = two, akron = summit



Prismatomorph,
prisma = prism



Oomorph, oon = egg



Herkomorph, herkos
= wall or fence



Pteromorph,
pteros = wing



Sphaeromorph,
sphaira = ball

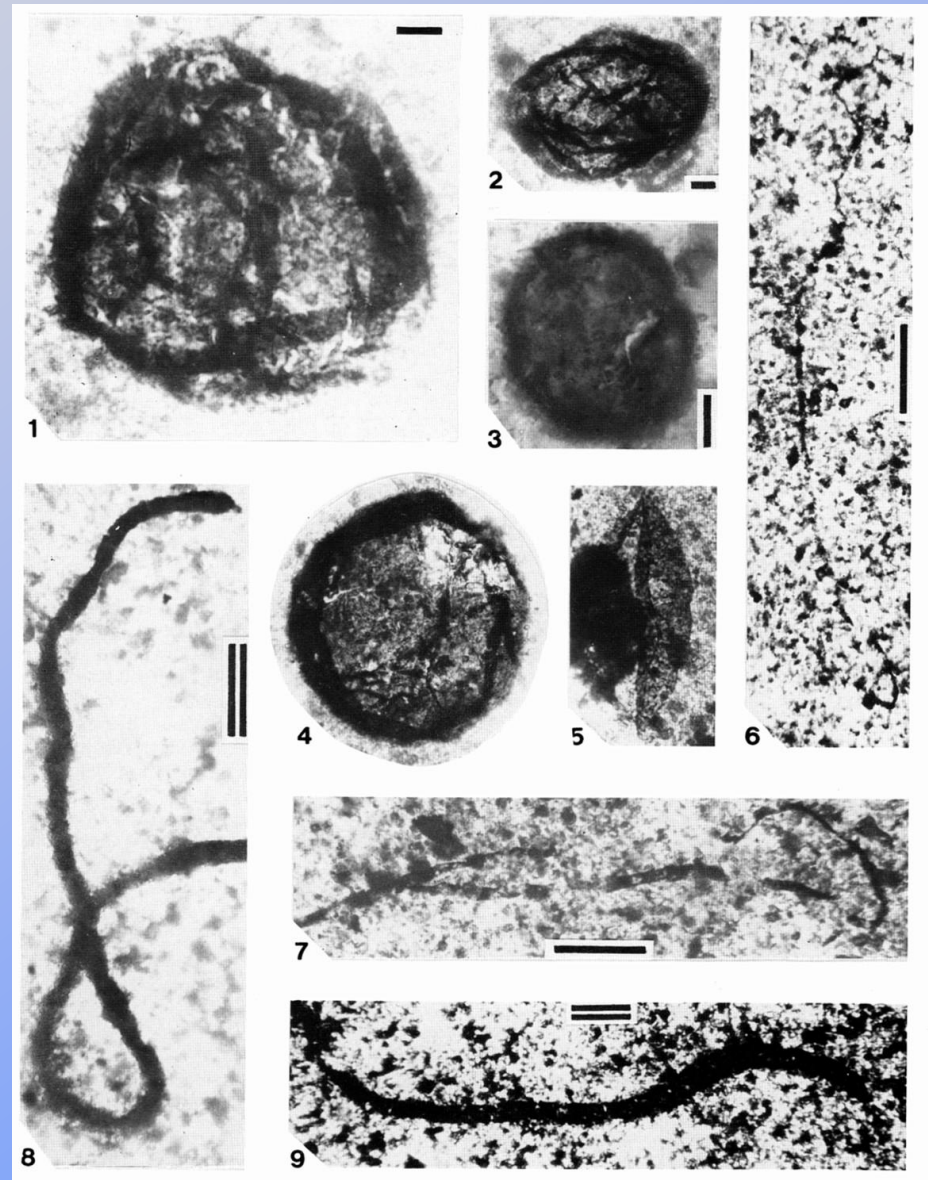
Changeng Group, Cina

1800 Ma

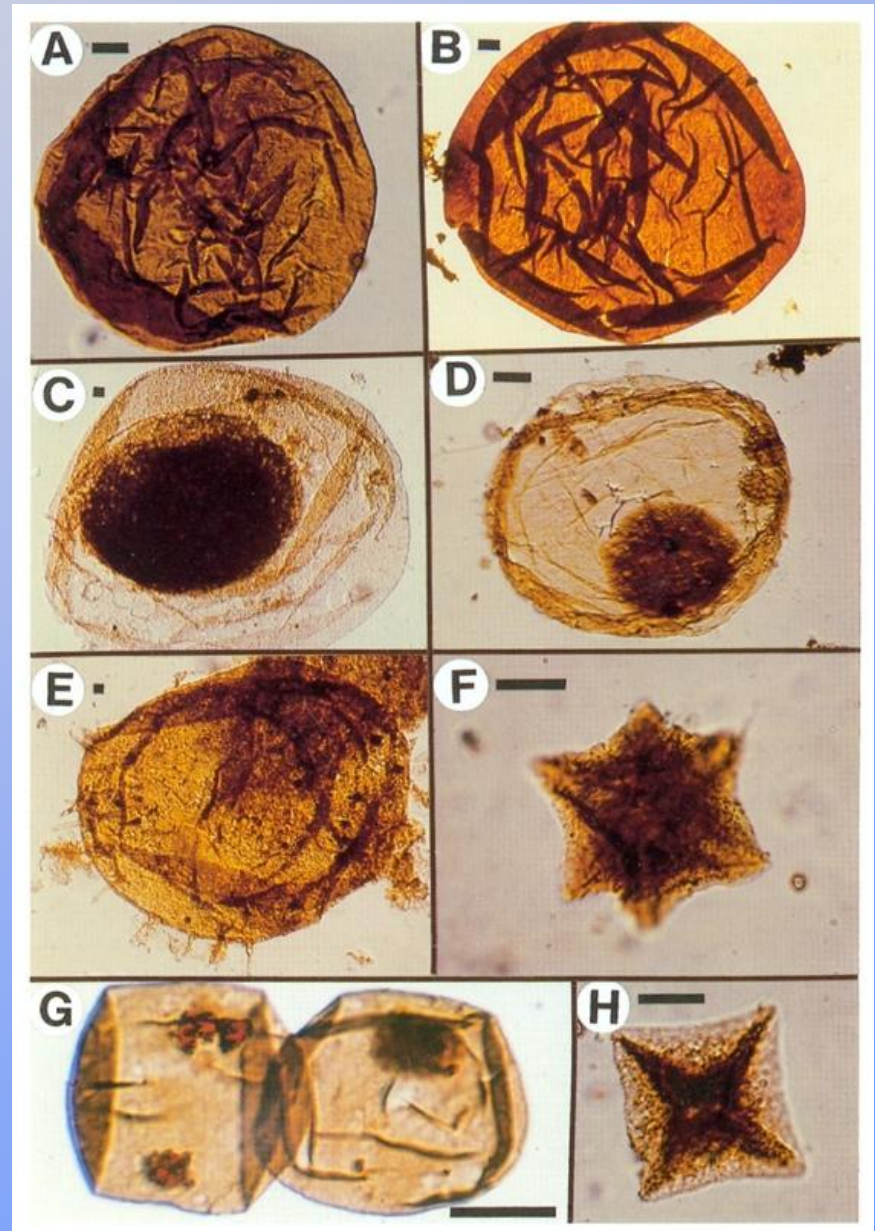
Sono i più antichi acritarchi
sferomorfi.

Sono stati trovati assieme a
microfossili filamentosi attribuibili
a cianobatteri.

Le barre singole corrispondono a 10 μm ,
quelle doppie a 50 μm .



Siberia e Ucraina
900-600 Ma



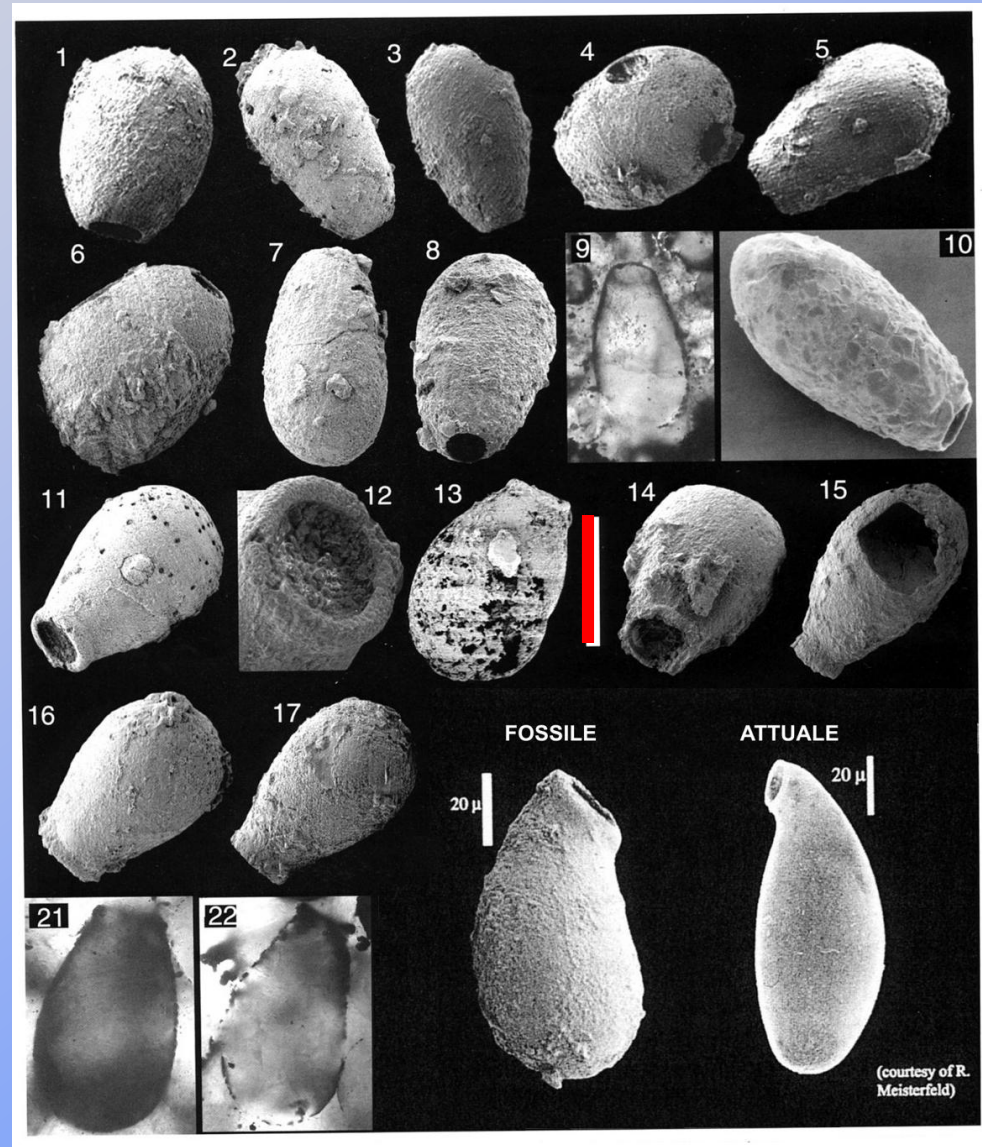
Le barre corrispondono a 10 μm

Grand Canyon

750 Ma

Microfossili a forma di
vaso, interpretati come
cisti riproduttive di
protozoi ameboidi.
Da notare, nel riquadro
in basso a destra, la
somiglianza con una
tecameba attuale.

Barra rossa = 40 μm
Barre bianche = 20 μm



L'evoluzione della cellula eucariotica è stata accompagnata da un aumento delle sue dimensioni in relazione all'aumento del DNA, dalla individuazione di un nucleo distinto e dallo sviluppo di organelli intracellulari come mitocondri e cloroplasti.