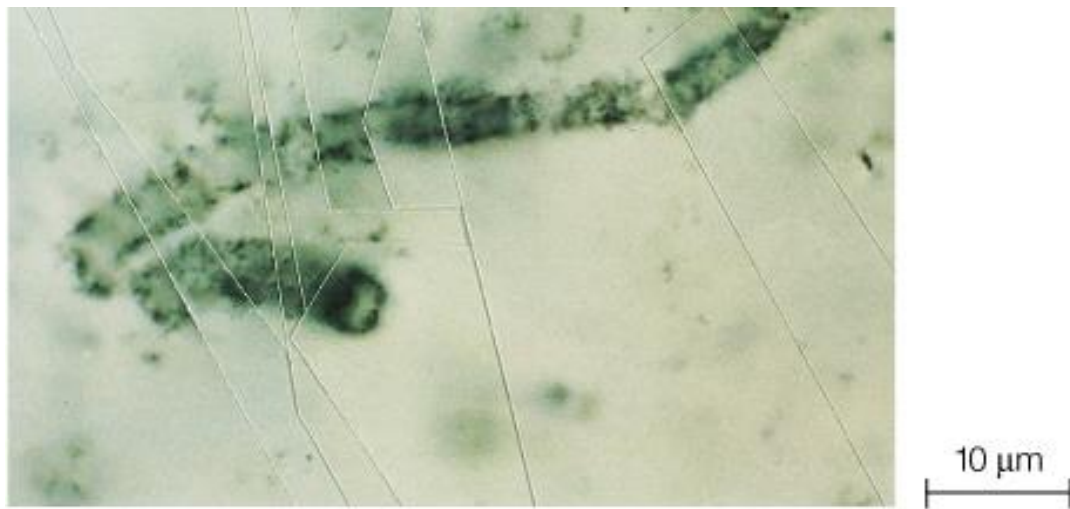


A microscopic image showing several long, thin, yellowish-brown filaments of cyanobacteria. The filaments are arranged in a somewhat chaotic pattern, with some overlapping. The filaments have a segmented appearance, with small, dark, oval-shaped structures (likely heterocysts or akinetes) visible along their length. The background is a light, slightly textured surface.

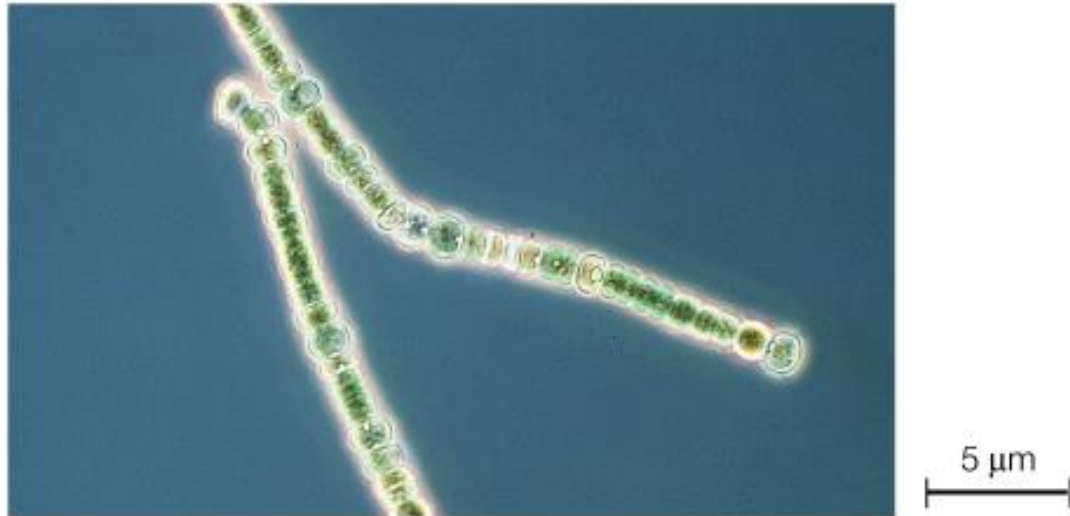
I cianobatteri

Regno *Bacteria*



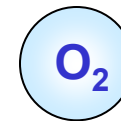
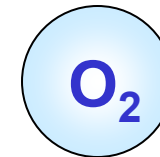
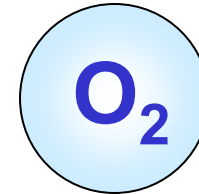
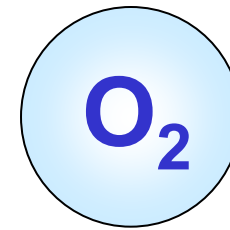
Procariota fossile circa 3,5 Miliardi Anni fa

(a) Un antico batterio fossilizzato. Questo procariota filamentoso, dell'età di circa 3,5 miliardi di anni, è un esempio di antico batterio trovato nell'Australia occidentale (LM).



(b) Cellule di *Leptolyngbya*, un batterio attualmente vivente. *Leptolyngbya*, un batterio filamentoso che esiste attualmente, è notevolmente simile al procariota fossile mostrato in (a) (LM).

Era	Periodo	Milioni di anni	Principali eventi nella storia della vita sulla terra
Quaternario		0,01-1,8	Ere glaciali. Comparsa dell'uomo.
Cenozoico	Neogene	1,8-5	Comparsa degli antropomorfi antenati dell'uomo.
		5-24	Radiazione evolutiva delle angiosperme e dei mammiferi.
	Paleogene	24-55	Predominio evidente delle angiosperme. Origine della maggior parte dei mammiferi attuali.
		55-66	Principali radiazioni evolutive di mammiferi, uccelli e insetti impollinatori.
Mesozoico	Cretaceo	66-140	Diffusione delle angiosperme. Estinzione di molti gruppi di organismi (tra cui i dinosauri).
	Giurassico	140-210	Le gimnosperme sono ancora le piante dominanti; probabile comparsa delle piante a fiore (angiosperme). Abbondanti i dinosauri.
	Triassico	210-250	Le piante a seme nudo (gimnosperme) dominano i paesaggi.
Paleozoico	Permiano	250-290	Origine della maggior parte degli attuali ordini di insetti. Estinzione di molti organismi terrestri e marini.
	Carbonifero	290-360	Le piante vascolari senza seme (pteridofite) costruiscono estese foreste. Origine delle prime piante a seme. Dominano gli anфи e si originano i rettili.
	Devoniano	360-410	Affermazione delle piante vascolari più semplici. Comparsa dei primi insetti.
	Siluriano	410-440	Diversificazione delle prime piante vascolari senza seme.
	Ordoviciano	440-510	Abbondanti le alghe marine. Le terre emerse vengono colonizzate dalle piante (briofite), dai funghi simbiotici e dagli artropodi.
	Cambriano	510-540	Radiazione evolutiva della maggior parte dei phyla moderni di animali.
540-590		Presenza di diverse alghe ed invertebrati.	
Pre-Paleozoico		1400	Origine degli eucarioti pluricellulari.
		2200	Fossili eucarioti più antichi.
		2500	L'ossigeno prodotto dai cianobatteri inizia ad accumularsi nell'atmosfera.
		3500	Primi fossili noti di procarioti.
		3800	Prime tracce di vita sulla terra.
		4500	Probabile origine della terra.



I CIANOBATTERI sono anche detti CIANOFITE o ALGHE AZZURRE

- 1) Non sono alghe, ma organismi procarioti fotosintetici (eubatteri gram-negativi)
- 2) Non tutti i cianobatteri sono azzurri: circa 1/2 delle specie si presenta di colore **giallo, rosso, viola, nero o bruno**



Mar Rosso



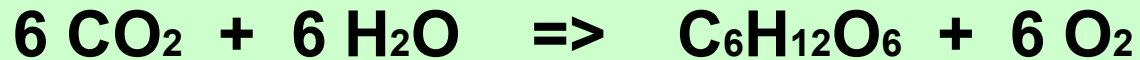
Trichodesmium erythraeum

SI TROVANO IN TUTTI GLI AMBIENTI



**POCHE SPECIE (circa 200), ma
straordinaria IMPORTANZA ECOLOGICA**

PRODUZIONE DI O₂

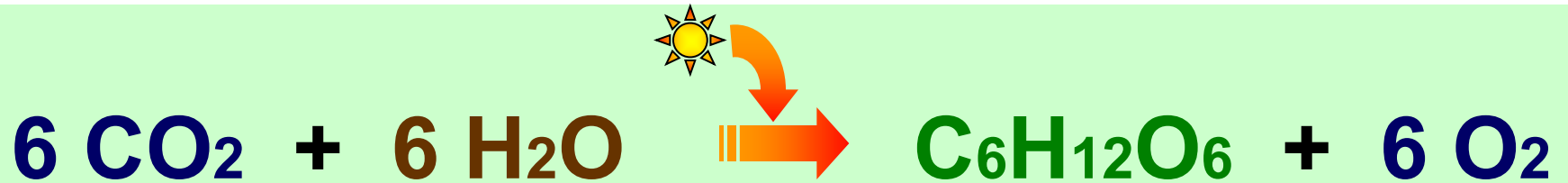


FISSAZIONE DI N₂



PRODUZIONE DI O₂

Nell'era Precambriana (o pre-paleozoica) i primordiali cianobatteri iniziarono ad **arricchire di O₂ l'atmosfera...**

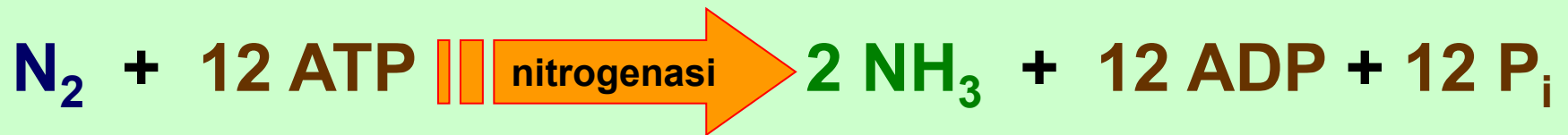


...questo condizionò l'evoluzione biochimica della **respirazione**, che divenne una reazione ossidativa simile a quella che si osserva in gran parte degli attuali organismi



FISSAZIONE DI N₂

I cianobatteri sono tra i pochi organismi azotofissatori



Domini del mondo dei viventi

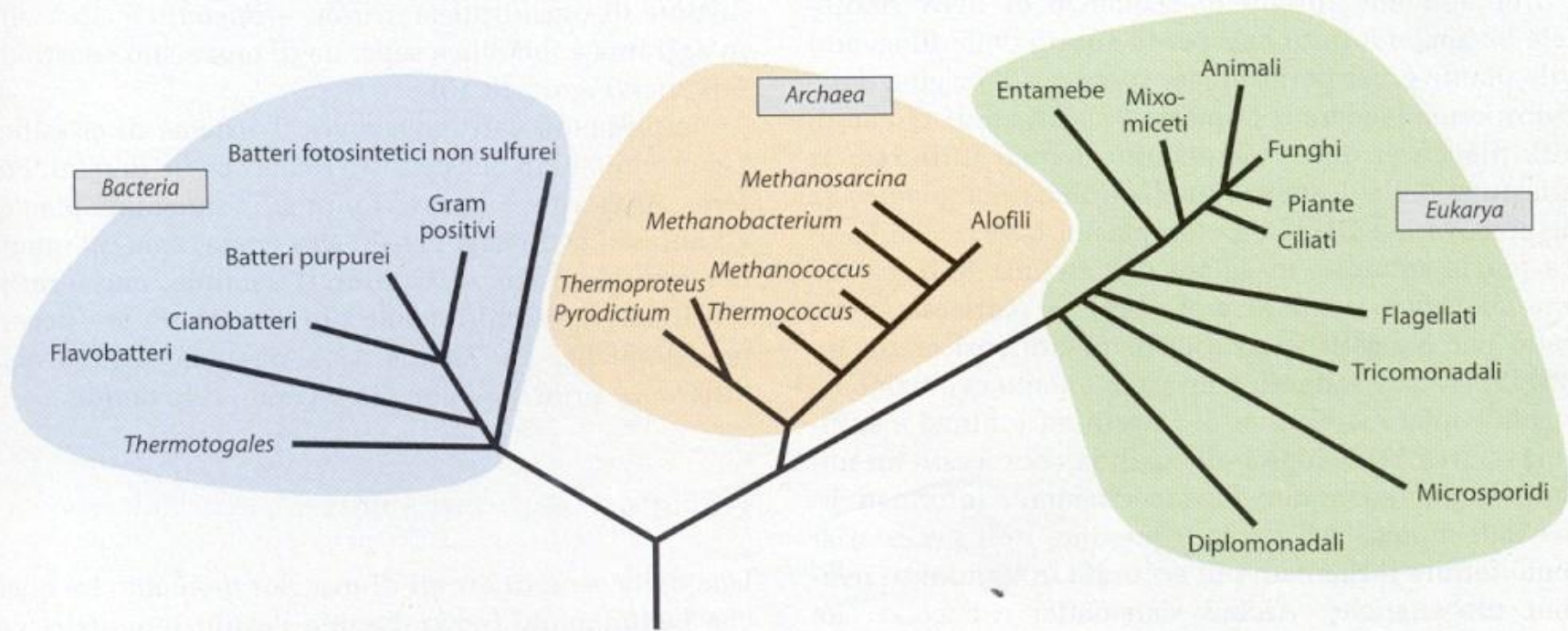
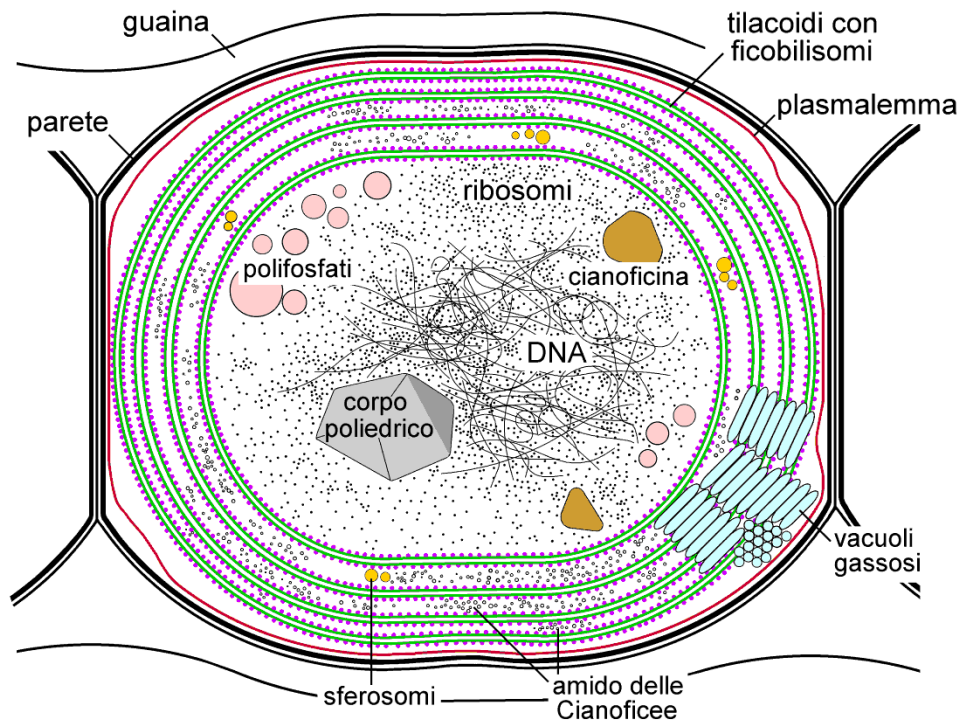


Figura 13.8 Un albero filogenetico universale ottenuto comparando le sequenze dell'RNA ribosomiale. I dati indicano che il mondo dei viventi è suddiviso in tre domini, due dei quali consistono di organismi procariotici (*Bacteria* e *Archaea*) e uno di organi-

smi eucariotici (*Eukarya*). L'antenato di tutti i viventi si trova alla base dell'albero. Gli animali, i funghi e le piante costituiscono regni separati nel dominio *Eukarya*. I restanti gruppi degli *Eukarya* appartengono al regno *Protista*.

CIANOBATTERI

Organizzazione procariotica	Assenza di compartimenti quali: apparato del Golgi, reticolo endoplasmatico, nucleo, nucleolo ecc. DNA circolare privo di istoni, plasmidi, ribosomi 70S
Riproduzione “sessuale”	Non osservata ma i cianobatteri hanno capacità di ricombinazione genetica come la trasformazione e la coniugazione
Parete di tipo GRAM –	Peptidoglicano + una seconda parete lipoproteica
Glicogeno e Cianoficina	Sostanza di riserva
Tilacoidi	Invaginazioni della membrana citoplasmatica con funzione di supporto ai pigmenti fotosintetici
Autotrofia	Fotosintesi ossigenica In condizioni di assenza di luce possono comportarsi da eterotrofi
Pigmenti fotosintetici	Clorofilla a Ficobiline: Ficoeritrina, Ficocianina, Alloficocianina
Ficobilisomi	Aggregati cristallini di Ficobiline
Eterocisti	Azotofissazione (<i>Nostocales</i>)
Acineti	Endospore
Ecologia	Plancton e Benthos di acqua dolce e marina, costituiscono, insieme alle diatomee i principali produttori primari degli oceani. Alcune forme sono terrestri potendo sopportare lunghi periodi di disidratazione. Ambienti estremi: sorgenti termali, ghiaccio, acque iperaline



Cianobatteri sono organismi unicellulari di piccole dimensioni (0,2-5 μm . La forma più comune di colonia è il filamento.

La cellula presenta 3 parti:

-Parete cellulare

-Cromatoplasma: parte periferica pigmentata

-Centroplasma

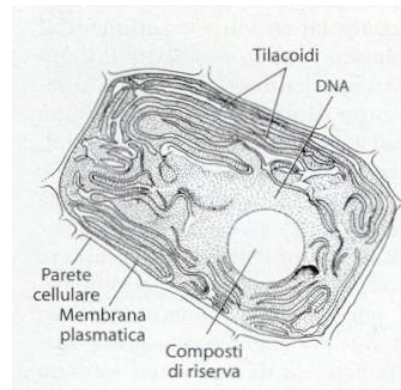
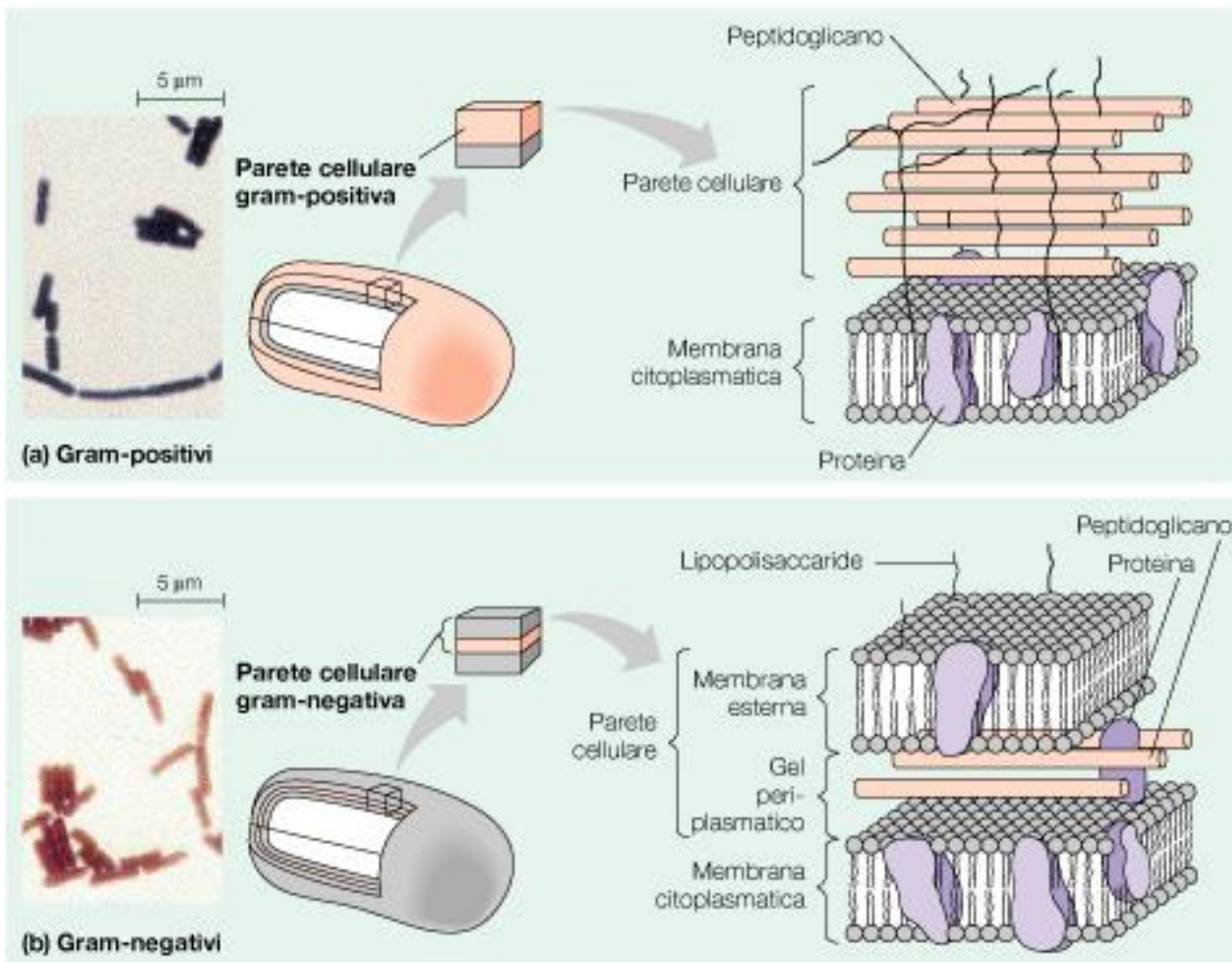


Figura 14.10 Una cellula del cianobatterio *Anabaena cylindrica*. La fotosintesi avviene nelle membrane contenenti clorofilla – i tilacoidi – all'interno della cellula. La qualità tridimensionale di questa fotografia al microscopio elettronico è dovuta alla tecnica del criodecappaggio usata nella preparazione della cellula.





Campbell N.A., Reece J.B., 2002 – Biologia. ZANICHELLI

I Cianobatteri sono Gram-negativi. Parete cellulare dei Batteri Gram-negativi costituita da 4 strati. Parete dei Gram-positivi più semplice
 1 strato adiacente al plasmalemma (periplasmatico) 2 strato composto da mureina, 3 strato come il primo, 4 strato proteine, fosfolipidi e lipopolisaccaridi

Struttura della parete cellulare di procarioti Gram + e Gram –

I cianobatteri sono Gram-negativi

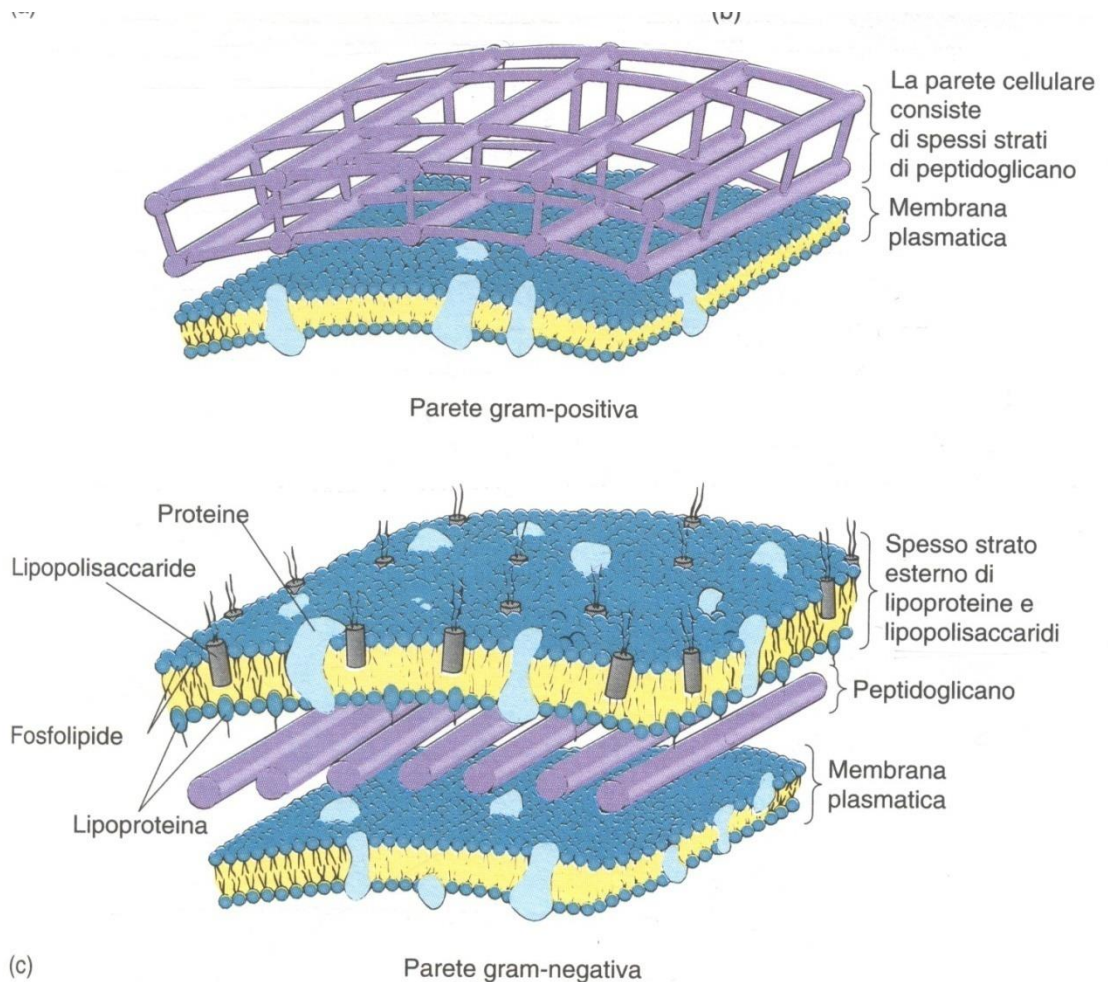


Figura 19.10

I batteri gram-positivi (a) ed i gram-negativi (b) differiscono nella struttura della loro parete cellulare. Entrambi presentano uno strato di peptidoglicano, ma i batteri gram-negativi hanno uno strato esterno addizionale di lipopolisaccaridi che impedisce a molte grandi molecole di raggiungere sia lo strato di peptidoglicano che la membrana cellulare (c). (a, $\times 125.000$; b, $\times 100.000$) (Per gentile concessione di di K. Amako e A. Umeda, Kyushu University).

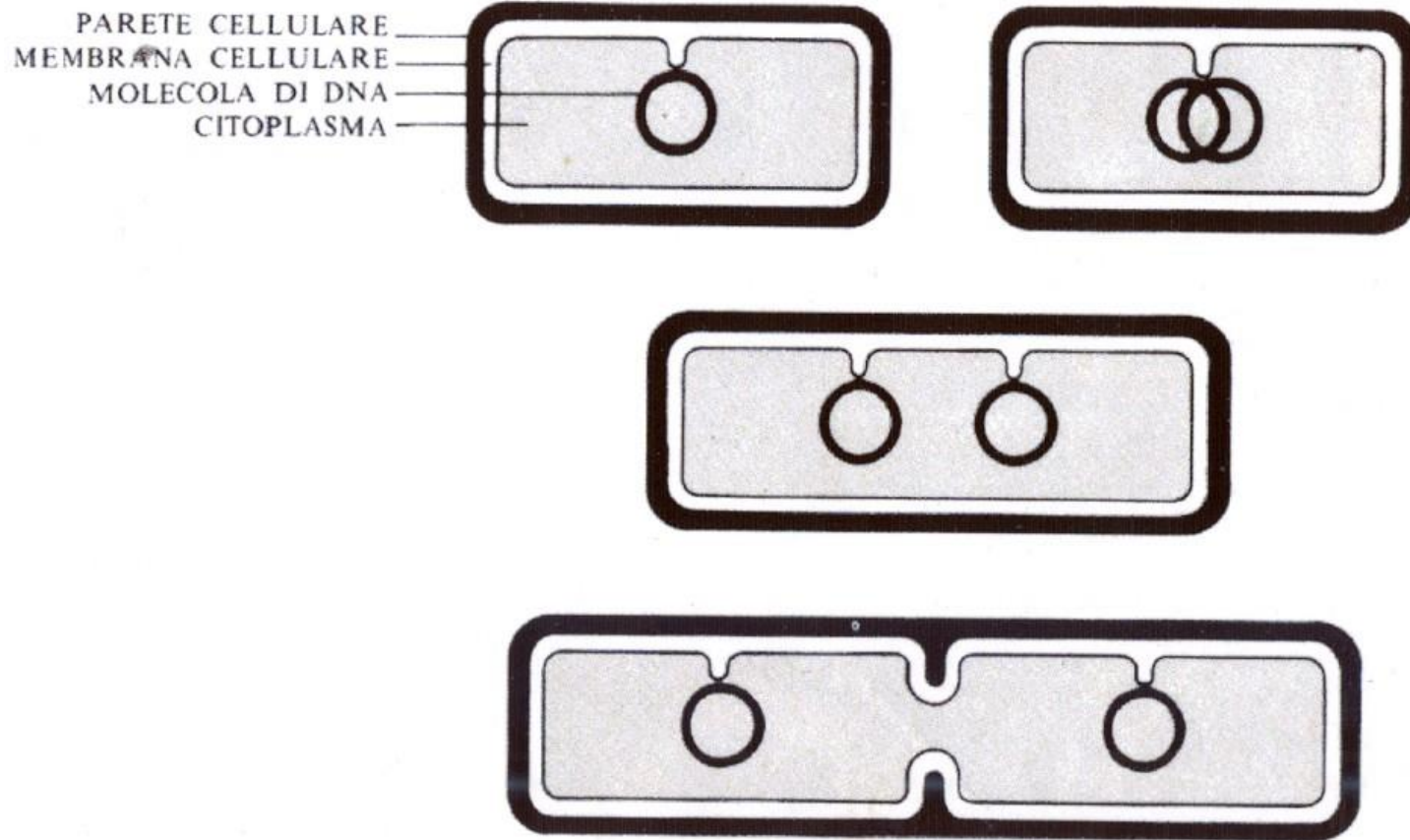


Fig. 20.11. I cromosomi batterici aderiscono alla membrana cellulare e vi restano addossati, distribuendosi così nelle due cellule figlie. Questa adesione ha la stessa funzione di quella delle fibre del fuso durante la mitosi degli eucarioti.

Scissione binaria: replicazione del genoma, ripartizione delle componenti del protoplasto grazie a invaginazione della membrana plasmatica e della parete cellulare

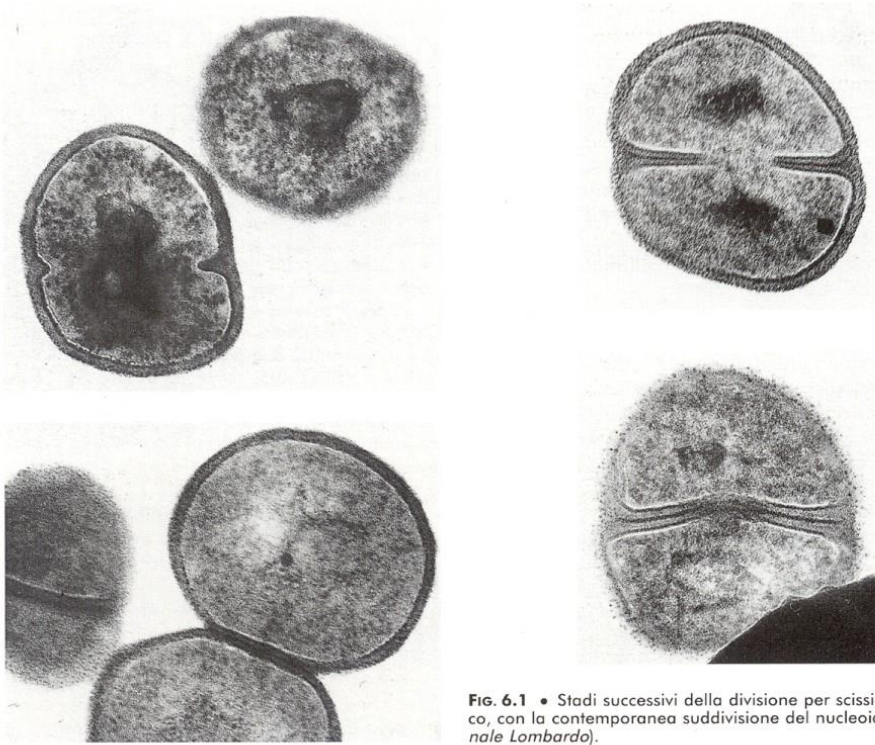
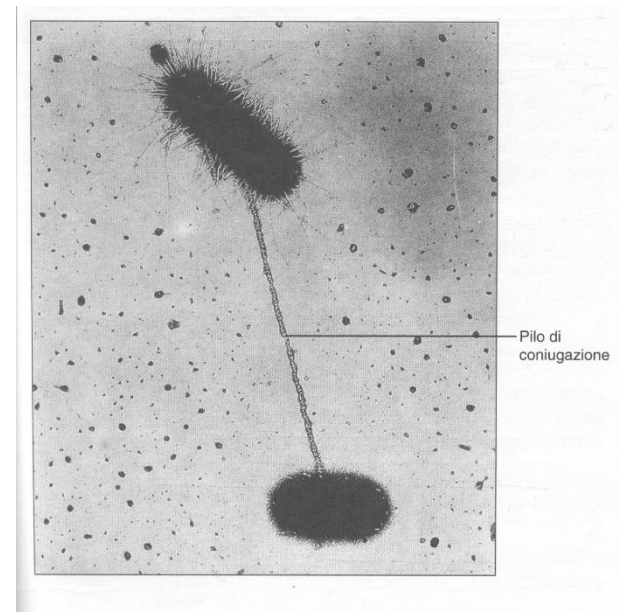


Fig. 6.1 • Stadi successivi della divisione per scissione di un cocco, con la contemporanea suddivisione del nucleotide. (Foto originale Lombardo).



coniugazione

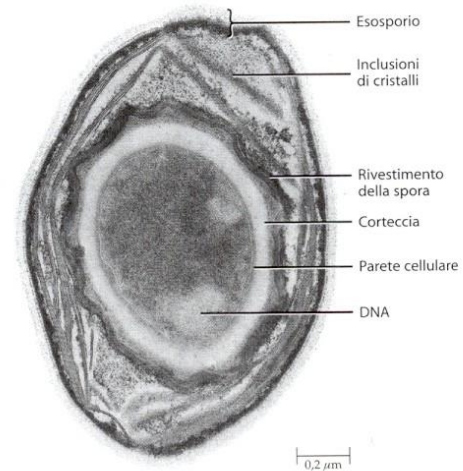


Figura 14.8 Una spora libera e matura di *Bacillus megaterium*. Lo strato più esterno è l'esosporio costituito da uno strato chiaro più esterno e da uno strato basale più scuro. Al di sotto dell'esosporio vi sono ampie inclusioni di cristalli. La vera spora è ricoperta da un rivestimento proteico. Al di sotto del rivestimento proteico vi è una spessa corteccia di peptidoglicano, che è essenziale per conferire alle spore batteriche la tipica proprietà di resistenza. Internamente alla corteccia vi è una sottile parete cellulare, costituita anch'essa da peptidoglicano, che riveste un protoplasto disidratato.

Gerola F.M., 1998 Biologia e diversità dei vegetali. UTET

scissione

Riproduzione batterica

Spore batteriche vitali sono state ritrovate nell'intestino di un insetto fossilizzato in ambra, 25-40 milioni di anni.

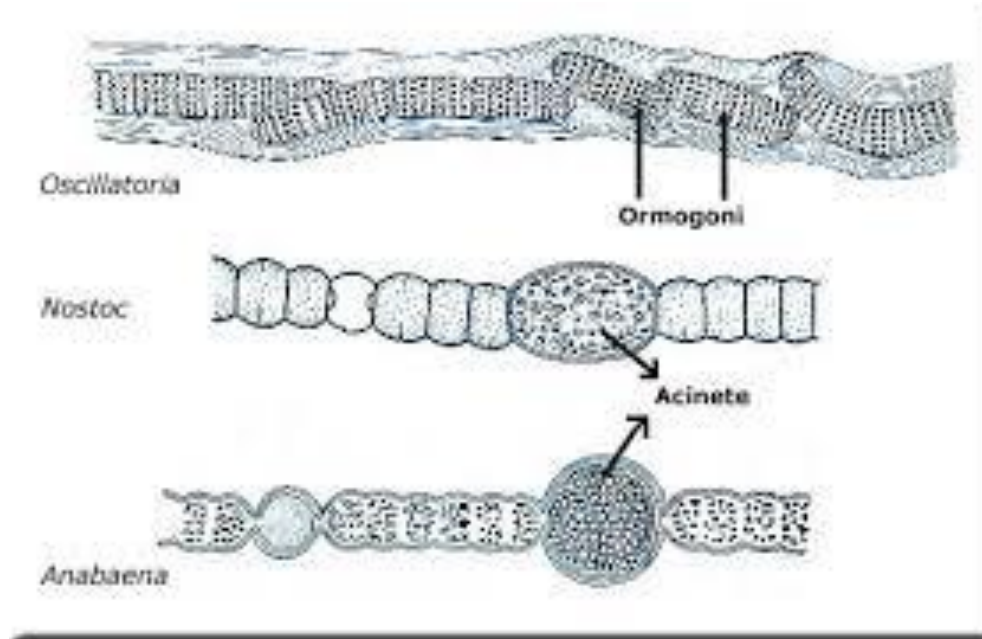
ETEROCISTI: cellule del tricoma che diventano cellule specializzate nella fissazione dell'azoto atmosferico. La posizione può essere basale o intercalare. Se basale svolge anche la funzione di adesione al substrato. Le eterocisti ricevono i prodotti della fotosintesi e cedono quelli della fissazione dell'azoto.

**PRIMO ESEMPIO DI ORGANISMO PLURICELLULARE
CON 2 TIPI DI CELLULE**

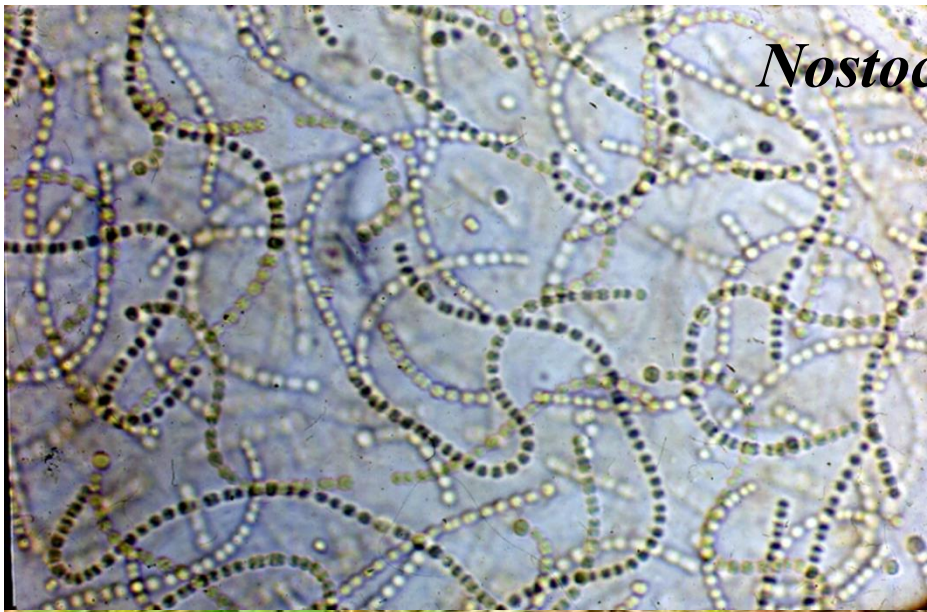


Ormogoni: propaguli che si separano dalla colonia madre e ricostituiscono il filamento

Acineti: cellule con parete molto ispessita, cellule resistenti, quiescenti, riprendono a dividersi solo in condizioni favorevoli (fioriture improvvise)



Nostoc commune Vauch ex Born. et Flah.



Bagni di Tivoli, sorgenti solfuree ipotermali



Comunità microbica delle sorgenti di Bagni di Tivoli



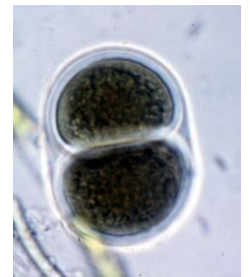
Oscillatoria sp. pl.

Beggiatoa alba L.



Gloeotece sp.

Gloeocapsa serra





Raven P.H., Ray F.E., Eichhorn S.E., 2002 – Biologia delle piante. (6° ed.) ZANICHELLI

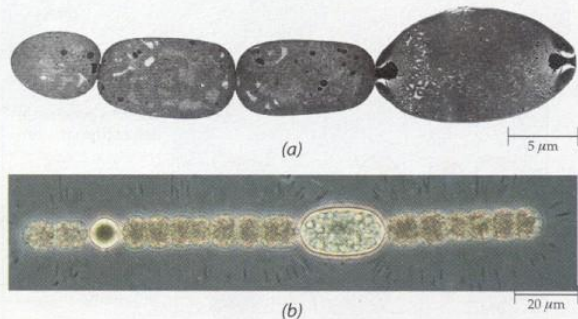
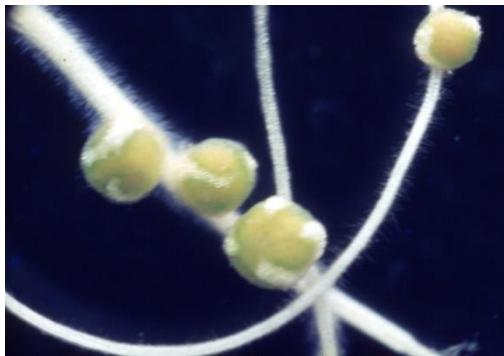


Figura 14.13 Filamenti di *Anabaena*. (a) La foto al microscopio elettronico mostra una catena di cellule unite assieme tramite pareti cellulari incomplete. La prima cellula sulla destra è un'eterocisti all'interno della quale avviene la fissazione dell'azoto. La matrice gelatinosa di questo filamento è andata distrutta durante la preparazione del campione per la microscopia elettronica. (b) In tale preparato, la matrice gelatinosa è appena distinguibile come strie che si estendono all'esterno della superficie cellulare. La terza cellula dalla sinistra è un'eterocisti. *Anabaena*, al pari di *Calothrix* mostrata in Figura 14.11b, forma acineti (la grande cellula ovale alla destra).



Figura 14.14 Donne che piantano riso in una risaia nel Perak, in Malaysia. Nel Sud-Est asiatico, il riso può essere spesso coltivato in continuo sullo stesso suolo senza l'aggiunta di fertilizzanti grazie all'azotofissazione di *Anabaena azollae*, che vive nei tessuti della felce acquatica *Azolla* che cresce nelle risaie.

Cianobatteri e azotofissazione

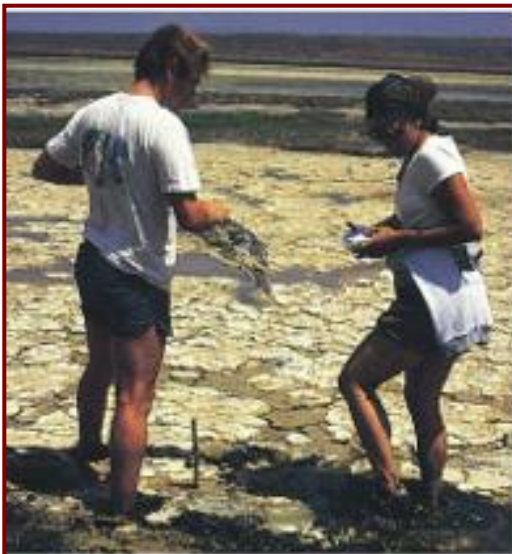


Tubercoli radicali di *Lotus* sp.
(Leguminosae) con batteri simbiotici
(*Rhizobium*) azotofissatori



Cellule batteriche
all'interno di
vescicole

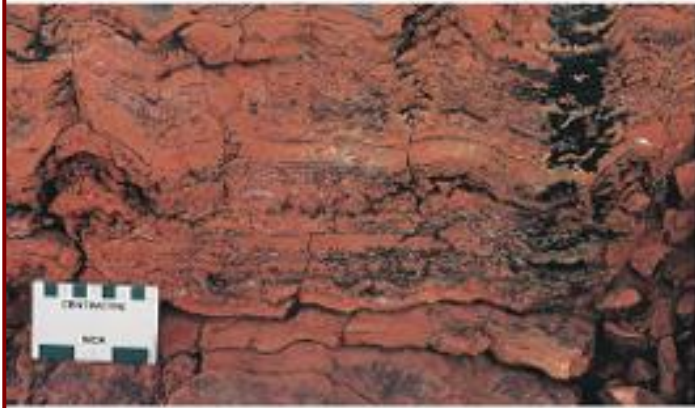




(a) Lynn Margulis e Kenneth Nealson, che studiano la storia della vita, stanno raccogliendo campioni di depositi di tappeti batterici in una laguna della Baja California. Questi depositi sono strutture sedimentarie prodotte da colonie di batteri e cianobatteri che vivono, al sicuro dai predatori, in ambienti inhospitali per la maggior parte delle altre forme di vita.



(b) Le bande visibili in questa sezione di un deposito batterico sono strati di sedimento aderenti alle cellule procariotiche le quali, con la loro migrazione, producono la successione degli strati.

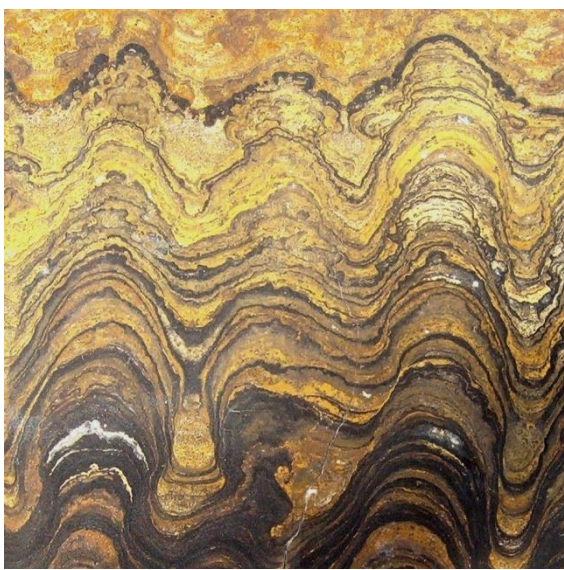


(c) Depositi di tappeti batterici fossili, noti come stromatoliti, sono simili alle strutture stratificate formate dalle colonie batteriche attualmente viventi (mostrate in b). Questa stromatolite, proveniente da un campione raccolto nell'Australia occidentale, ha un'età di circa 3,5 miliardi di anni. Il procariota mostrato nella Figura 26.3a è stato trovato in uno stromatolito di questo tipo.

Campbell N.A., Reece J.B., 2002 – Biologia. ZANICHELLI

Comunità di procarioti e microalghe a sviluppo laminare che vivono in ambienti iperalini o termali inhospitali per piante ed animali. La lenta stratificazione di queste comunità, che depositano numerosi composti minerali, generano strati sedimentari laminari detti **Stromatoliti**

Stromatoliti fossili (sezione)



Stromatoliti viventi della
costa occidentale
dell'Australia



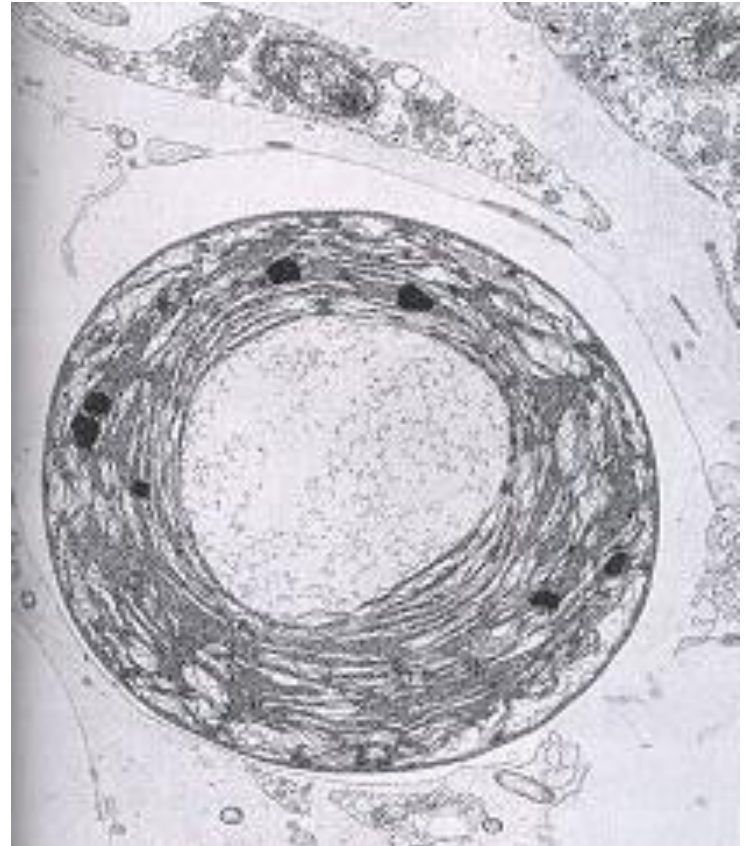


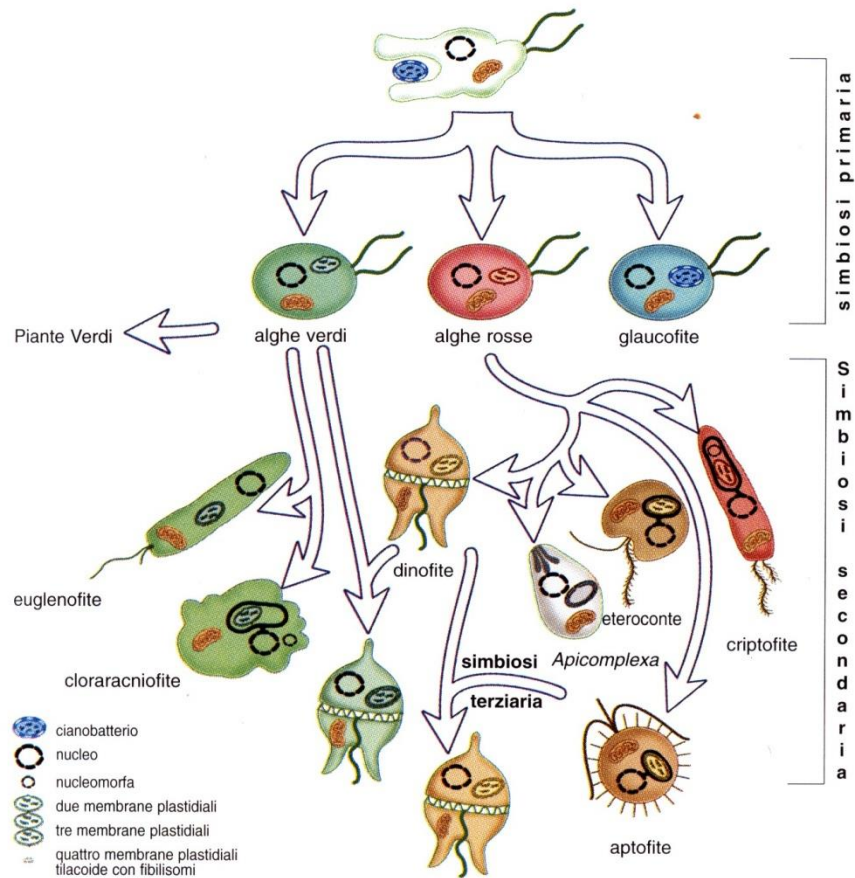
Stromatoliti nella *Shark Bay* (Australia occidentale)

Prochlorophyta



Procarioti che contengono clorofilla *a* e *b* e carotenoidi come i cloroplasti delle piante



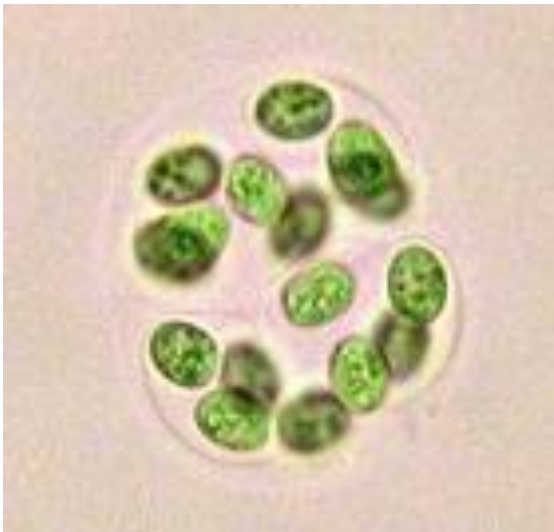


Origine dei diversi *phyla* di organismi fotosintetici attraverso endosimbiosi primarie, secondarie e terziarie

Figura 5.40 - Le alghe verdi (e le piante vascolari), le alghe rosse e le glaucofite derivano probabilmente da un primo ed unico evento endosimbiontico tra un eucariote flagellato fagotrofo e un cianobatterio ancestrale. Le euglenofite e cloraracniofite derivano probabilmente dalla incorporazione di un'alga verde in un protozoo fagotrofo mentre tutte le altre divisioni algali (dinofite, alghe eteroconte, aptofite, criptofite) e gli *Apicomplexa* derivano probabilmente dalla incorporazione di un'alga rossa in un protozoo fagotrofo. Un gruppo di dinofite ha sostituito il cloroplasto tipico contenente peridininina con il cloroplasto di un'aptofite probabilmente attraverso un processo di endosimbiosi terziaria. Una specie (*Lepidodinium viride*) ha sostituito il cloroplasto tipico contenente peridininina con quello di un'alga verde probabilmente attraverso un processo di sostituzione secondaria. Si ritiene che la comparsa degli eucarioti fotosintetici possa farsi risalire al Cambriano (600-700 milioni di anni fa). Notare il nucleo residuo (*nucleomorfa*), tra le due membrane RE e le due membrane interne del cloroplasto nelle cloraracniofite e nelle criptofite. (da Moreira & Philippe e Palmer).

MAI PLURICELLULARI

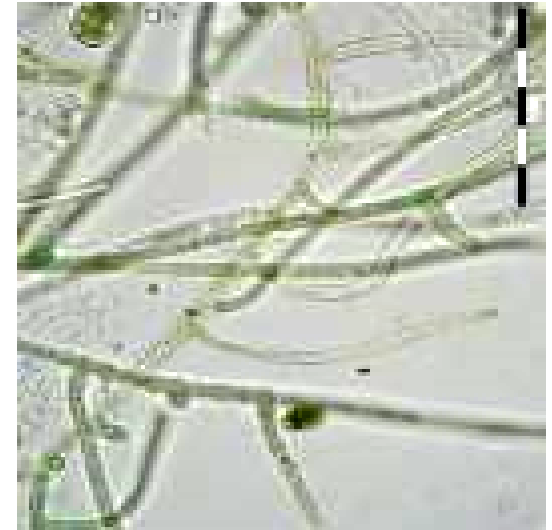
Possono formare **cenobi** (ad es. *Gleocapsa*), o **colonie** (nella maggior parte dei casi filamentose)



Gleocapsa



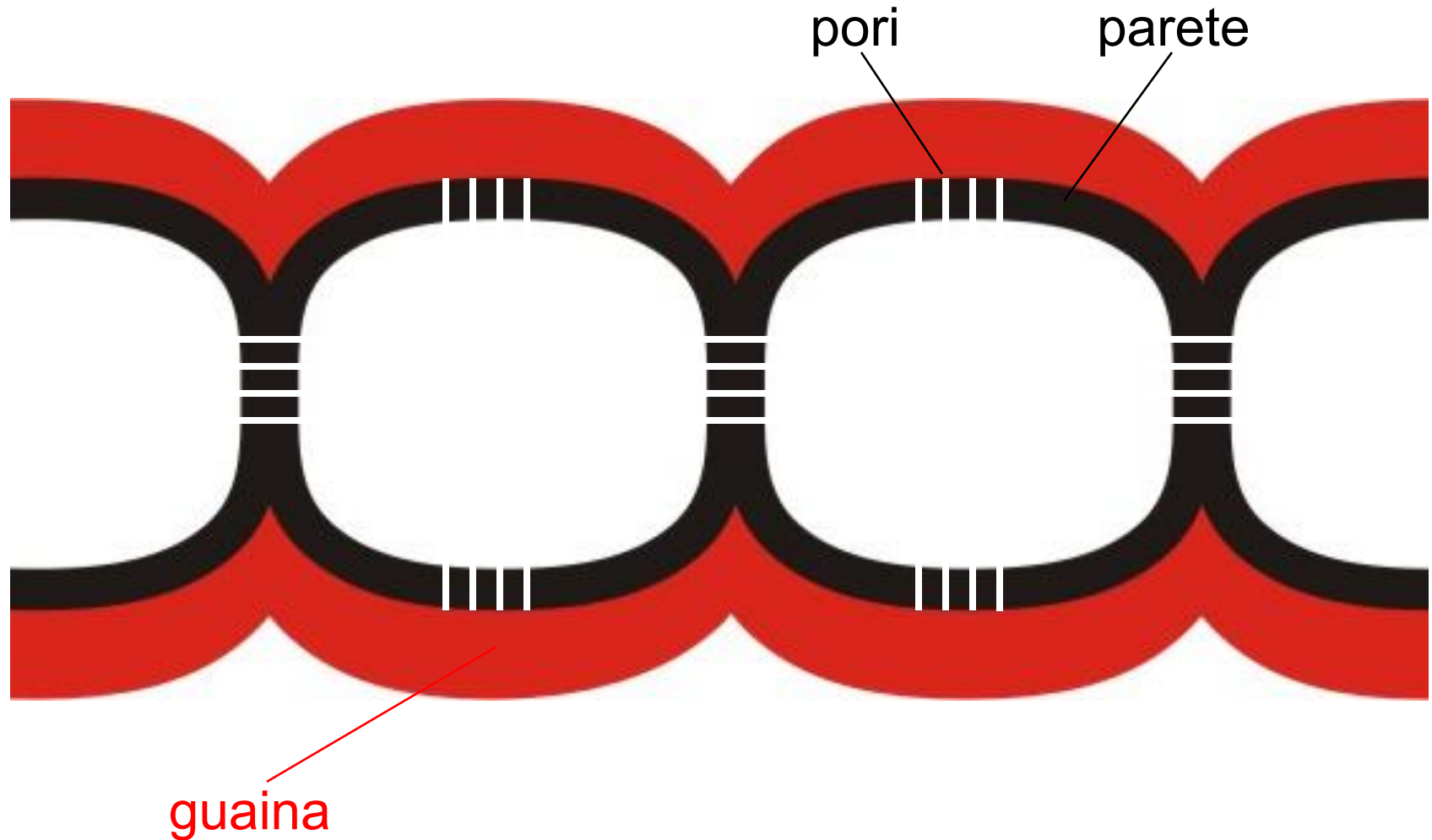
Oscillatoria



Hapalosiphon

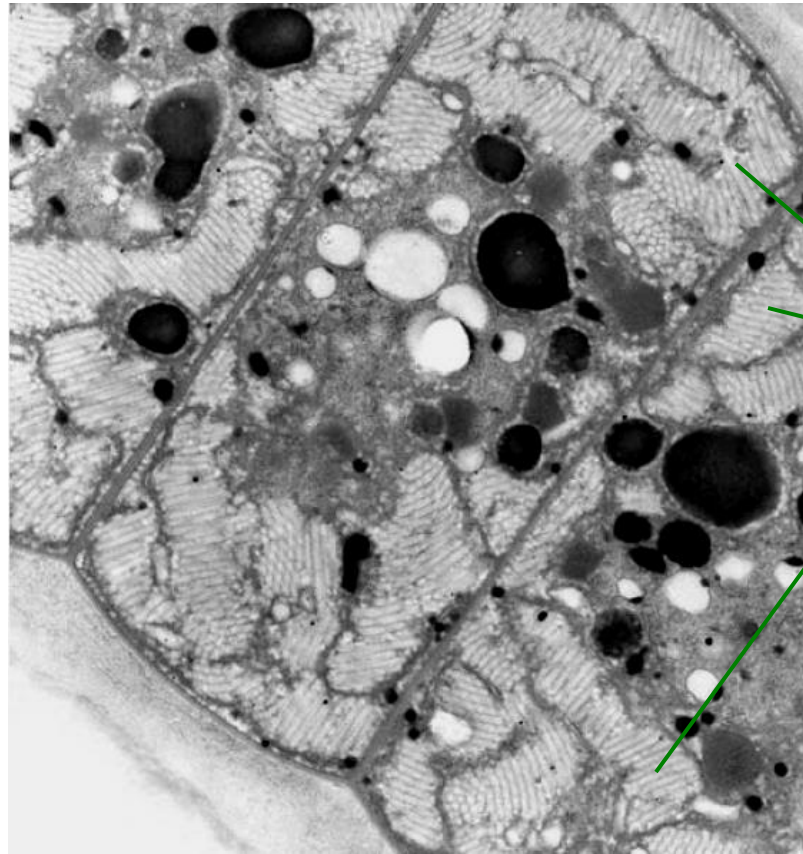
Si possono avere **filamenti semplici** (ad es. *Oscillatoria*) o **filamenti ramificati** (ad es. *Hapalosiphon*)

Le cellule sono legate assieme da una secrezione gelatinosa detta **GUAINA**



Ciascuna cellula mantiene la propria autonomia

VACUOLI GASSOSI



Vacuoli
gassosi

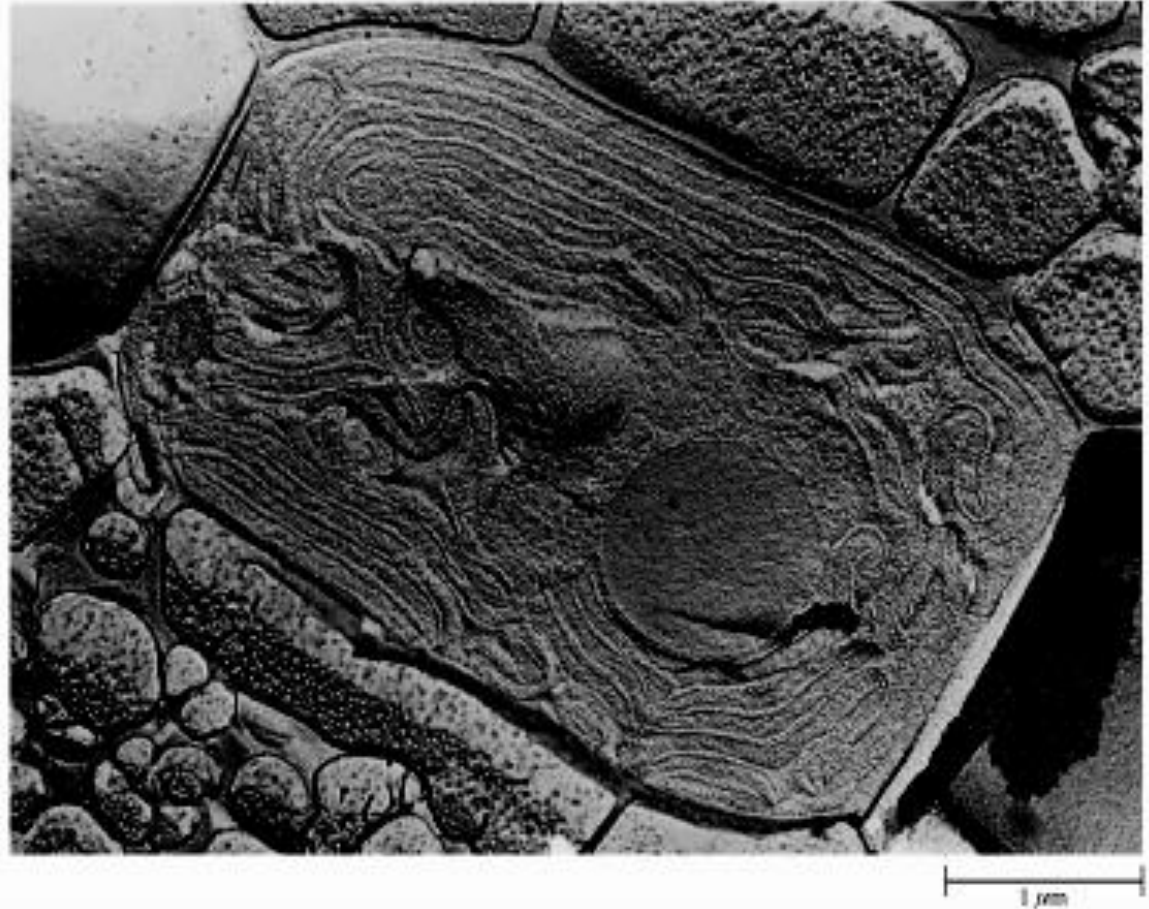
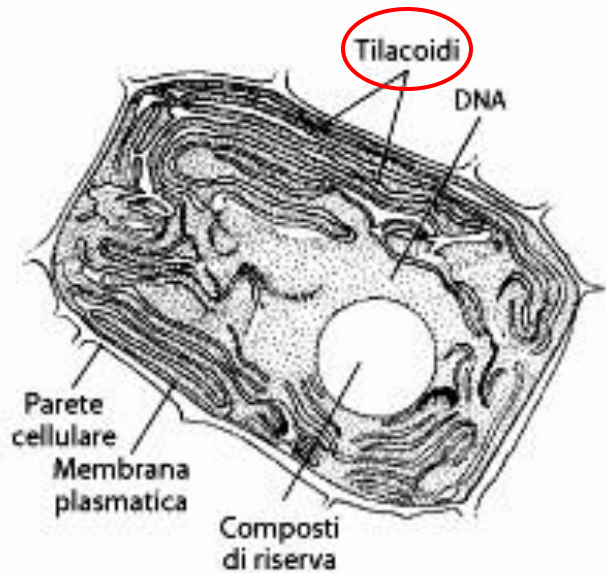
Nodularia spumigena

Funzioni

Galleggiabilità

Schermatura dalla luce

TILACOIDI

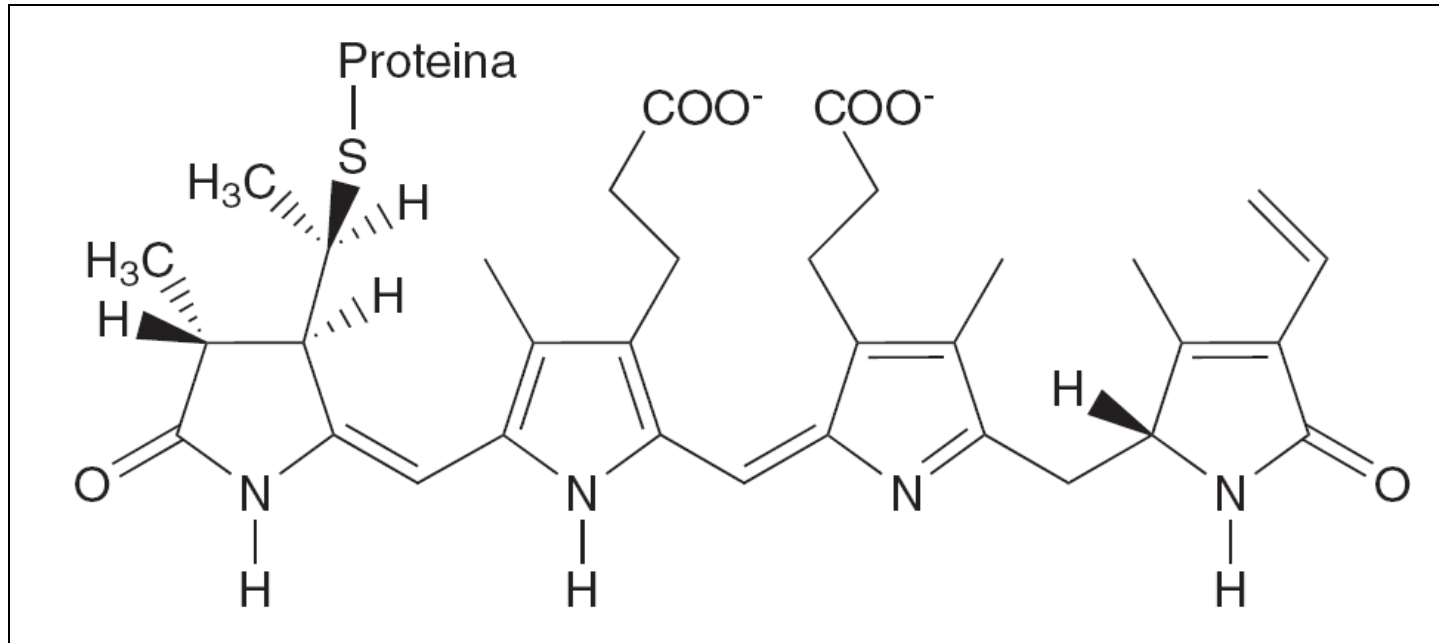


Aumento della superficie sulla quale sono localizzati i fotosistemi e i trasportatori di elettroni

PIGMENTI FOTOSINTETICI

Oltre alla clorofilla "a" e ai carotenoidi, i cianobatteri possiedono

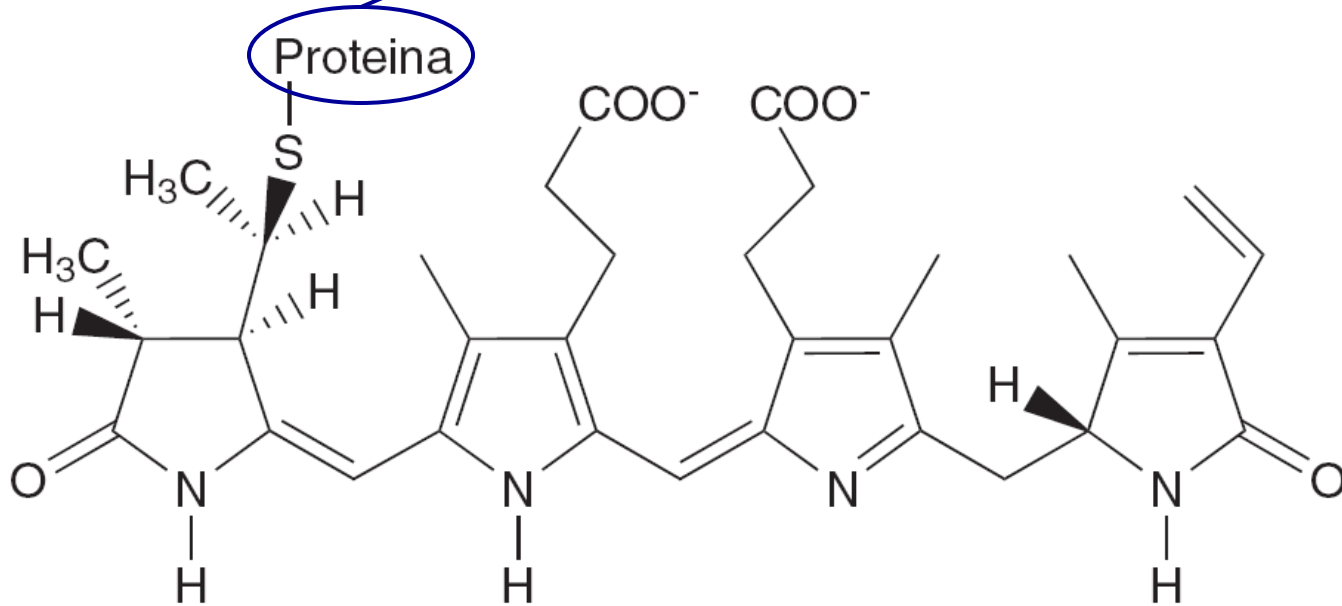
FICOBILINE



ficoeritrobilina

PIGMENTI FOTOSINTETICI

Le ficobiline sono legate a proteine



(ficobilina + proteina = FICOBILIPROTEINA)

FICOBILISOMI

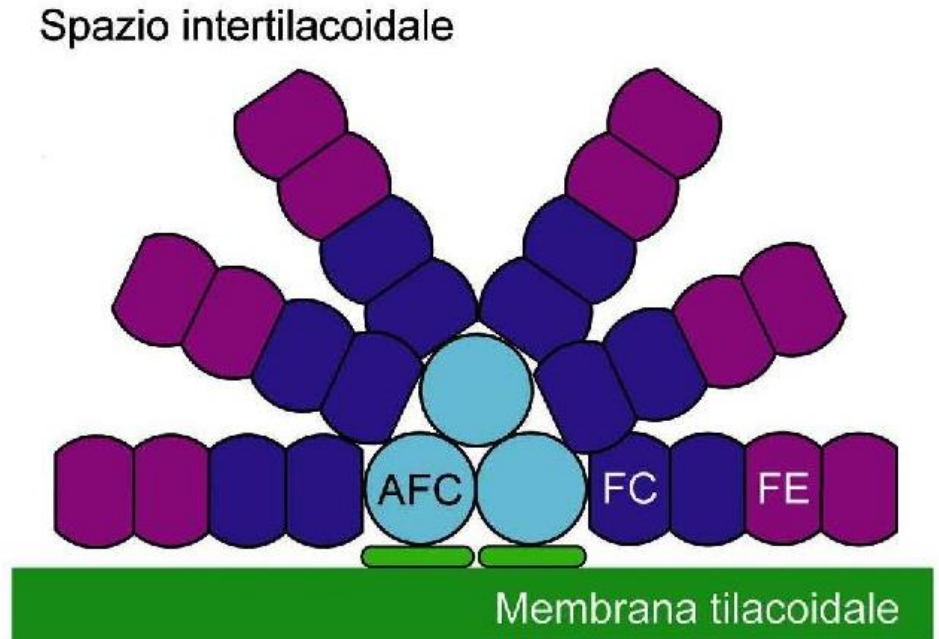
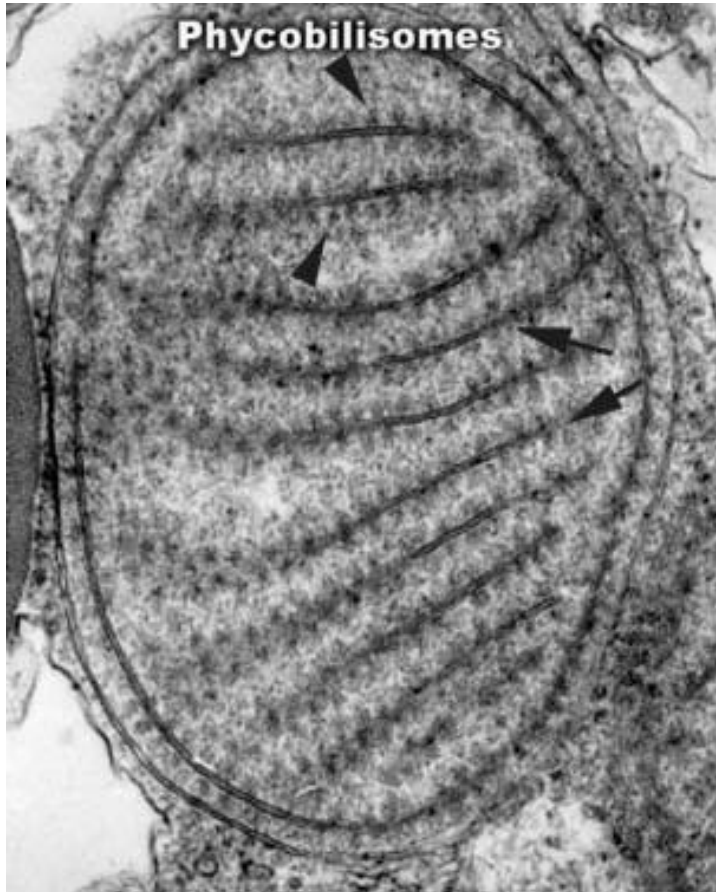
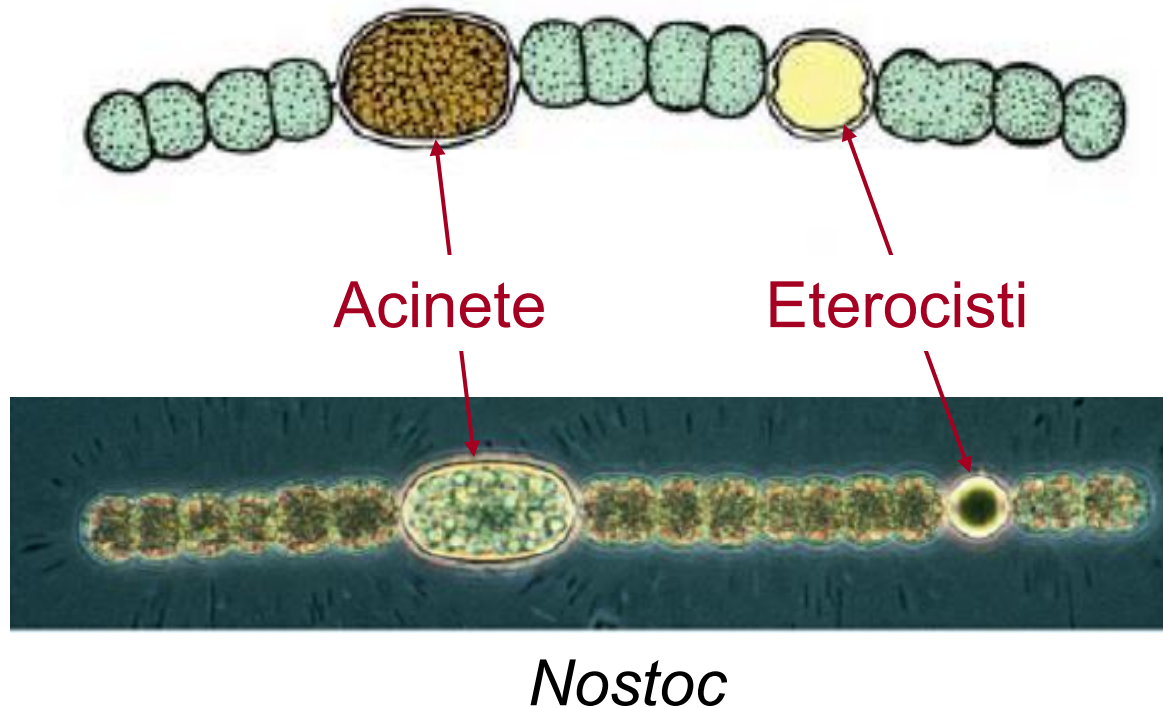


Figura 17.6

Modello di ficobilisoma delle Cyanophyceae. AFC: alloficcianina; FC: ficocianina; FE: ficoeritrina (disegno di G.P. Felicini).

I FICOBILISOMI, aggregati di ficobiliproteine, sono localizzati in modo ordinato (equidistanti) sui tilacoidi

Cianobatteri AZOTOFISSATORI



ETEROCISTI: fissazione di azoto

ACINETI: resistenza a condizioni ambientali sfavorevoli

Cianobatteri AZOTOFISSATORI



Anabaena azollae



Azolla



Risaia



Altri importanti batteri AZOTOFISSATORI



Tubercoli radicali



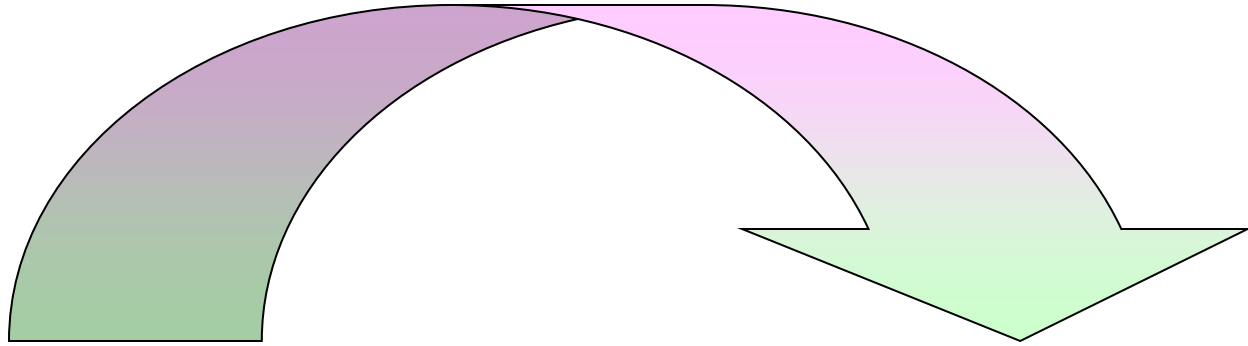
Rizobium leguminosarum



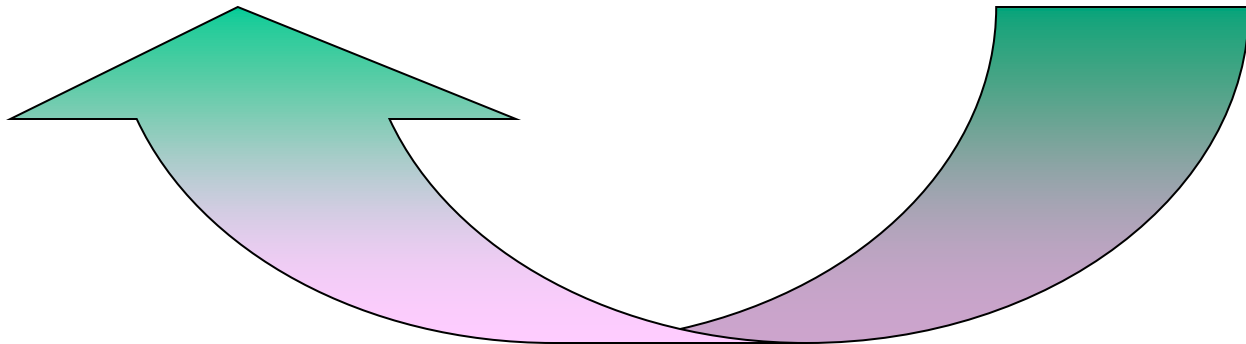
Medicago sativa

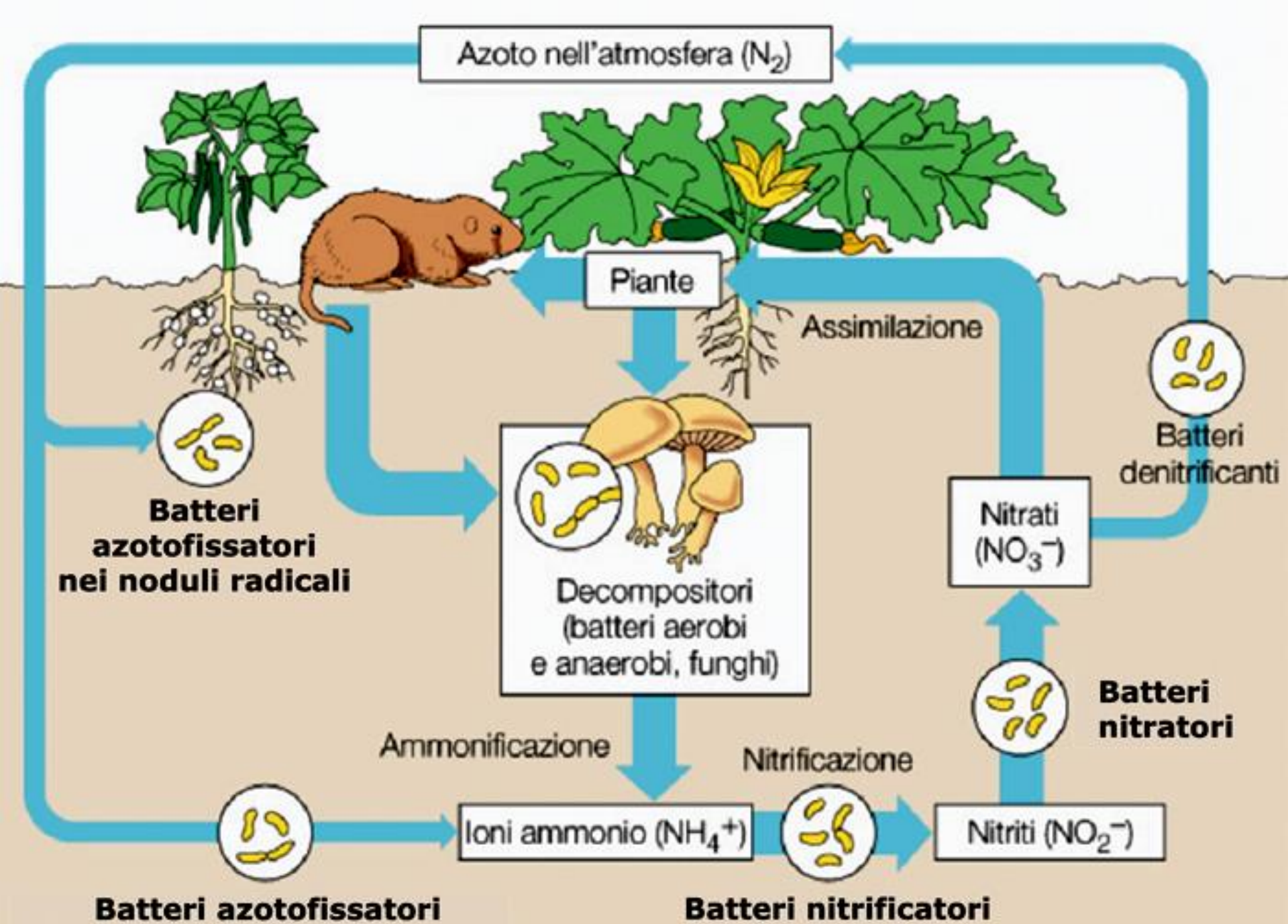


Il sovescio



IL CICLO DELL'AZOTO





Il ciclo dell'azoto è un CICLO GASSOSO: il pool di riserva di azoto è nell'atmosfera (78%)

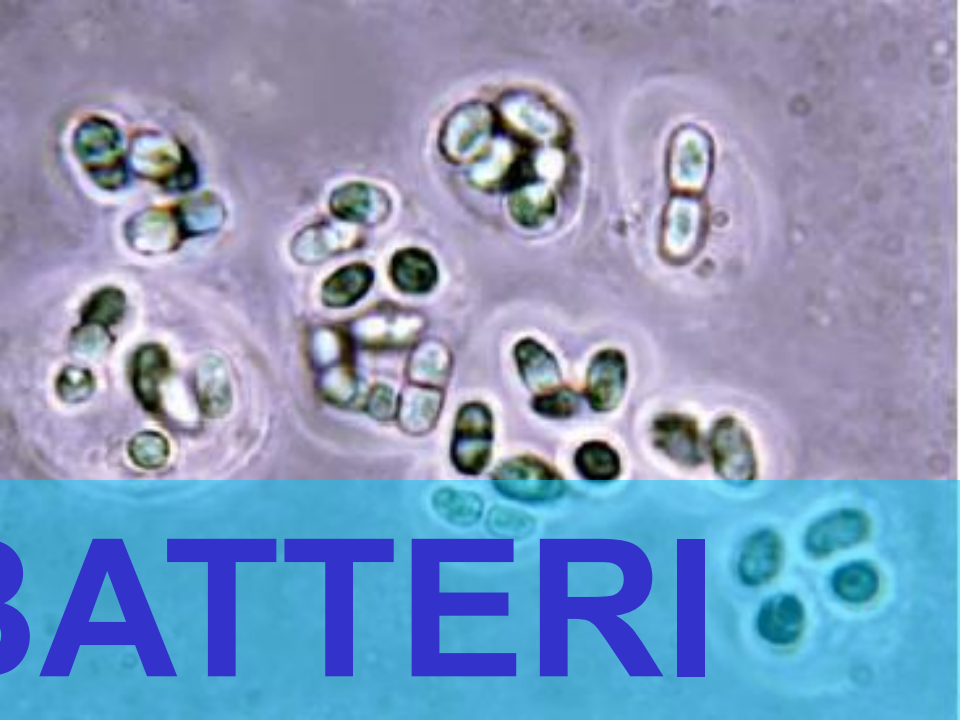
•Il **90%** dell'azoto fissato proviene dall'attività di BATTERI AZOTOFISSATORI

•Il restante **10%** proviene dall'azione dei FULMINI che provocano l'ossidazione dell' N_2 a NO_3^-

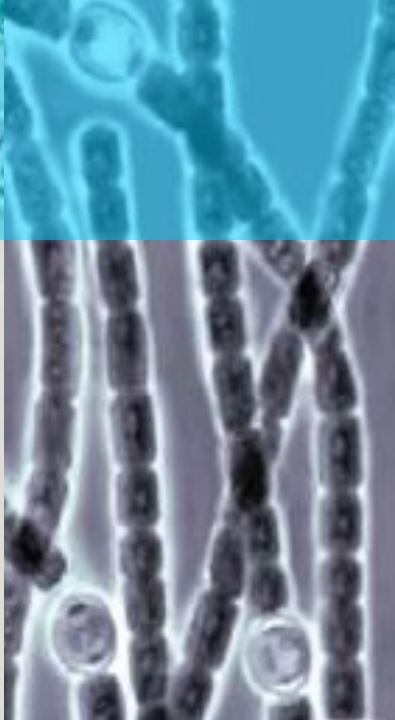
Un'altra fonte di azoto è rappresentata dall'AMMONIFICAZIONE, ossia la conversione delle ammine ($-\text{NH}_2$) presenti nella biomassa animale e vegetale in NH_4^+ . Tale processo è operato da batteri e funghi decompositori

NH_4^+ è convertito NO_2^- dai BATTERI NITRIFICATORI, e questo è convertito in NO_3^- dai BATTERI NITRATORI

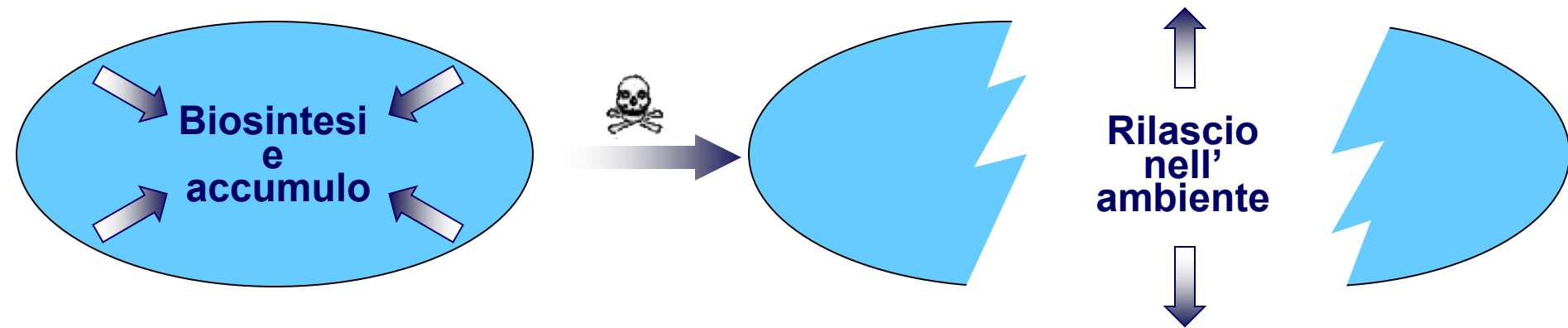
NO_3^- è in parte assorbiti dalle piante (che li introducono nelle reti trofiche) e in parte convertito in N_2 dai BATTERI DENITRIFICANTI



CIANOBBATTERI TOSSICI



Molti cianobatteri producono sostanze tossiche per gli animali e per l'Uomo (biotossine)



Le biotossine vengono accumulate all'interno della cellula e sono rilasciate nell'ambiente a seguito della morte del cianobatterio

I cianobatteri produttori di biotossine si trovano in tutti gli ambienti acquatici



fiumi



laghi



mare

La presenza di questi organismi rappresenta un problema nei bacini in cui si abbevera il bestiame o dai quali si attinge acqua ad uso potabile

Le biotossine cianobatteriche sono pericolose ad alte concentrazioni

Concentrazioni tossiche di biotossine cianobatteriche si hanno a seguito di **fioriture algali** (*algal blooms*)



Algal bloom

I massimi livelli di tossicità si riscontrano **al termine della fioritura**, quando i cianobatteri muoiono e rilasciano nell'ambiente le tossine

Principali classi di tossine cianobatteriche

Sono di **3 categorie**, distinte per **struttura chimica** e per gli **effetti** causati:

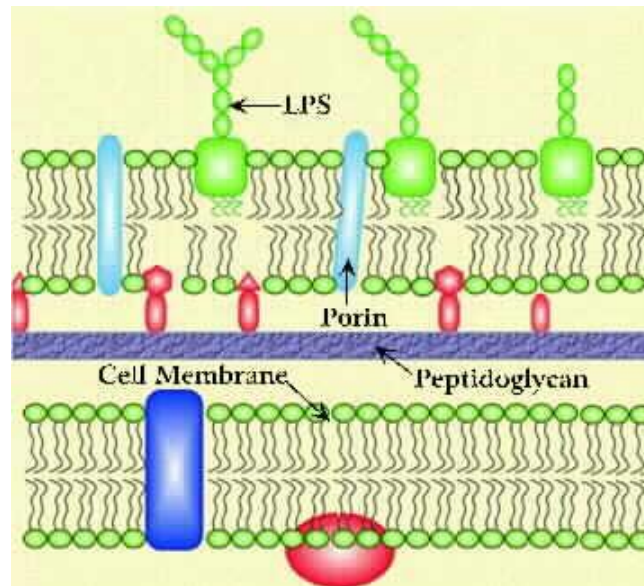
- Lipopolisaccaridi (LPS) } Effetti non gravi
- Neurotossine } Effetti gravi, talvolta letali
- Epatotossine }

**TOSSINE
LIPOPOLISACCARIDICHE
(LPS)**

Tossine lipopolisaccaridiche (LPS)

Sono le meno dannose ma anche le più diffuse

I lipopolisaccaridi sono componenti chimici della parete cellulare di tutti i batteri Gram-negativi

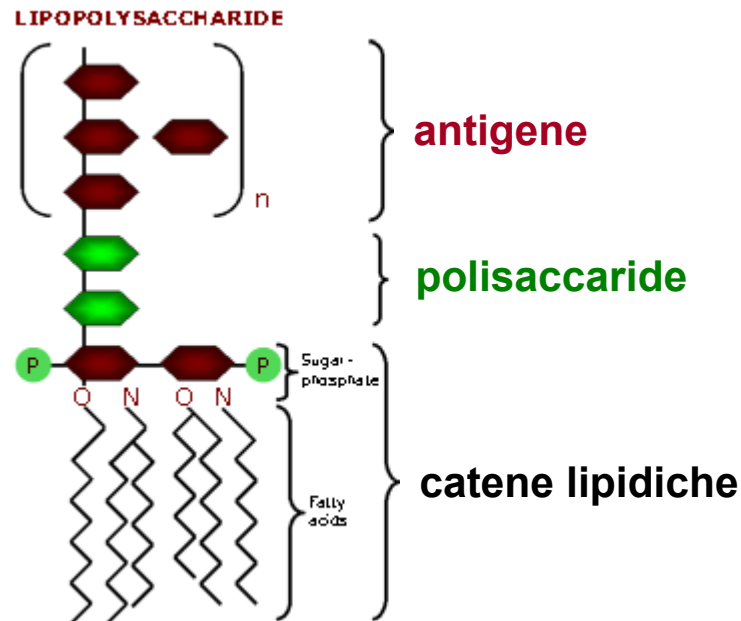


Parete cellulare dei batteri Gram-negativi

Struttura chimica delle tossine lipopolisaccaridiche (LPS)

La molecola è composta da **3 parti**:

- Un gruppo di **catene lipidiche**
- **Polisaccaridi**
- Un gruppo **antigene** (di varia natura)



Sintomi delle tossine lipopolisaccaridiche (LPS)

I sintomi dell'intossicazione da LPS non sono molto gravi:

- **Per contatto**: irritazioni cutanee



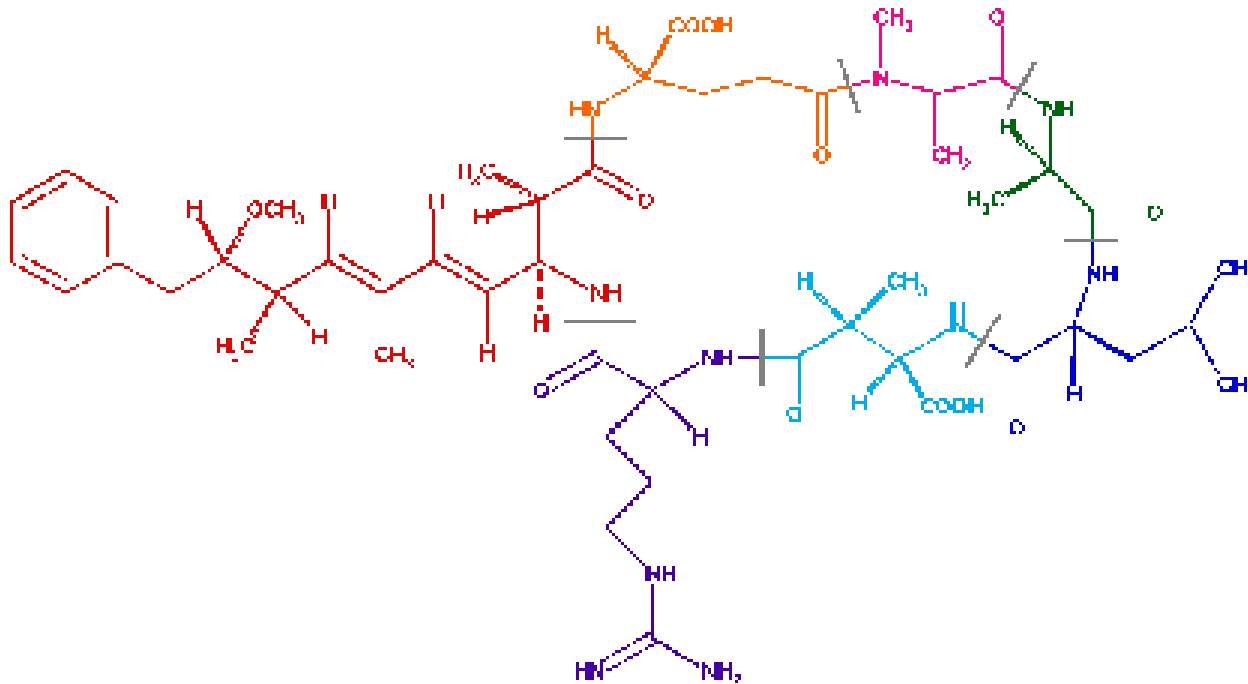
- **Per ingestione**: vomito, diarrea, febbre, ipertensione e reazioni allergiche



EPATOTOSSINE

Struttura chimica delle epatotossine

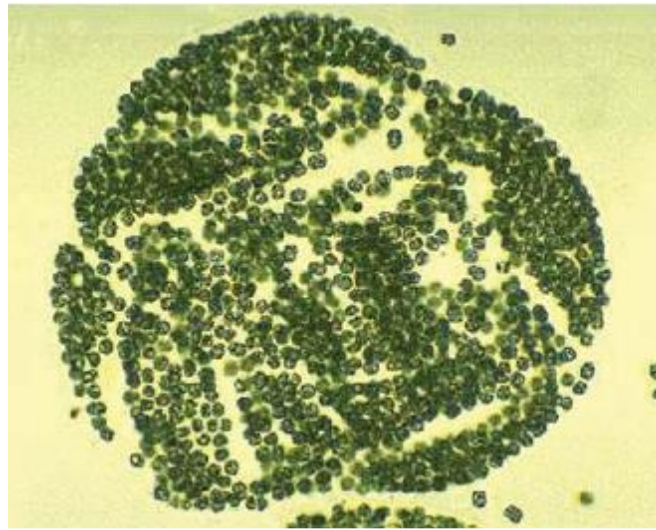
Le epatotossine sono peptidi ciclici costituiti da circa 10 aminoacidi



Epatotossina (microcistina)

Epatotossine

I sintomi si manifestano dopo ore o giorni dal momento dell'intossicazione



Myrocystis aeruginosa

Le prime ad essere caratterizzate sono quelle della specie *Myrocystis aeruginosa* e per questo sono state denominate (microcistine).

Tossicità delle epatotossine

Il principale problema è rappresentato dall'intossicazione del bestiame (cavalli, buoi ed altri grandi mammiferi, che ingeriscono grandi volumi di acqua)



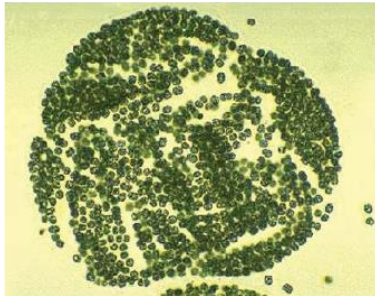
Tossicità delle epatotossine

L'Uomo non è soggetto ad intossicazione acuta bevendo acqua con epatotossine

In certe aree geografiche le epatotossine assunte per lunghi periodi con l'acqua potabile sono ritenute responsabili di:

- cirrosi epatica
- carcinoma al fegato

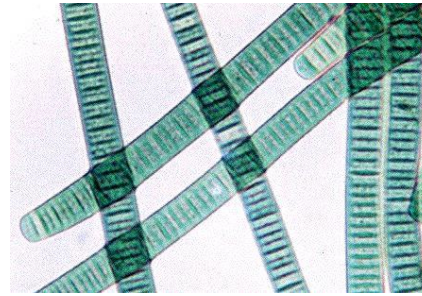
Intossicazione cronica



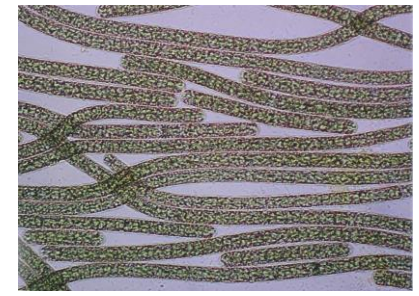
Mycrocystis



Anabaena



Oscillatoria



Planktothrix

Principali epatotossine

Attualmente si conoscono circa 60 diverse epatotossine (tra cui micricistine da *Mycrocistis*, cilindrospermopsine da *Cylindrospermopsis* e *Aphanizomenon*, nodularine da *Nodularia*)

micricistine



Mycrocistis

cilindrospermopsine



Cylindrospermopsis



Aphanizomenon

nodularine



Nodularia

NEUROTOSSINE

Neurotossine

(alcaloidi idrosolubili)

Le neurotossine hanno effetti gravi ed agiscono in pochi minuti

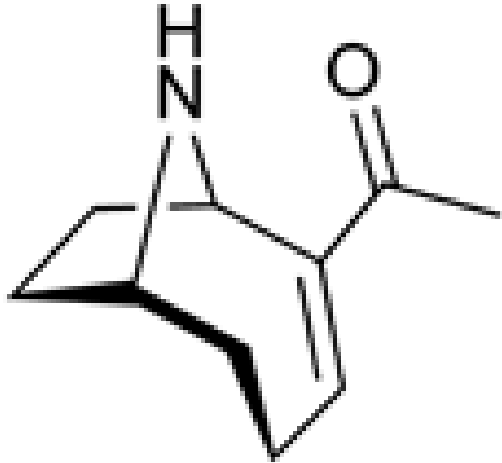
Quelle maggiormente note sono:

Anatossine (anatossina-a, AnTXa)

Aphantossine (saxitossina, STX)

Struttura chimica delle anatoossine

La più conosciuta è l'anatoossina-a (AnTXa)



Anatoossina-a

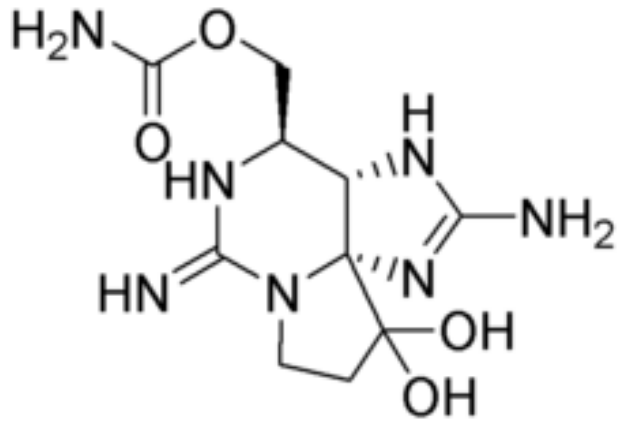


Anabaena flos-aquae

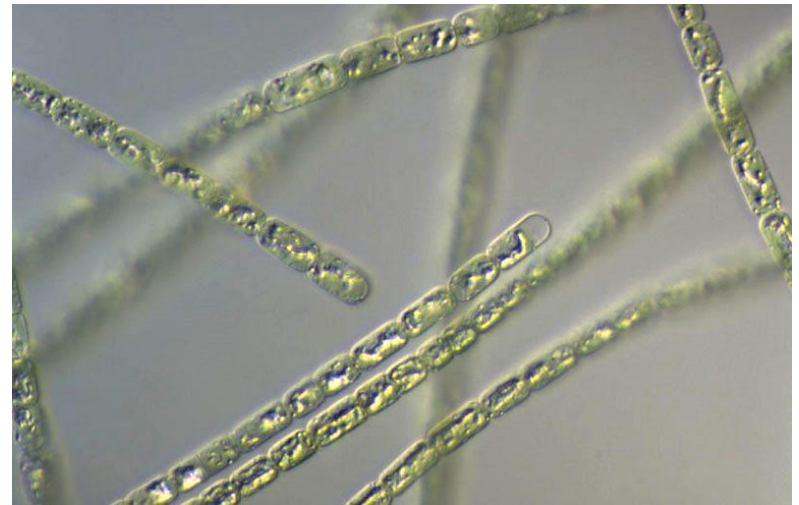
L'AnTXa antagonizza con il neurotrasmettitore acetilcolina nel sistema nervoso dei vertebrati

Struttura chimica delle aphantossine

Una delle aphantossine più note è la saxitossina (STX), prodotta da *Aphanizomenon flos-aquae*



Saxitossina



Aphanizomenon flos-aquae

È una delle più potenti tossine: inibisce la trasmissione nervosa generando paralisi

La tossicità di un certo numero di specie è stata ampiamente dimostrata e documentata; altre specie si classificano, invece, come potenzialmente tossiche, in quanto la valutazione della loro tossicità si basa spesso su osservazioni occasionali, e non esistono ancora sufficienti studi sperimentali a riguardo.

I cianobatteri tossici sono presenti in tutti gli ambienti acquatici sia marini che d'acqua dolce, tuttavia l'intossicazione assume maggiore gravità per l'uomo e per la sua economia nelle aree dei bacini interni, dove il bestiame va ad abbeverarsi o dove le acque vengono usate per alimentare acquedotti ad uso potabile.

La pericolosità delle tossine cianobatteriche dipende dalla densità degli organismi e quindi è molto elevata quando si verifica una fioritura. Una stessa specie può infatti risultare più o meno tossica a seconda della fase di fioritura nonché di diversi fattori fisico-chimici dell'ambiente. Si comprende quindi che nel corso di una fioritura e, soprattutto, al suo termine, un gran numero di cellule moribonde o morte scarica nell'acqua una grande quantità di tossine.

La contaminazione dell'ambiente ha generalmente una durata limitata ad alcuni giorni. Occorre considerare, tuttavia, che molti cianobatteri formano dense ed estese biomasse galleggianti, grazie alla presenza dei vacuoli gassosi soprattutto nelle acque fluviali e lacustri, si deposita lungo la riva dove lentamente va incontro ad essiccamento; se la specie è tossica, esso rappresenta una riserva di tossine per un lungo periodo.

CIANOBATTERI TOSSICI

Riassunto

Alcune specie di cianobatteri possono rivelarsi tossiche per gli animali e anche per l'uomo. La loro tossicità è causata da biotossine che non vengono escrete nel mezzo circostante, bensì sono liberate quando le cellule muiono o subiscono importanti lesioni.

Le principali tossine cianobatteriche sono di tre categorie, distinte per la struttura chimica e per gli effetti causati: lipopolisaccaridi, epatotossine e neurotossine.

Le meno dannose, ma le più diffuse e dalle conseguenze imprevedibili, perché ancora poco conosciute, sono i **lipopolisaccaridi** (LPS). Si trovano in tutti i batteri Gram-negativi e sono normali costituenti della parete cellulare. Le molecole sono composte da tre parti: un gruppo di catene lipidiche, i polisaccaridi e un gruppo antigene di varia natura. Sono i lipidi i responsabili della tossicità: in certi casi provocano semplici irritazioni cutanee, come gli LPS di specie di *Oscillatoria*, ma per ingestione possono causare diarrea, vomito, febbre e ipotensione o anche reazioni allergiche.

Le **epatotossine** e le **neurotossine** hanno invece effetti piuttosto gravi, talvolta letali. Le epatotossine agiscono in un lasso di tempo di ore o di giorni, le neurotossine in pochi minuti. Incidenti neurotossici causati da cianobatteri sono accaduti soprattutto nel Nord America, mentre casi di avvelenamenti da epatotossine sono avvenuti ed avvengono in tutto il mondo.

SIMBIOSI TRA CIANOBATTERI E FUNGHI=LICHENI



SIMBIOSI TRA ANABENA ED AZOLLA (FELCE ACQUATICA)



+



Il cianobatterio produce composti azotati e li cede all'azolla che a sua volta fornisce al cianobatterio carboidrati. Il cianobatterio vive in cavità delle foglie. Uso di azolla come concime verde nelle risaie