

BIOLOGIA VEGETALE (00FA-2)



Riduzione dell'azoto ($\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3$)

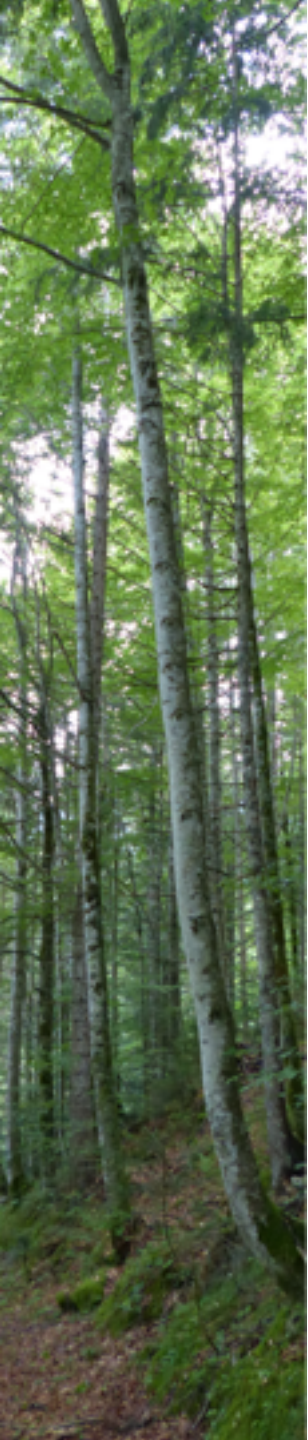
La fissazione consiste nella riduzione dell'azoto molecolare atmosferico N_2 ad NH_4^+ (ammonio) e quindi nella trasformazione di questo in radicale amminico, $-\text{NH}_2$, che viene per la maggior parte organicato negli amminoacidi e quindi nelle proteine.

La molecola dell' N_2 è **particolarmente stabile**, per la presenza del **triplo legame**:



La rottura avviene in condizioni di alta energia, per es. scariche elettriche.





Oltre a quello di origine atmosferica, gli ecosistemi naturali godono degli input da parte di pochi gruppi di organismi, che sono capaci di ridurre l'azoto molecolare (N_2) a NH_3 grazie a processi enzimatici.

Questi gruppi sono:

- **Eubatteri liberi ed eterotrofi**, più frequentemente anaerobi obbligati, o aerobi facoltativi che operano in condizioni anaerobiche o con bassa $P_{[O_2]}$, o ancora aerobi obbligati (es. *Azotobacter* sp.).
- **Eubatteri fotoautotrofi liberi** (es.: *Rhodospirillum rubrum*, anaerobo facoltativo, bacterioclorofille, fotosintesi senza produzione di O_2)
- **Cianobatteri**

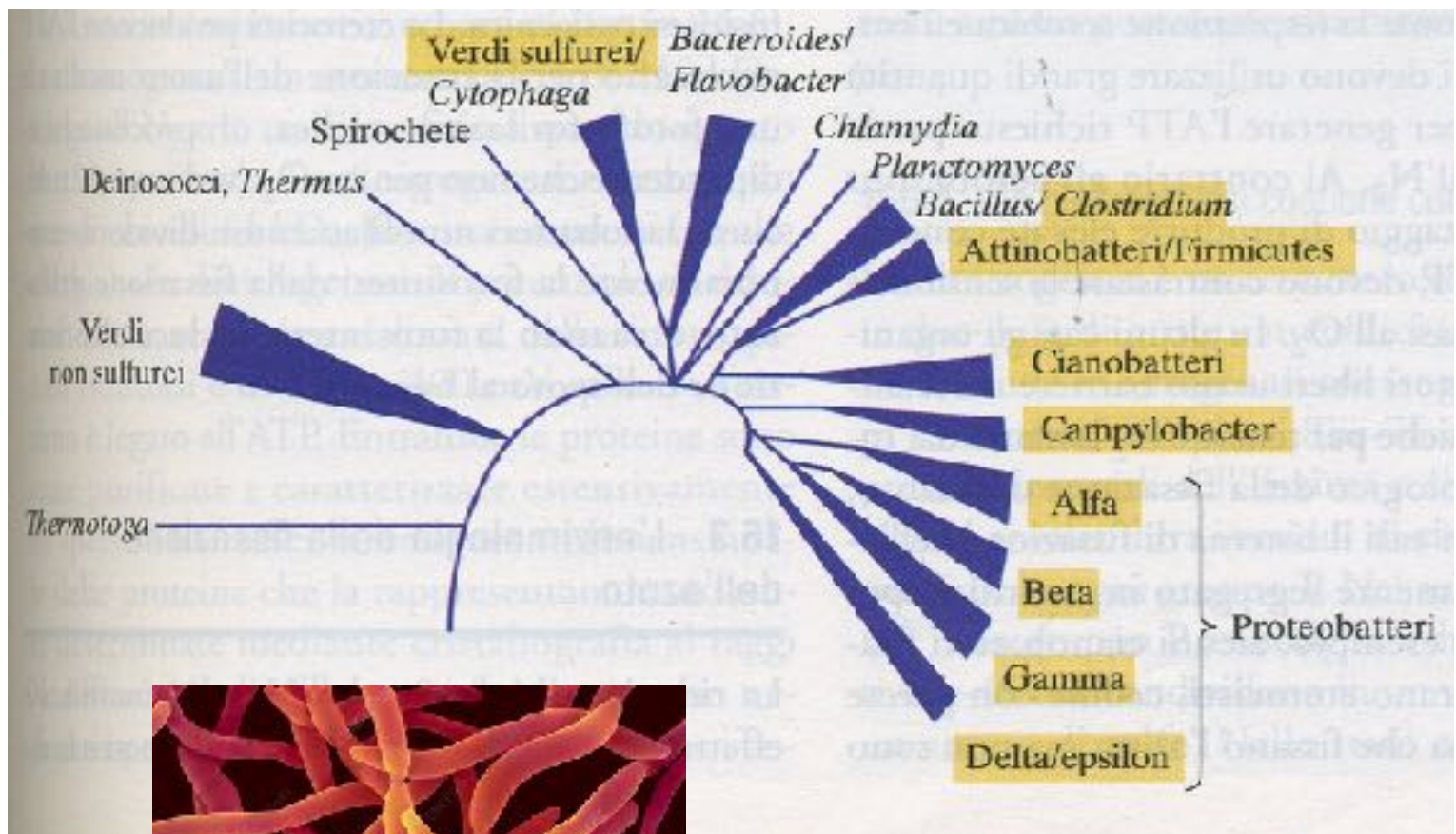


Figura 16.5 Distribuzione filogenetica di eubatteri azotofissatori. Una tassonomia semplificata di questi batteri mostra che, sebbene molti gruppi contengano specie azotofissatrici (evidenziate in giallo), la fissazione dell'azoto non è condotta da tutti i rappresentanti di questo gruppo



La reazione è fortemente “energivora”:



NITROGENASI:

Ha una bassa specificità di substrato: riduce N_2 , ma anche N_2O ($\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$) e **acetilene** (C_2H_2 → C_2H_4).

viene inattivata rapidamente e in modo irreversibile dall' O_2 .

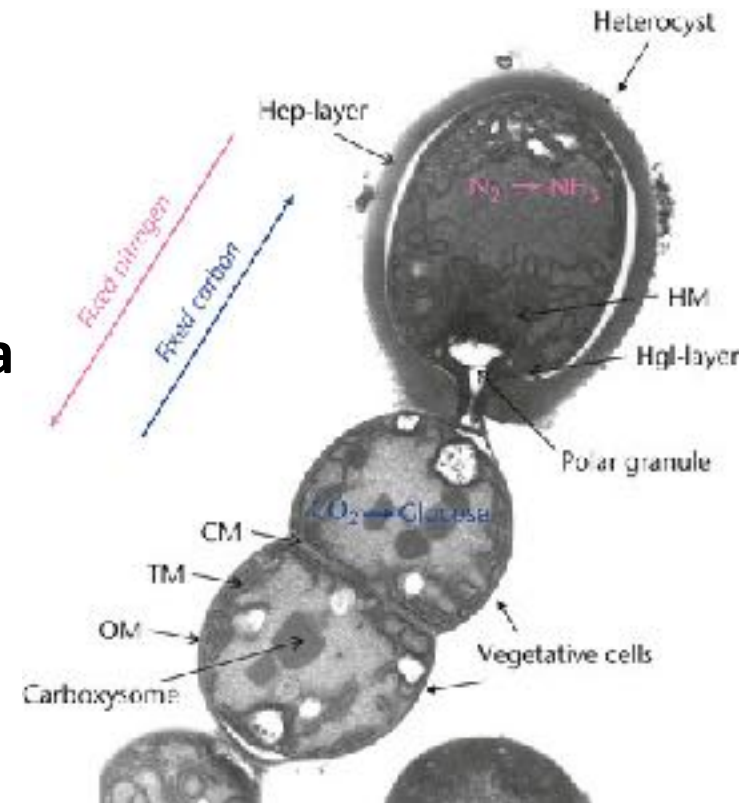
problema = sensibilità all'ossigeno → soluzioni evolute dai cianobatteri



- Il fenomeno è limitato a condizioni di **anossia**, o perché le cellule sono coperte dal sedimento o perché la fissazione viene svolta al buio, durante la notte;

- Il fenomeno è **limitato a cellule coloniali povere di pigmenti fotosintetici**;

- È nata una super-specializzazione, con **suddivisione delle funzioni tra cellule** dello stesso filamento; per fare ciò deve esistere un *continuum* dei citoplasmici («**simplasto**») → **ETEROCISTI**

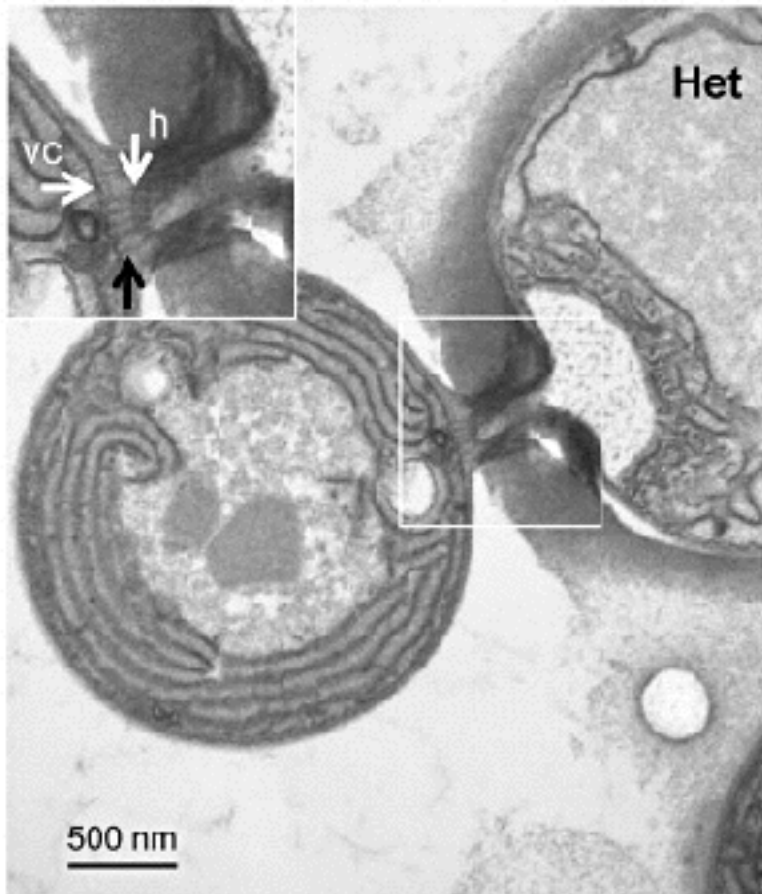




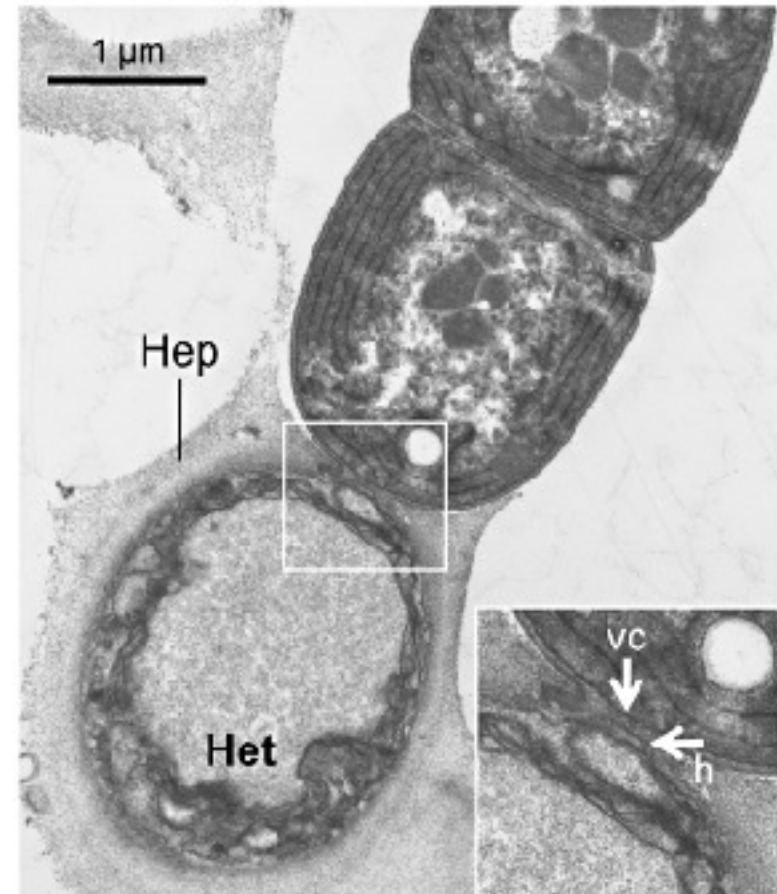
ETEROCISTI

- forma tondeggiante,
- più grandi (da 2 a 12 volte) delle normali cellule del filamento
- connessione fisica tra l'eterocisti e le due cellule adiacenti, tramite una speciale punteggiatura attraversato da microtubuli

CSVT1 ($\Delta fraC$)

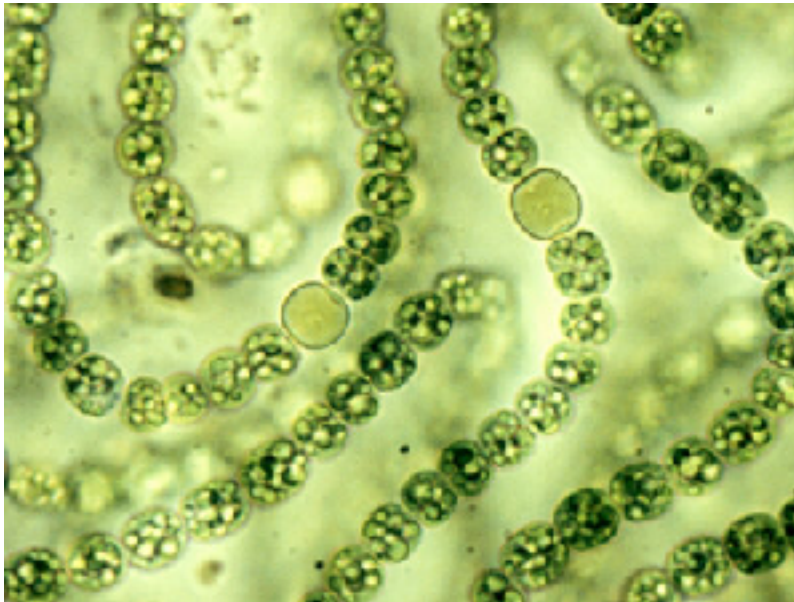


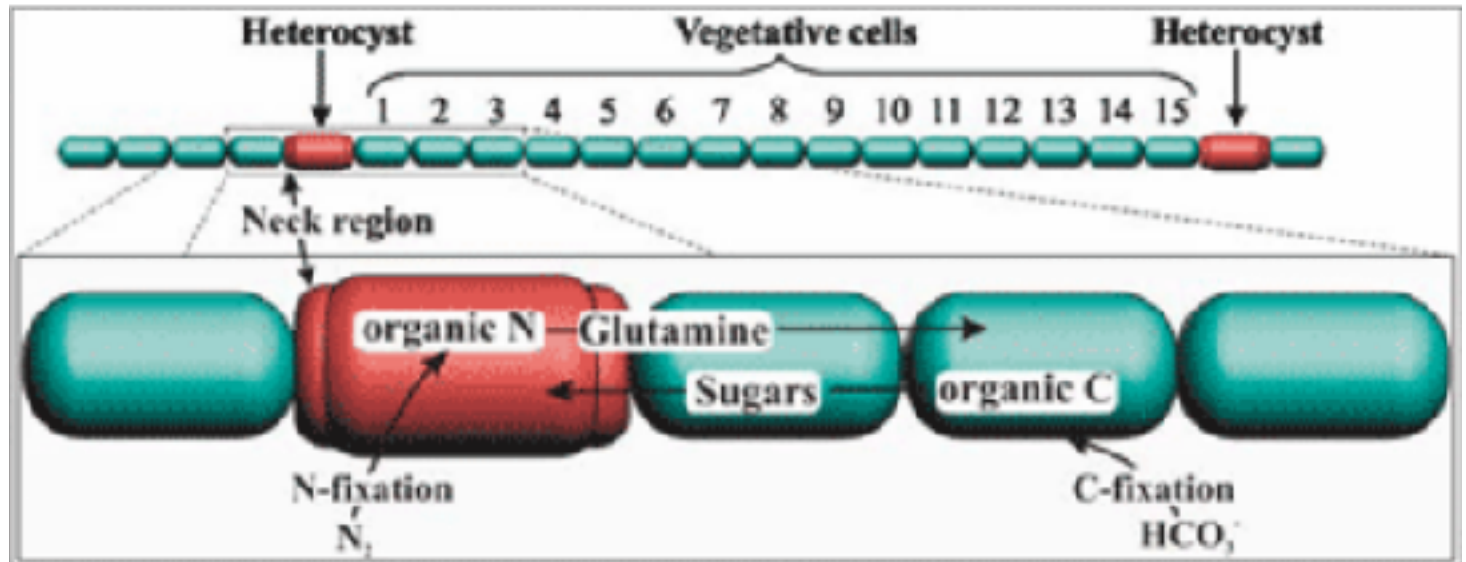
CSVT3 (*fraE::pCSV3*)



Eterocisti:

- producono 3 pareti cellulari supplementari, che comprendono un glicolipide che forma una barriera impermeabile all'ossigeno
- producono nitrogenasi e altre proteine per la fissazione dell'azoto
- Non hanno il fotosistema II, che produce ossigeno
- producono proteine che catturano il rimanente ossigeno
- Presentano dei “tappi” composti di cianoficina che rallentano la comunicazione cellula - cellula



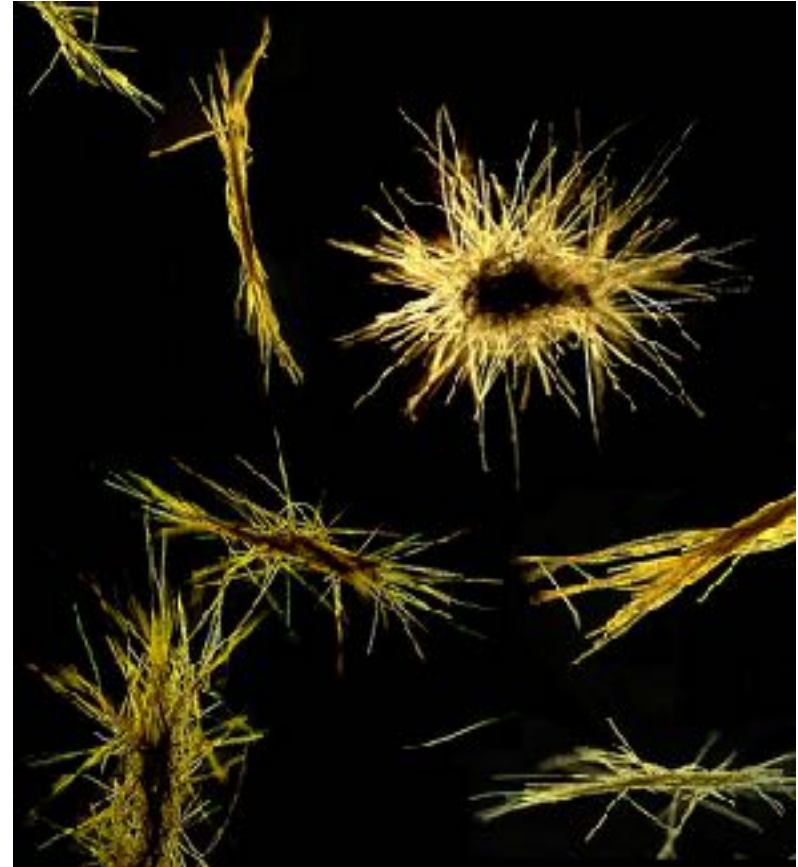


Il potere riducente (NADPH) e parte dell' ATP vengono forniti alle eterocisti dalle cellule adiacenti, tramite un flusso attivo di zuccheri, che viene "ripagato" con le molecole contenenti l'azoto ridotto di neo-formazione sotto forma di aa, il tutto grazie alle connessioni citoplasmatiche.



Per alcuni ecosistemi l'approvvigionamento di azoto da parte dei cianobatteri è fondamentale.

Si è dimostrato ad es. che il cianobatterio planctonico *Trichodesmium marinum* è la più importante fonte di azoto per la zona eufotica (=illuminata) dell'Atlantico tropicale.

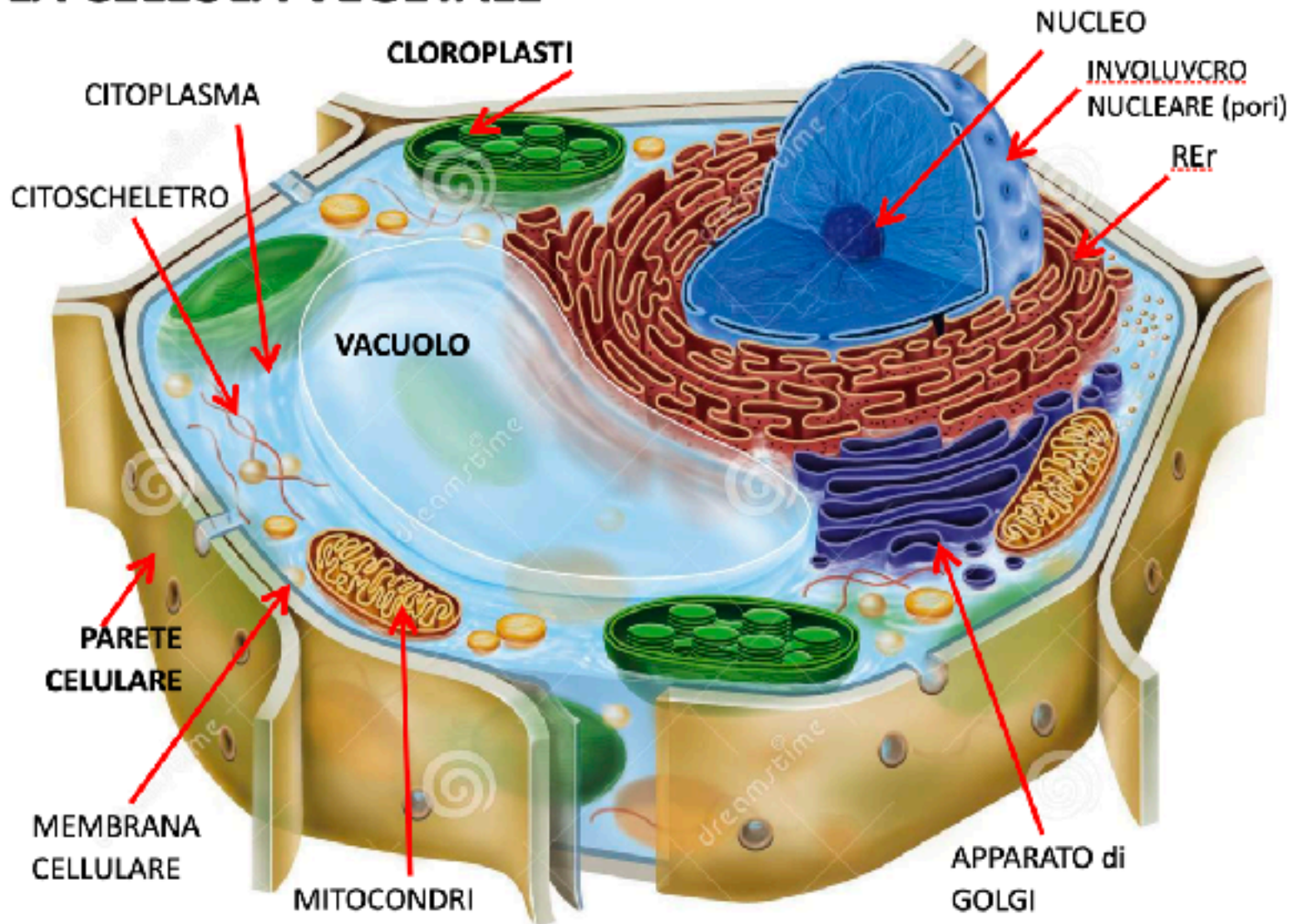




Importanza evolutiva ed ecologica dei cianobatteri

- Precambriano (4,6 bya till 541 mya)
- **Stromatoliti**: rocce calcaree sedimentarie, stratificate, formate da batteri e cianobatteri
- **Teoria endosymbiontica** [Lynn Margulis (1967) *On the Origin of Mitosing Cells* → Gray (2017) *Lynn Margulis and the endosymbiont hypothesis: 50 years later.*]
- Cianobatteri come **epibionti** (sul tallo di macroalghe)
- Cianobatteri come **simbionti** (ectobionti) in licheni, briofite, felci, angiosperme, diatomee, spugne, coralli, amebe
- Sintesi di **micosporine** (MAA, *microbial sunscreens*) → assorbimento di radiazioni UV alte → schermo/protezione; protezione da stress ossidativo e desiccamento

LA CELLULA VEGETALE

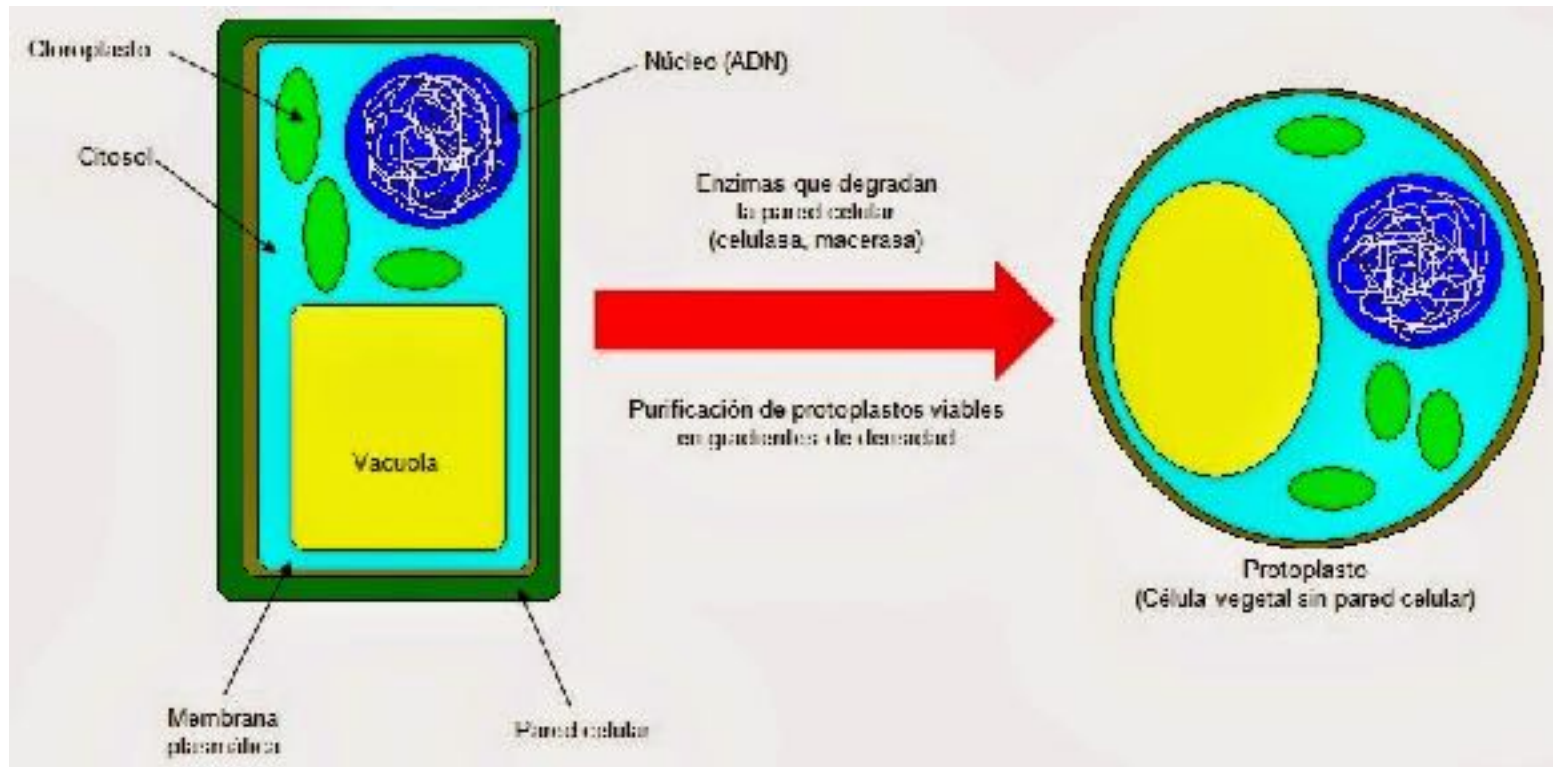




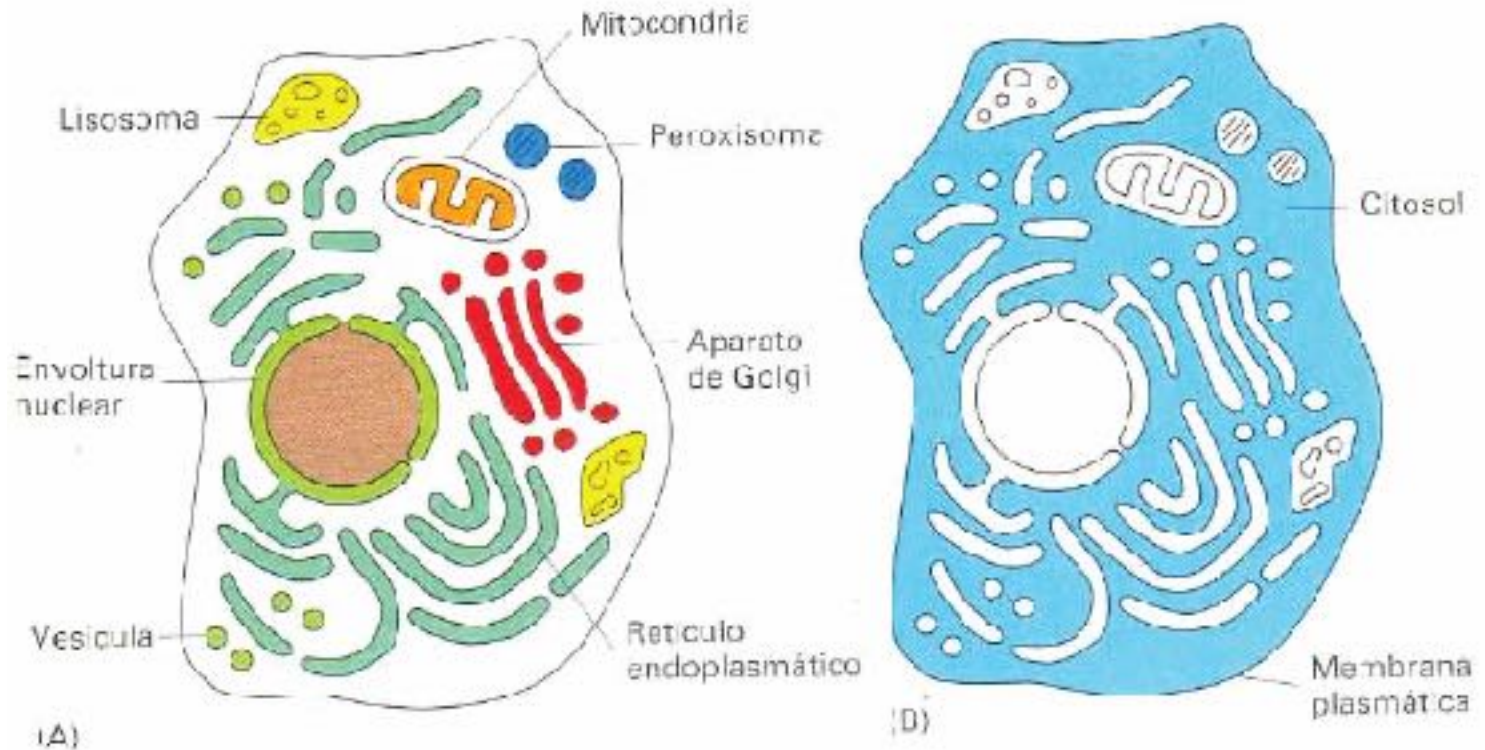
PROTOPLASTO: célula vegetal priva di parete delimitata solo dalla membrana cellulare.

Parete cellulare: impone la forma e conferisce resistenza.

Mantiene plasticità solo durante la crescita cellulare.



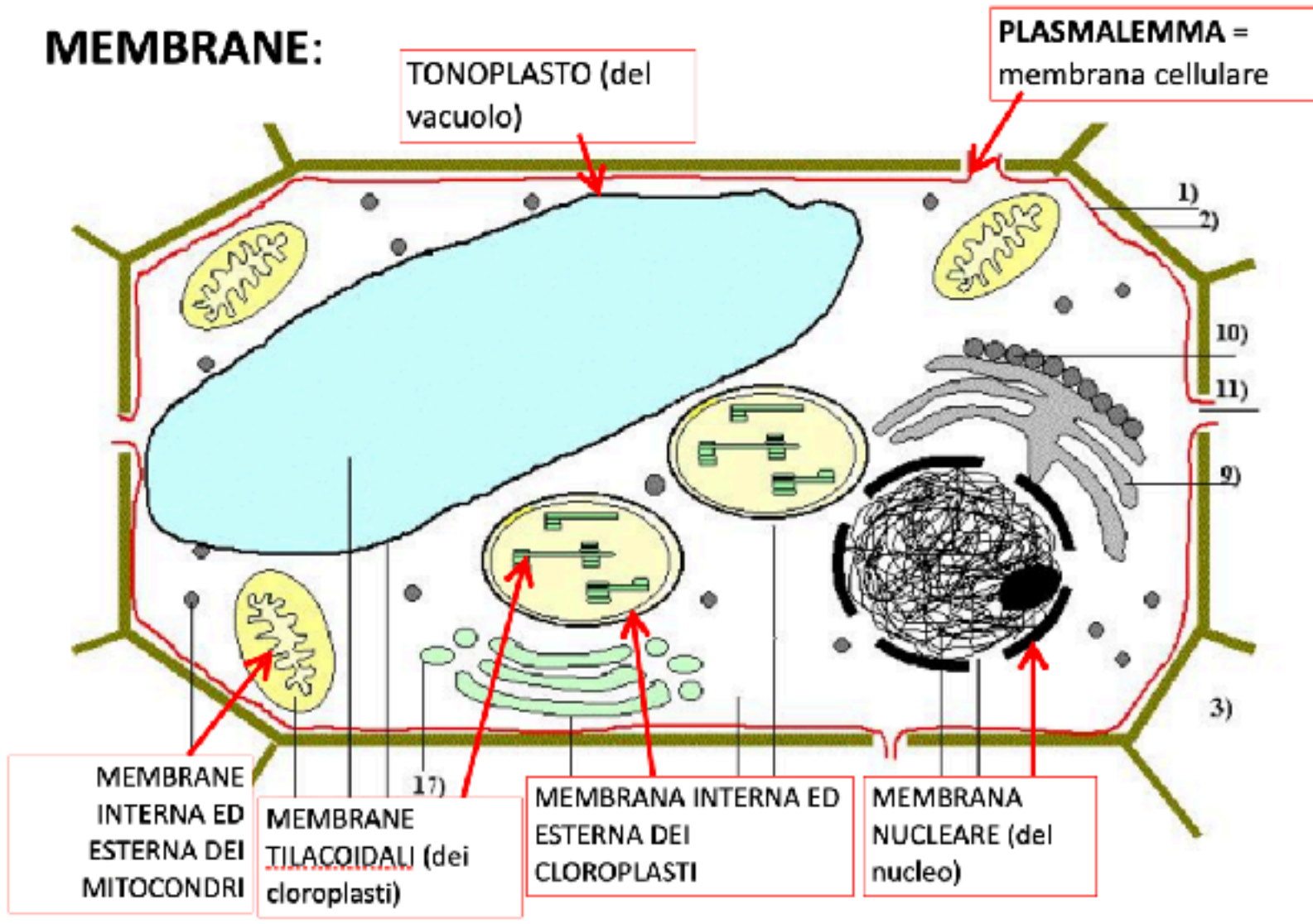
CITOSOL: porzione del protoplasto escludendo compartimenti ed organelli circondati da membrana, soluzione colloidale di proteine strutturali ed enzimatiche, zuccheri, nucleotidi, ormoni.



CITOPLASMA = organelli cellulari delimitati da membrana + citosol

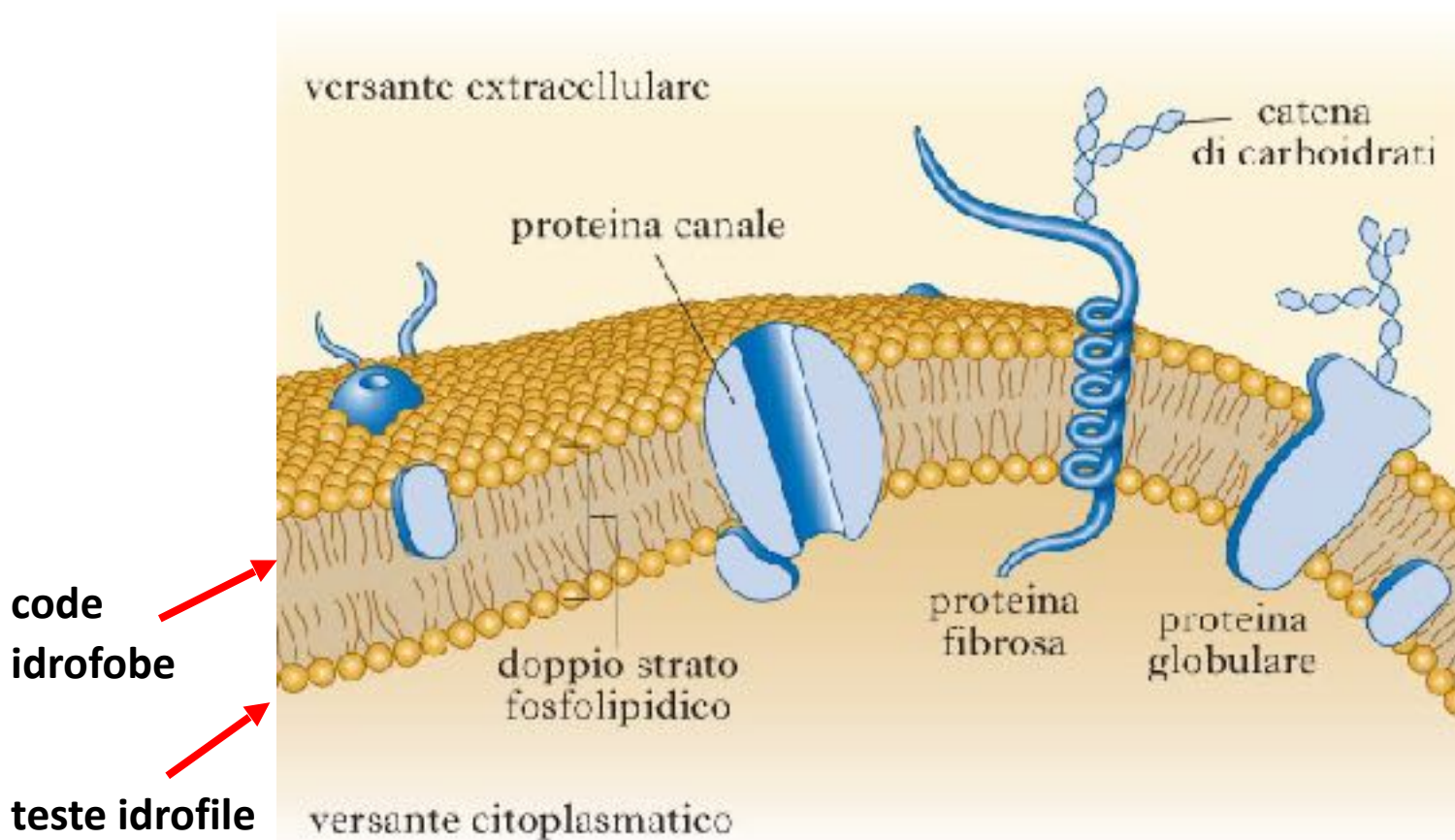


MEMBRANE:





MEMBRANA: NON è una struttura statica (manca di legami covalenti!) ma **DINAMICA** → libertà di movimento dei suoi componenti (flip-flop → **modello a mosaico fluido**, diffusione laterale), creata per fissione e crescita di quelle esistenti; a doppio strato; selettivamente permeabile.



Rapporto lipidi : proteine : carboidrati = 40:40:20

MITOCONDRI

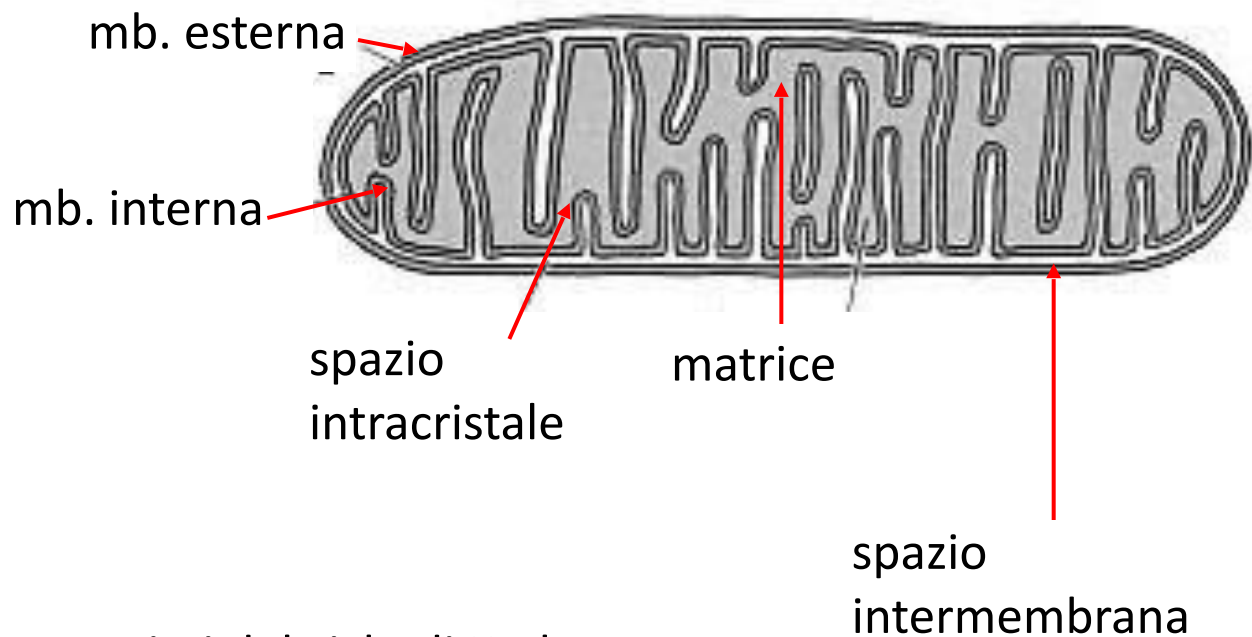
Morfologia identica in cellule animali e vegetali, DNA e ribosomi propri

Riproduzione per scissione

Origine batterica (endosimbiontica)

Pleomorfi: soggetti a rapidi cambiamenti di forma

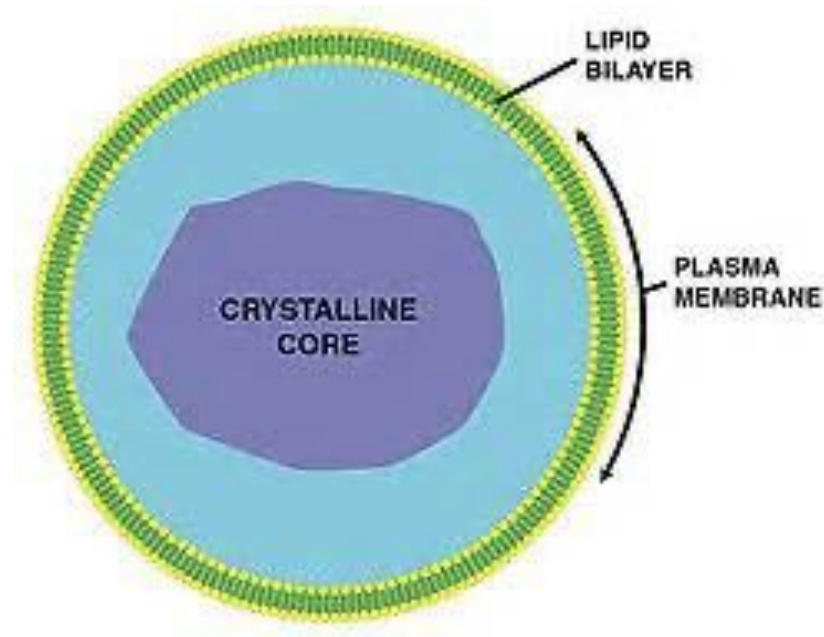
Delimitati da due membrane con funzioni diverse: membrana esterna (con porine) e membrana interna complessa, formata da **creste mitocondriali**, delimita la **matrice**



Matrice: enzimi del ciclo di Krebs

PEROSSISOMI

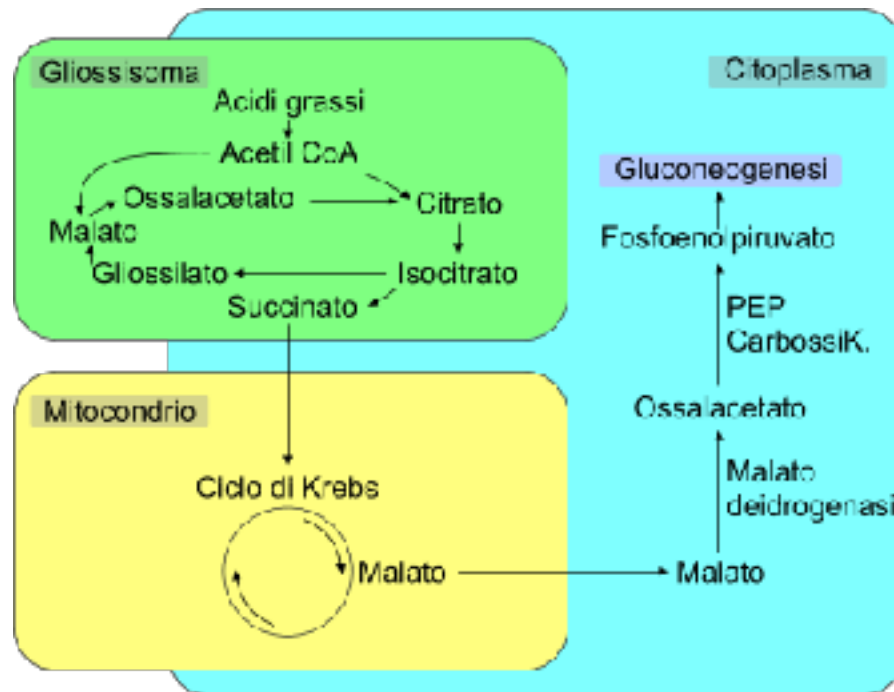
- Compartimenti metabolici, enzimi ossidativi
- Originano dal RE
- Forma sferica, circondati da membrana propria (doppio strato fosfolipidi), **nucleoide** (inclusi cristallini o fibrillari, amorfi o densi)
- **Perossidasi – catalasi:** Degradano il perossido di idrogeno (H_2O_2) in H_2O ed O_2 : $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- **Ossidasi:** degradano acidi grassi o altre sostanze formando H_2O_2 altamente tossico per la cellula





PEROISSISOMI FOGLIARI: in organi fotosintetici

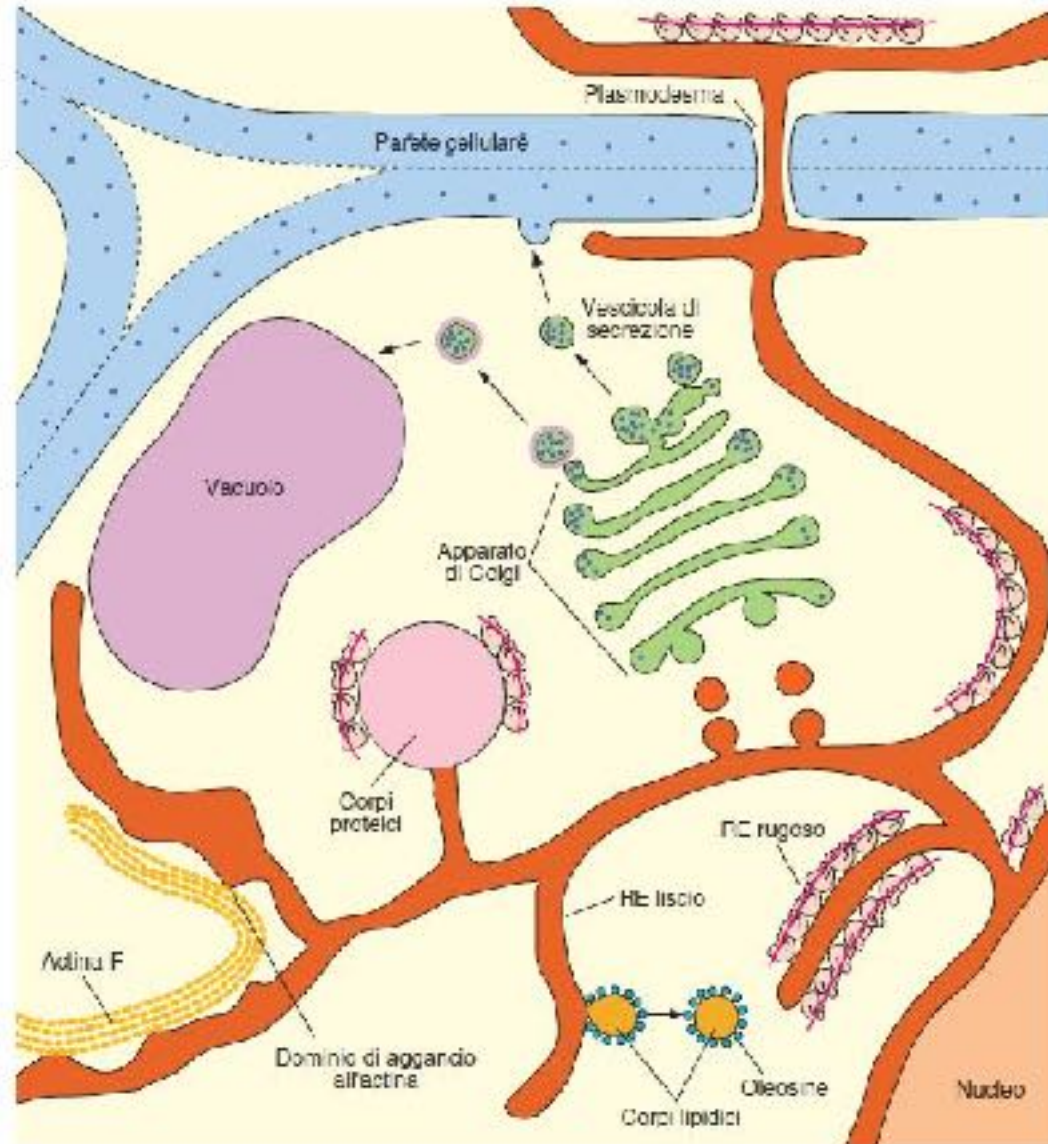
GLIOSSISOMI: ciclo del gliossilato, nei tessuti di riserva e dei semi oleaginosi, con enzimi per la produzione di carboidrati da lipidi (catalisi lipidica)



**SISTEMA DI ENDOMEMBRANE: RETICOLO
ENDOPLASMATICO + APPARATO DI GOLGI + VACUOLO +
MB. PLASMATICA**

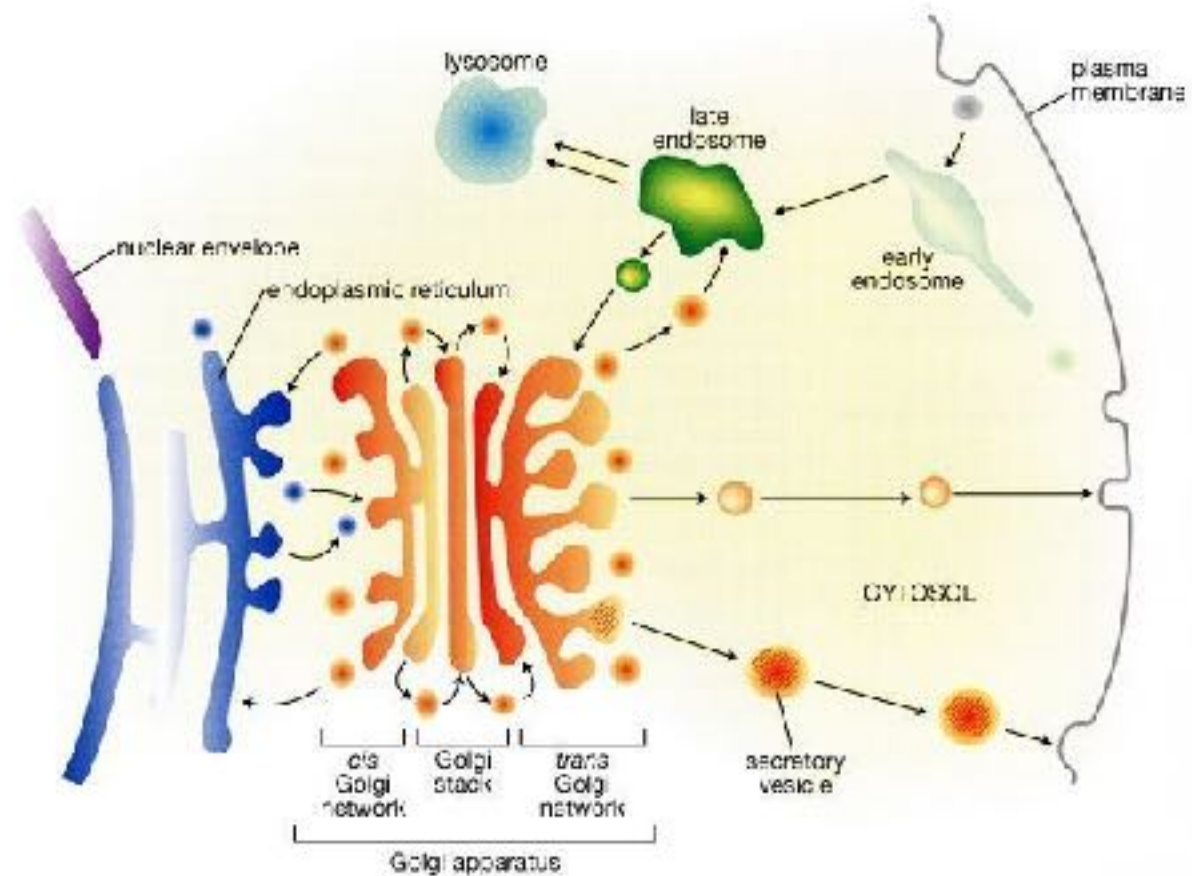


Nelle piante, il reticolo endoplasmatico ha la peculiarità di attraversare i plasmodesmi (giunzioni cellulari), creando un continuum tra cellule adiacenti.



APPARATO DI GOLGI

- Le cisterne sono distribuite in tutto il citoplasma, mentre nelle cellule animali vi è solo un complesso perinucleare.
- Sintesi dei glicolipidi di plasmalemma e tonoplasto, e dei polisaccaridi della parete cellulare.



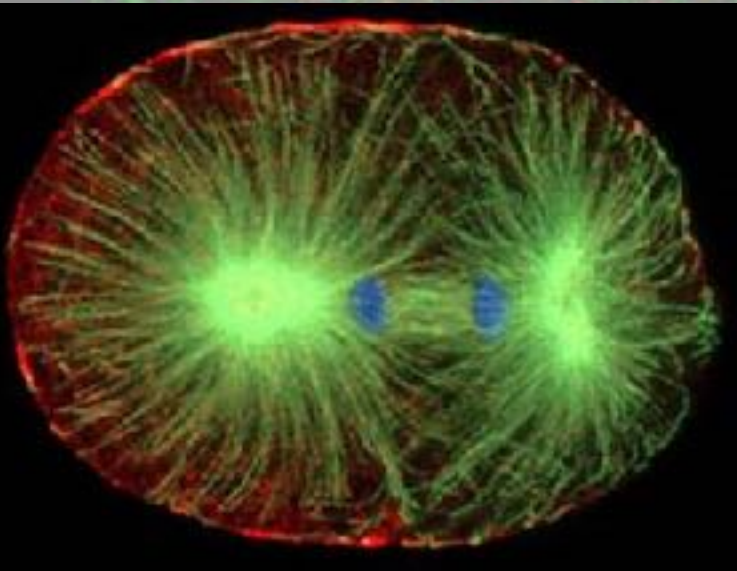
CITOSCHELETRO

Polimeri proteici filamentosi:

- **Microtubuli**
- **Filamenti di actina**
- **Filamenti intermedi**

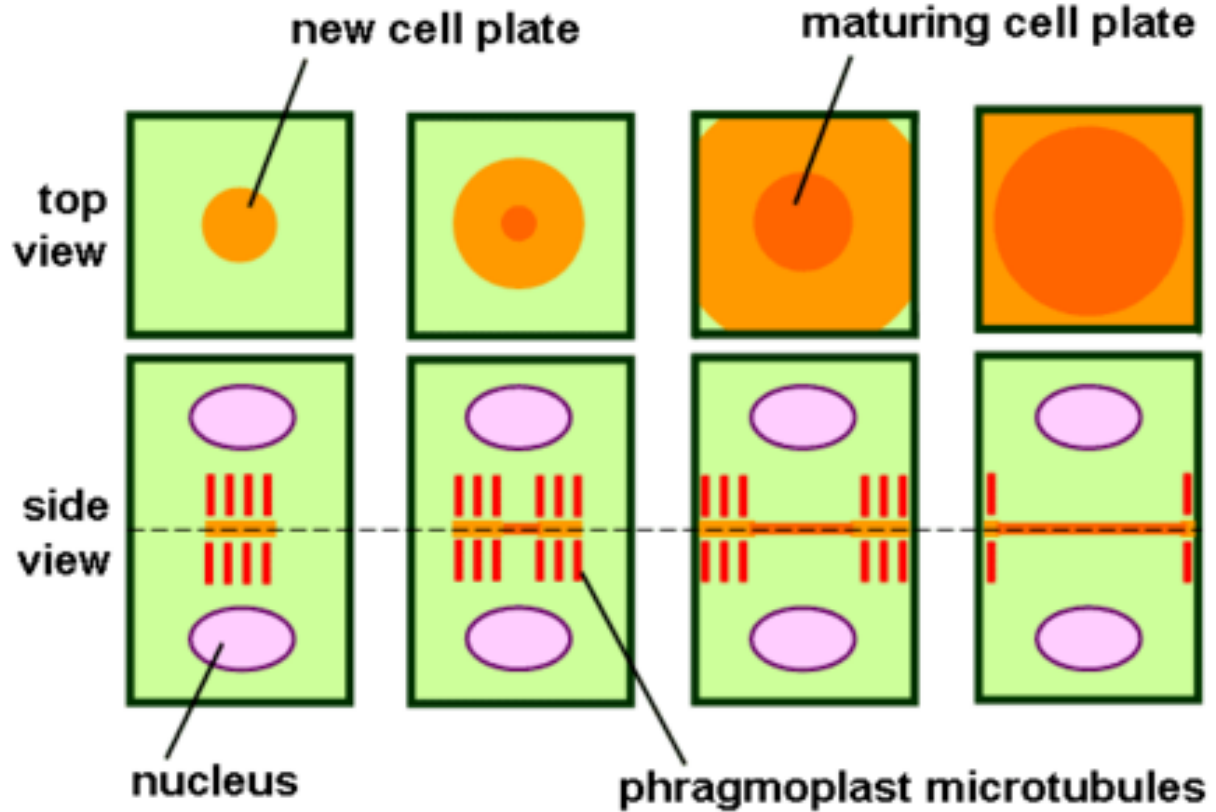
Funzioni:

- Ciclo cellulare (apparato interfascico di microtubuli corticali, banda preprofasica, fuso mitotico, formazione del fragmoplasto)
- Polarità cellulare
- Espansione cellulare
- Accrescimento apicale
- Comunicazione cellulare (attraverso i plasmodesmi)
- Differenziamento elementi di conduzione
- Interazioni (sim)biotiche

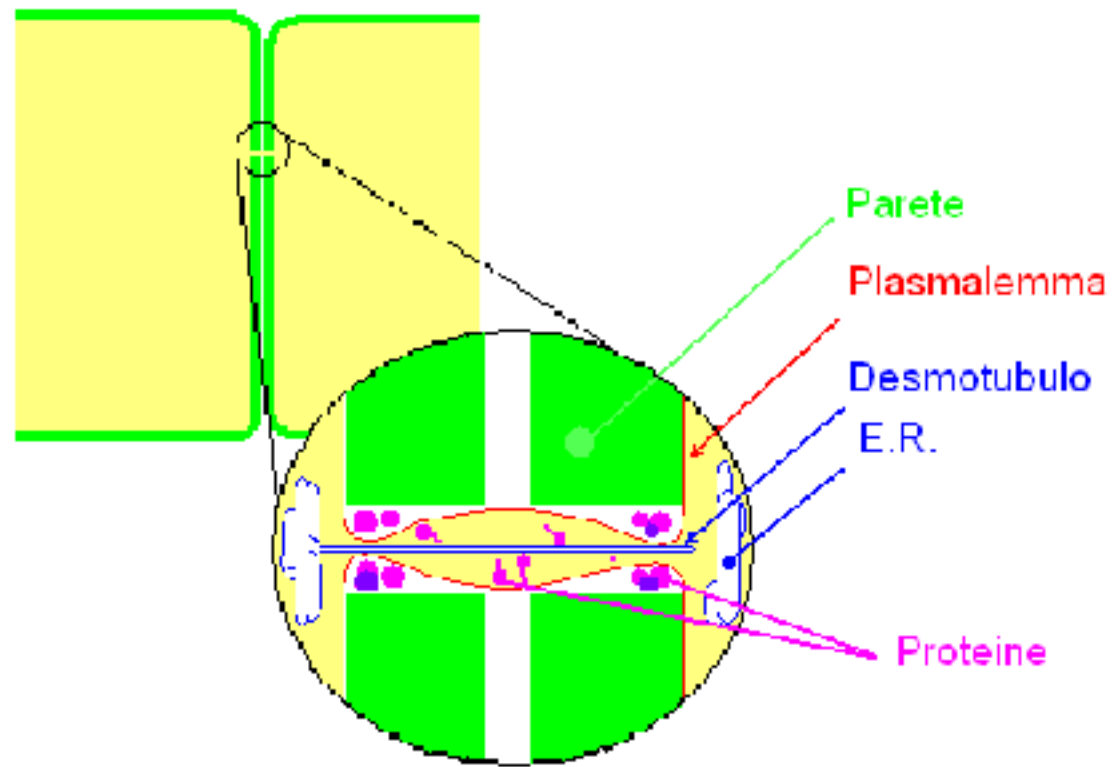




Formazione del fragmoplasto durante la divisione cellulare

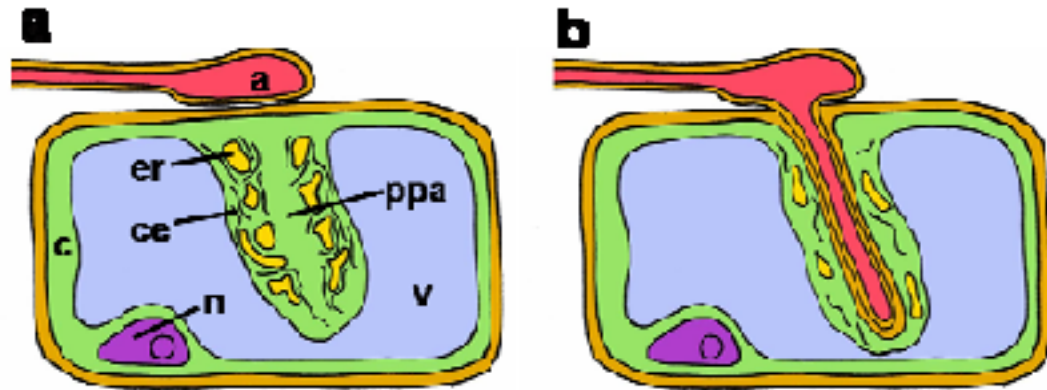


Comunicazione cellulare: nei plasmodesmi i filamenti di actina controllano il trasporto



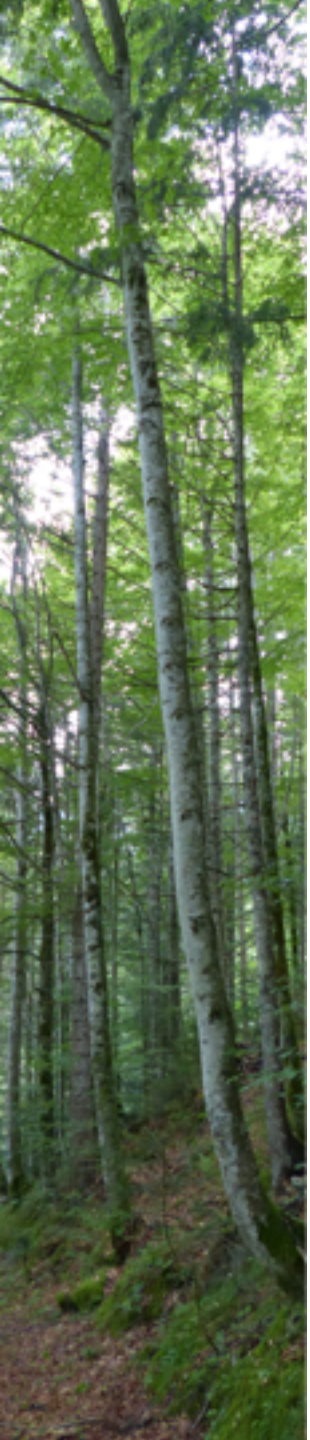


Interazioni (sim)biotiche: formazione di arbusculum in micorrize



PLASTIDI





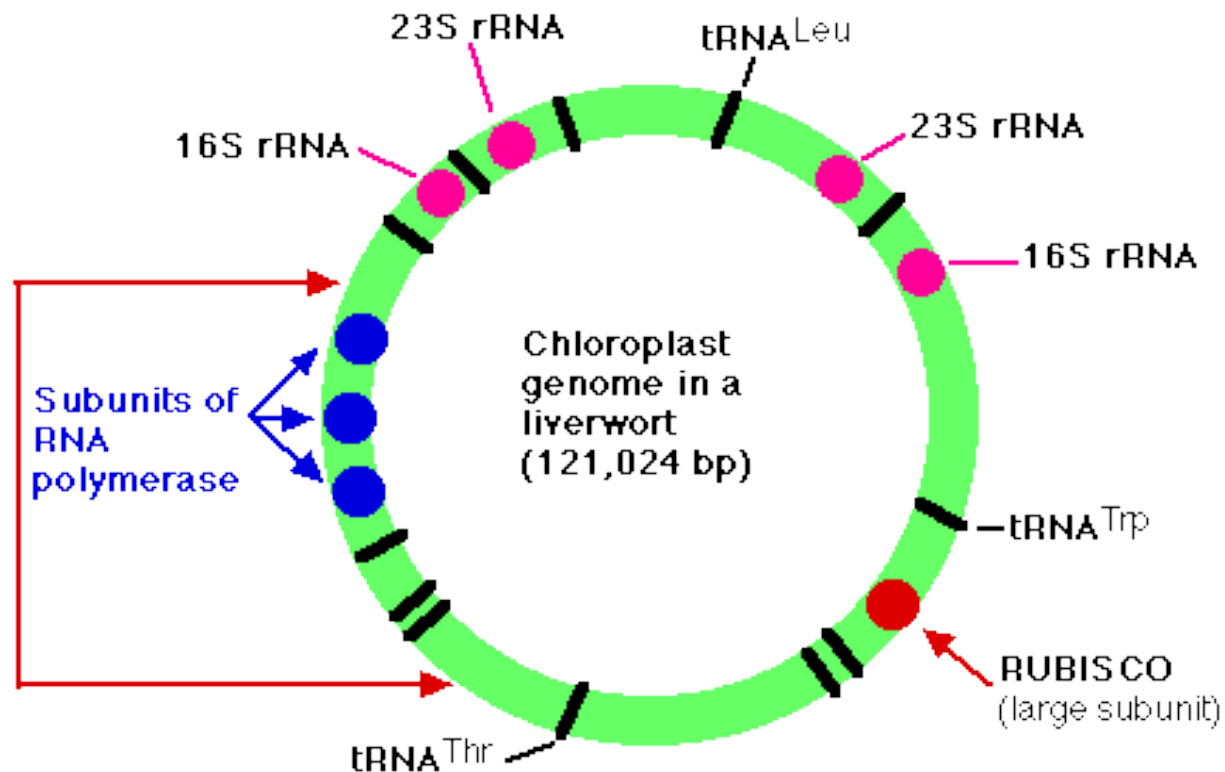
CARATTERISTICHE DEI PLASTIDI:

- 1) DNA EXTRANUCLEARE** circolare (detto “**PLASTOMA**”, cioè il genoma dei plastidi), responsabile di parte dell’ereditarietà extranucleare della cellula;
- 2) ribosomi 70S** tipo procariotico (nel citoplasma ribosomi 80S tipo eucariotico) e della macchina di trascrizione e traduzione proteica;
- 3) due membrane** (come nei mitocondri!): membrana esterna e membrana interna;
- sviluppo di ulteriori membrane chiuse, **tilacoidi**, delimitanti spazi interni che originano dalla membrana interna per un processo di evaginazione.

PLASTOMA

In mais (*Zea mais*, i plastidi più intensamente indagati) il plastoma codifica per circa 100 proteine (= 1/3-1/2 del totale delle proteine presenti nel plastidio).

Sono presenti diverse copie per cloroplasto (che può essere considerato "poliploide", con 40-100 copie di ptDNA).





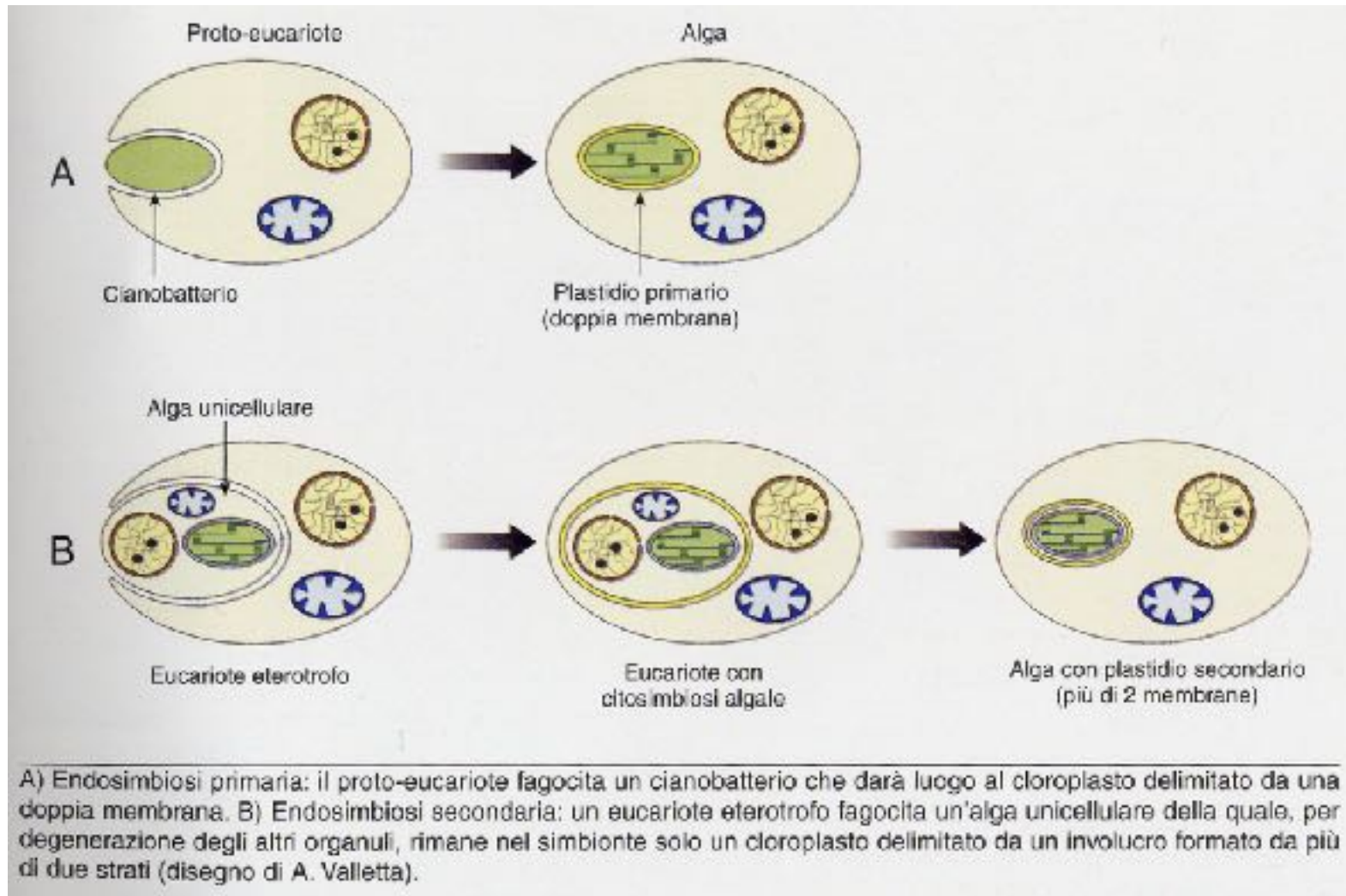
Affinità "**procariotica**":

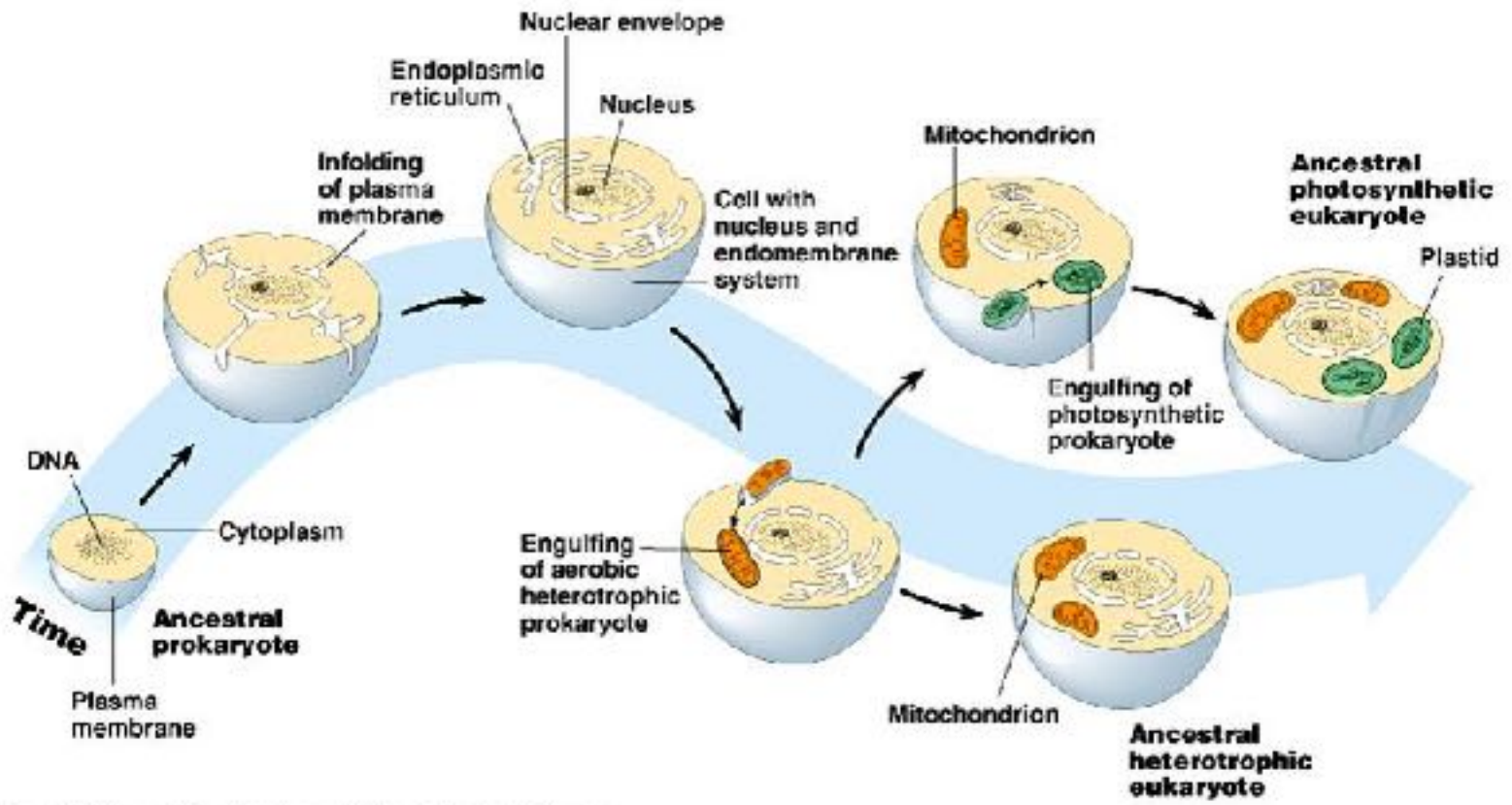
- struttura circolare
- mancano sequenze ripetitive

Affinità "**eucariotica**":

- esistono introni
- complessi multienzimatici codificati almeno in parte dal genoma nucleare

Teoria endosimbiontica



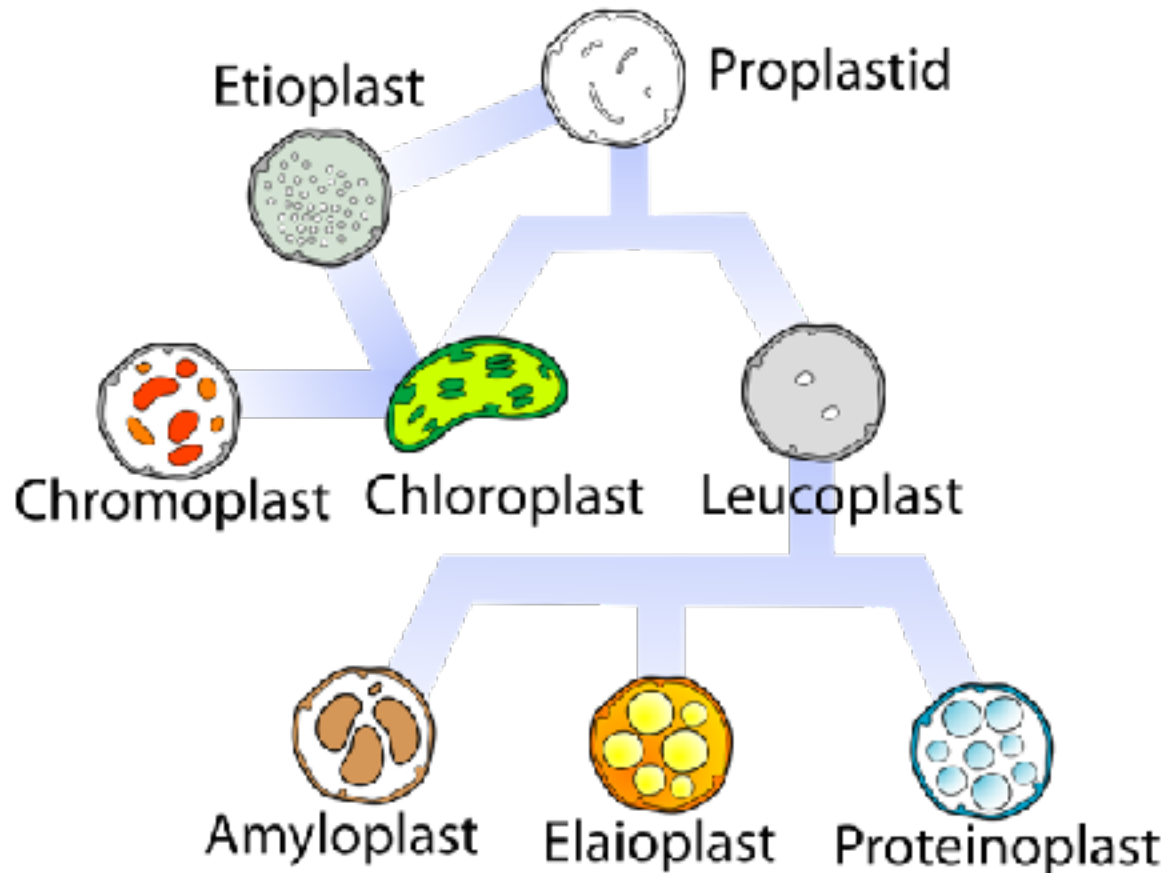


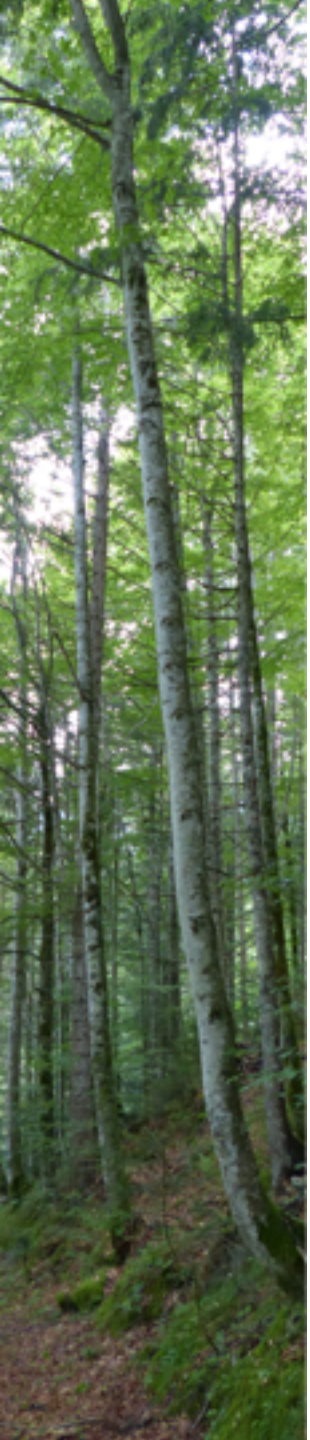
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

PROPLASTIDI → → → **plastidi**

PROPLASTIDI: dimensioni molto ridotte, presenti in citoplasma delle cellule dei tessuti meristemati (= in attiva divisione).

Plastids





Nello zigote i proplastidi sono in genere di **derivazione materna** (portati dal citoplasma della cellula uovo).

Differenziazione cellulare → sviluppo/“destino” del proplastide in organulo di riserva o di assimilazione (→ulteriore differenziamento in organuli di riserva)

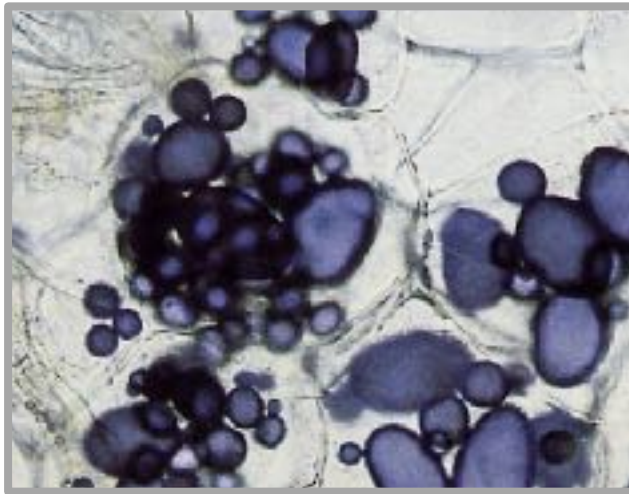
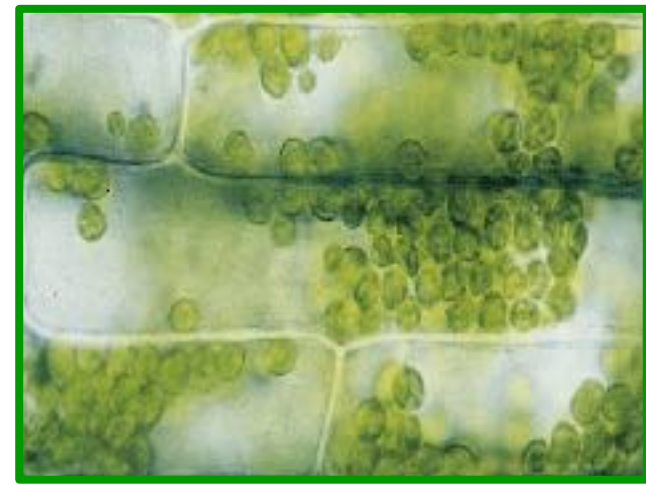
I plastidi sono una famiglia di organuli propri degli organismi fotoautotrofi ossigenici eucarioti.

Essi hanno molteplici funzioni.



Cloroplasti:

assimilazione della CO_2
(fotosintesi) e molto
altro...

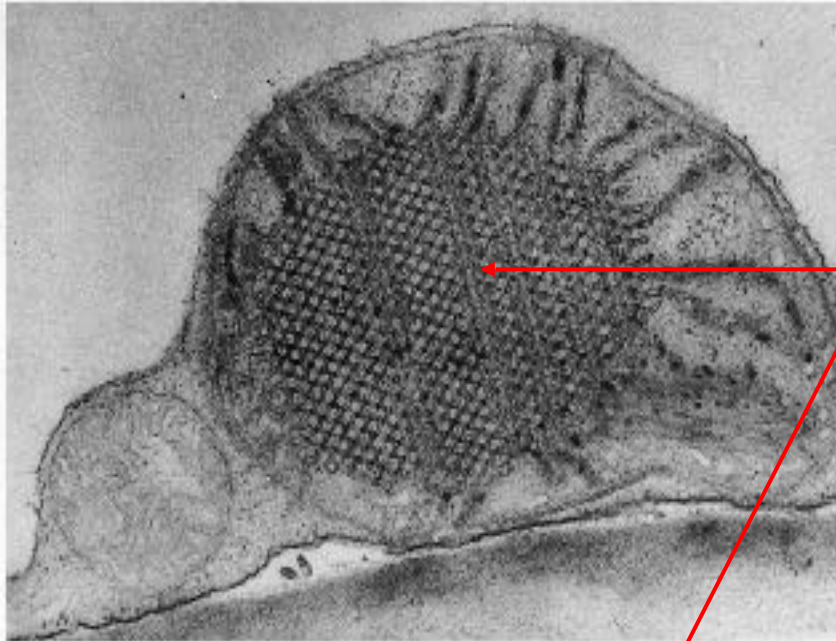
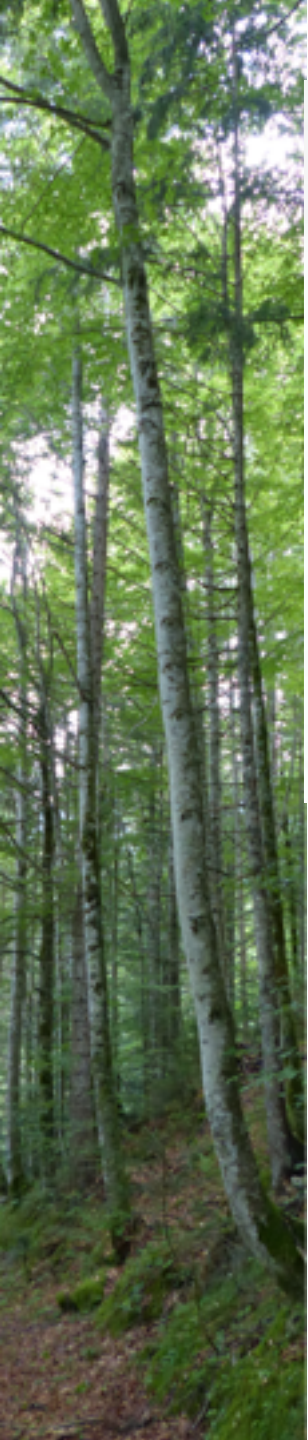


Leucoplasti: accumulo
di sostanze di riserva

Cromoplasti: accumulo di
pigmenti lipofili (per colorare i
tessuti, ma talvolta anche
come sostanze di riserva)



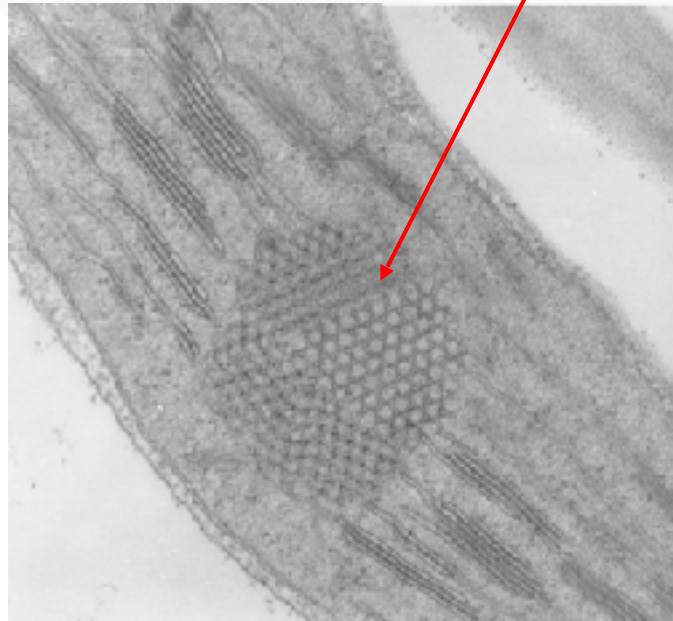
EZIOPLASTI



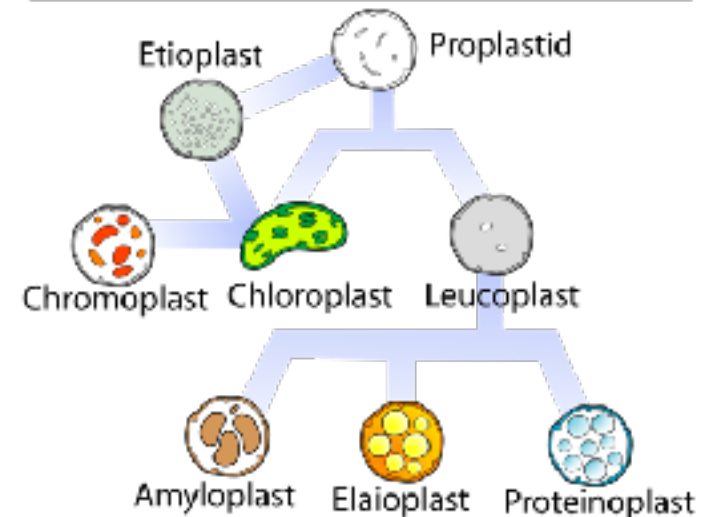
Pianta tenuta al buio:
Eziolamento

Corpo prolamellare:
tubuli disposti
regolarmente

Luce → disgregazione
del corpo prolamellare



Plastids



PLASTIDI DI RISERVA

i) in tessuti di riserva degli organi di riserva (tuberi, bulbi, bulbotuberi, radici tuberizzate),

ii) nella parte corticale di alcuni cauli (subito sotto lo strato verde più esterno),

iii) nelle radici.

• granuli di amido →

AMILOPLASTI

• cristalli di proteine →

PROTEOPLASTI

• olii o grassi →

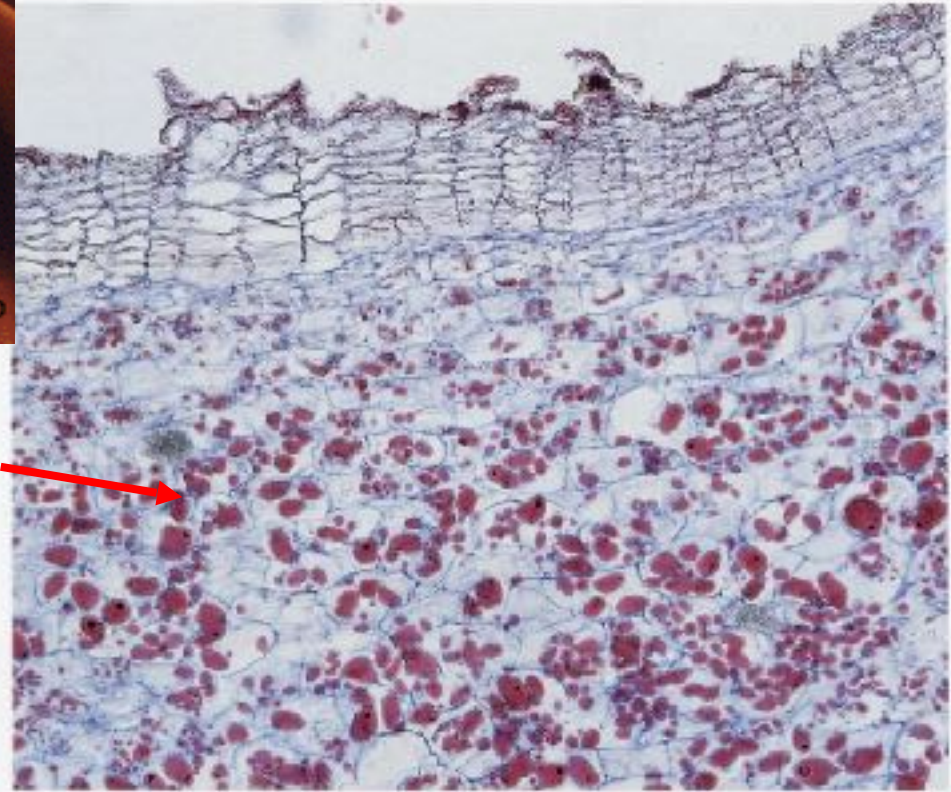
ELAIOPLASTI



TUBERO DI PATATA

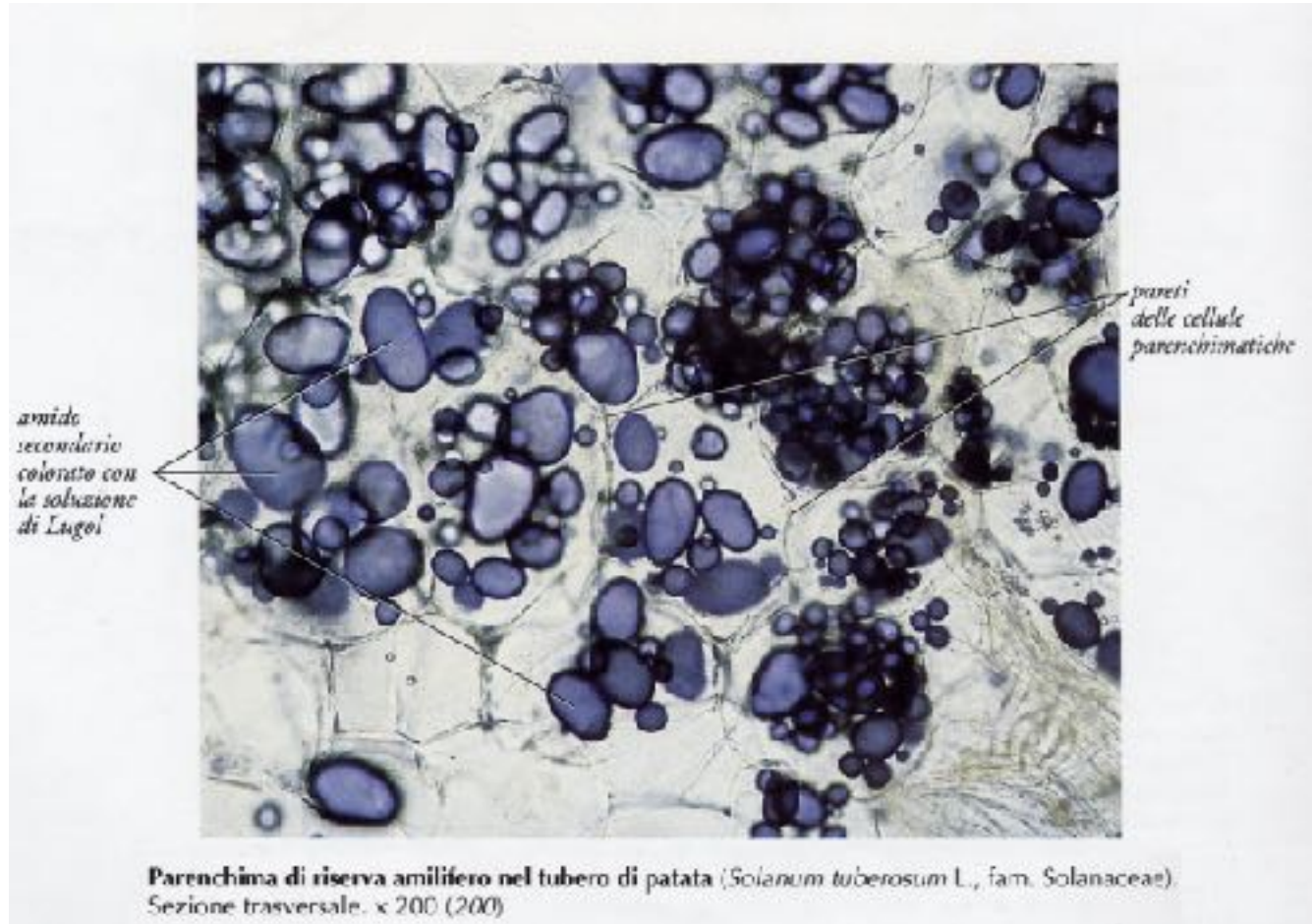


**Parenchima amilifero
con amido secondario**



Parenchima di riserva amilifero nel tubero di patata (*Solanum tuberosum* L., fam. Solanaceae)
Sezione trasversale. x 100 (100)
Il caso più comune è quello del parenchima cosiddetto amilifero, in cui la sostanza immagazzinata è amido (secondario), contenuto nei leucoplasti.

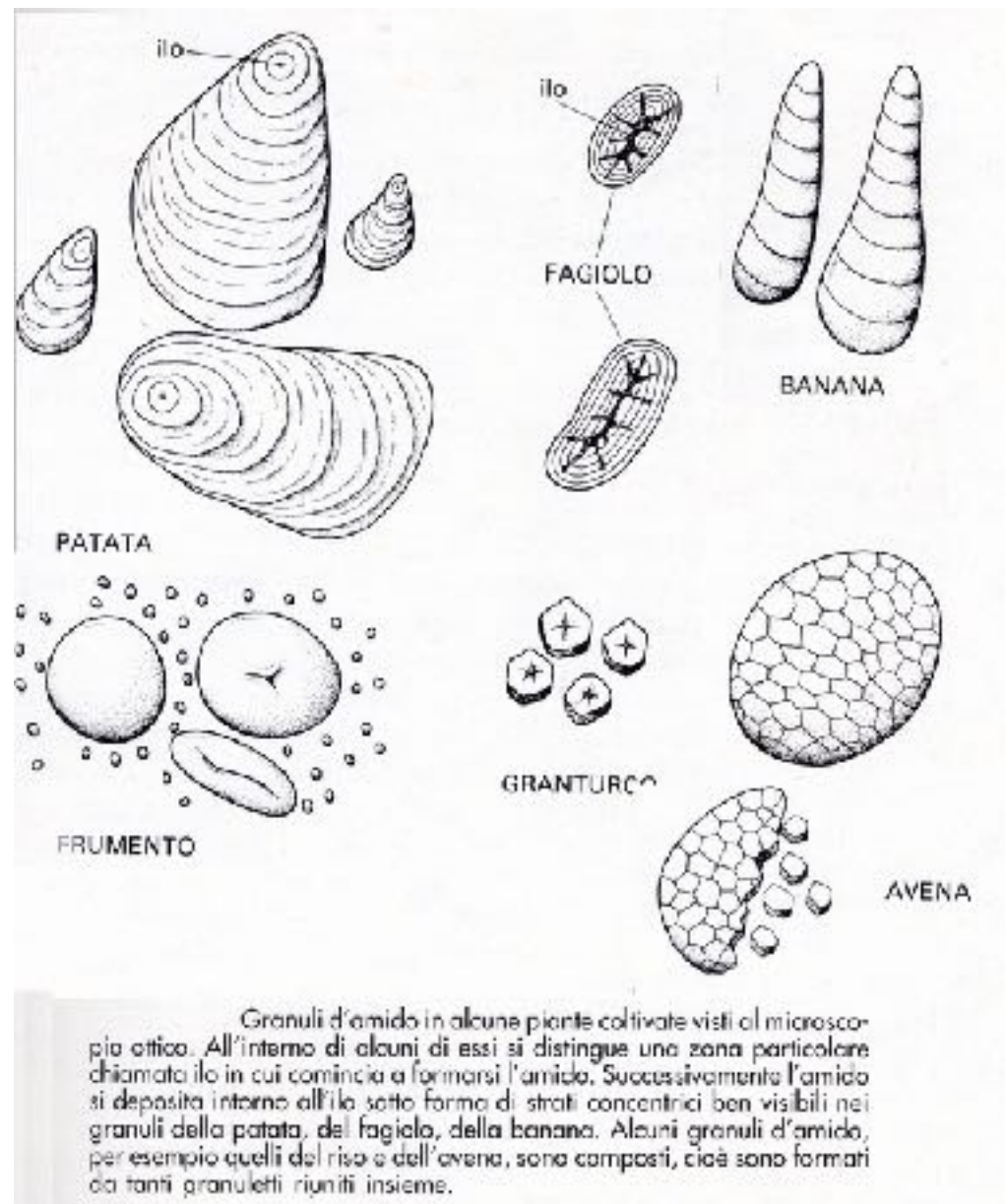
AMILOPLASTI



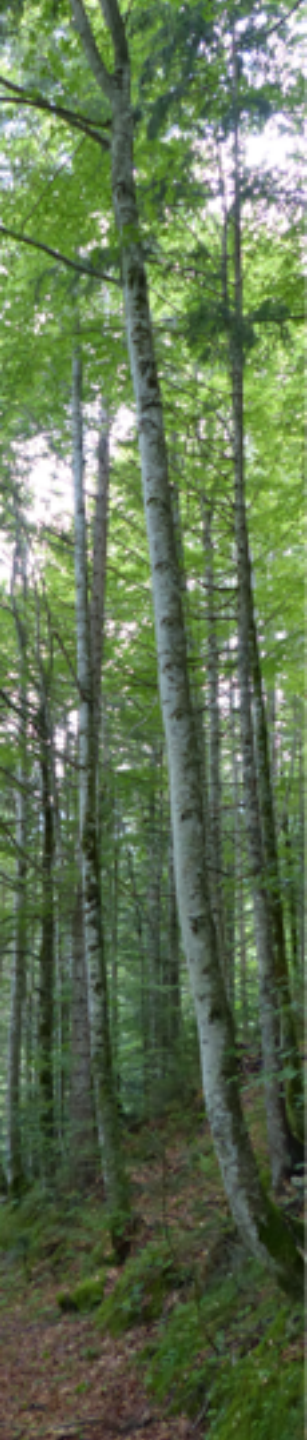
NB: amido primario è quello che si trova in tessuti attivi dal punto di vista fotosintetico; amido secondario è quello che si trova nei tessuti di riserva.



ilo: centro di aggregazione dell'amido; la deposizione dell'amido avviene in senso centrifugo a partire da esso, con l'apposizione di strati concentrici.

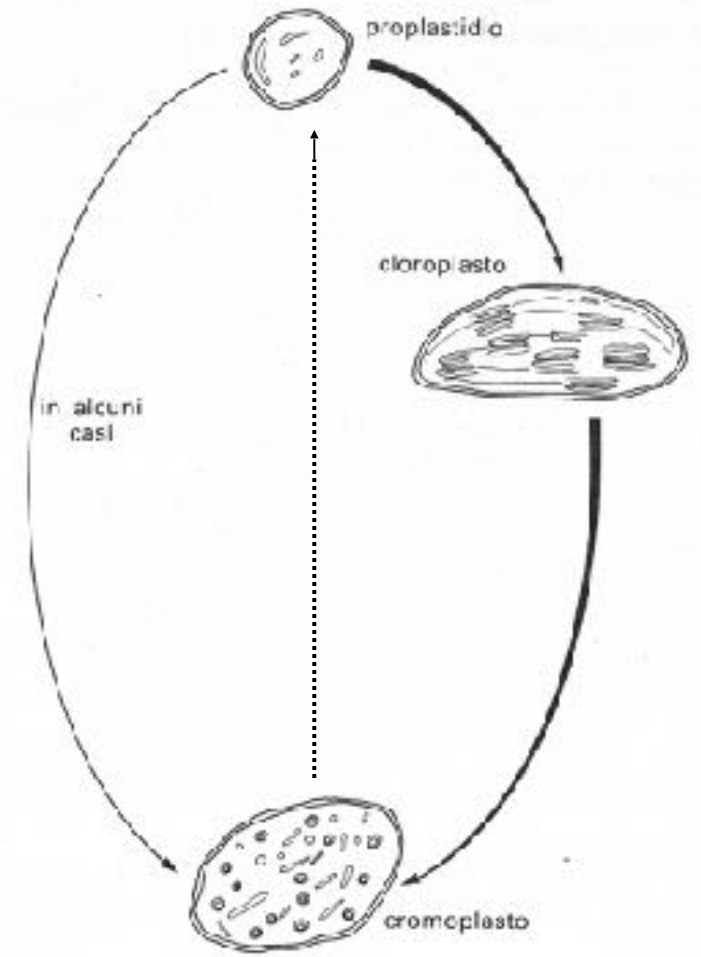


CROMOPLASTI

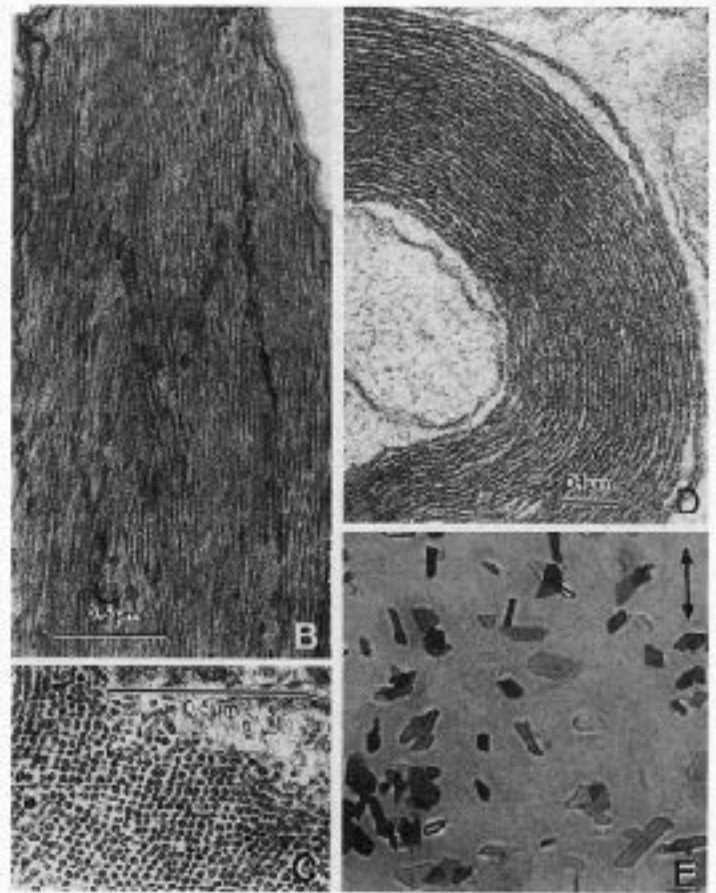
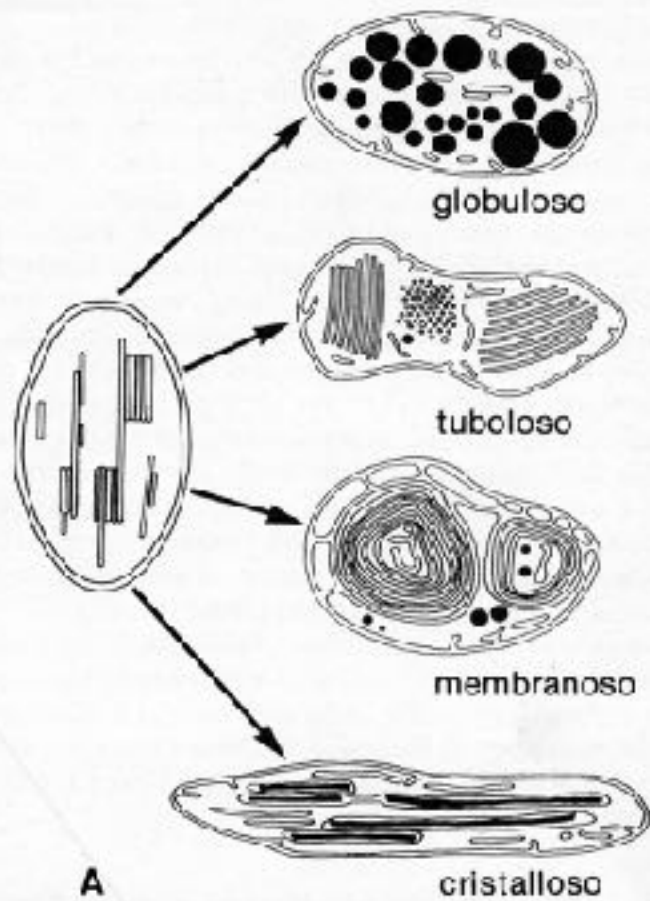




- La differenziazione in cromoplasti segue un preciso piano di sviluppo, può anche essere reversibile (trasformazione inversa).
- Geni nucleari regolatori della cromoplastogenesi sono correlati con la biosintesi dei carotenoidi.
- Fattori eso- ed endogeni agiscono su differenziamento (fitormoni con funzione antagonista).

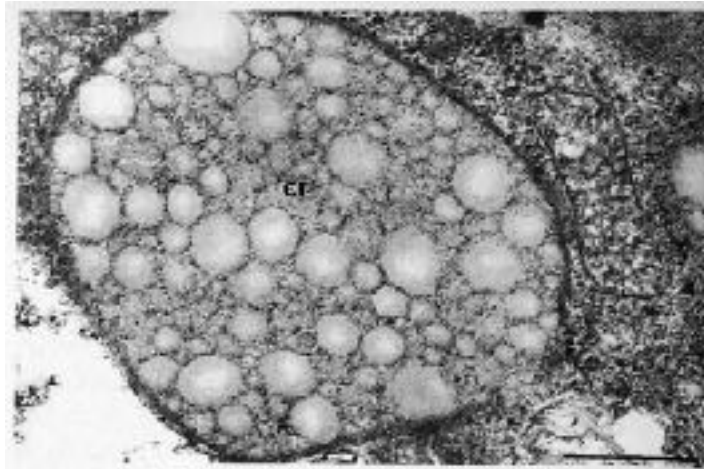


Questo schema illustra in quali modi i diversi tipi di plastidi possono trasformarsi l'uno nell'altro. È evidente che tutti i plastidi derivano direttamente o indirettamente dai proplastidi.



Cromoplasti. **A**, diversi modelli strutturali; lo sviluppo inizia spesso da cloroplasti (giovani). **B, C**, cromoplasti tubolari sezionati longitudinalmente e trasversalmente (frutto di rosa e petalo di *Impatiens noli-tangere*). **D**, cromoplasti membranosi di *Narcissus pseudonarcissus*, in sezione. **E**, cromoplasti cristallini dalla

radice di carota in luce polarizzata; i cristalli di β -carotene sono dicroici, l'assorbimento della luce dipende dalla direzione di oscillazione della radiazione luminosa (freccia) (A da H. Mohr e P. Schuoffer, *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie*. Springer Verlag, Berlin, 4a edizione 1991. B-D originali. E 750 \times , preparato di D. Kuhn).



Cromoplasto (cr) globulare in petalo di crisantemo. Le masse globulari in questo caso sono poco elettron-dense e occupano l'intero volume dell'organello. (TEM, barra = 0,5 μ m)



Cromoplasti **globulari**: i più primitivi, in frutti (es. arancia, pesca) e in alcuni fiori (es. *Ranunculus*). Le vescicolette interne sono delimitate da un monostrato di lipidi e proteine.

Cromoplasti **membranosi**: i più poveri di pigmenti (3% di carotenoidi), fortemente apolari; nei petali del narciso e nel frutto del peperone.

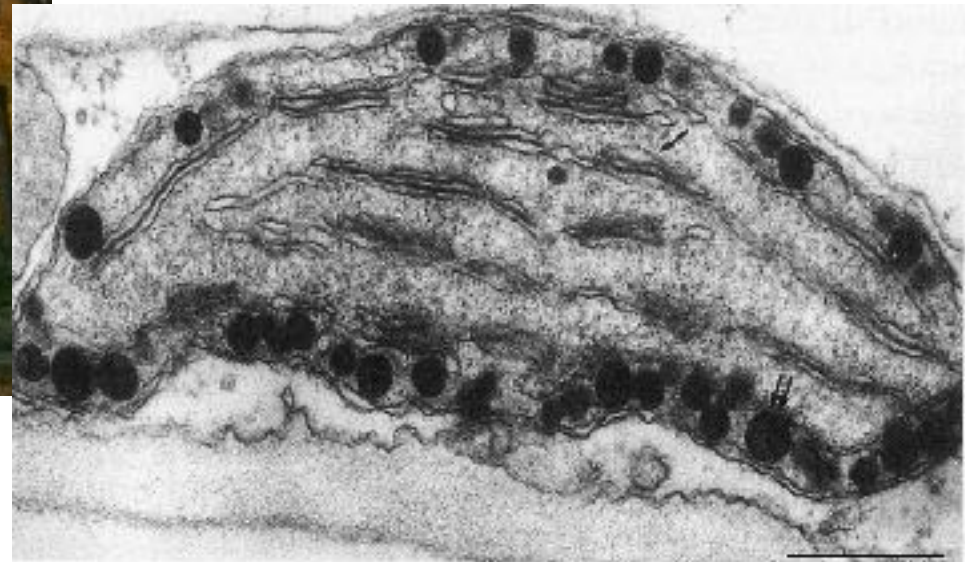
Cromoplasti **cristallini**: accumulano cristalli di beta carotene (radice di carota) o di licopene (frutto del pomodoro).

GERONTOPLASTI

La sintesi ex novo di elevate quantità di carotenoidi è l'evento che definisce i veri cromoplasti.

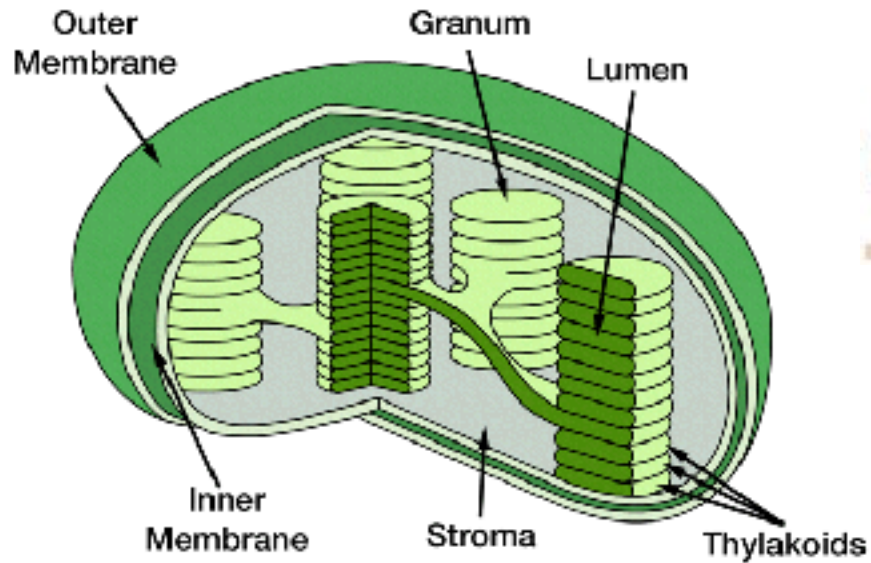
In foglie senescenti o in tessuti verdi attaccati da patogeni (es. funghi) vi è degenerazione dei cloroplasti con degradazione delle clorofille e dei tilacoidi, per cui i pigmenti verdi non mascherano più i carotenoidi già presenti

plastidi senescenti = gerontoplasti



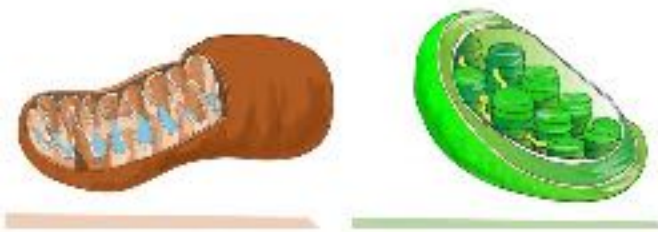


Chloroplast

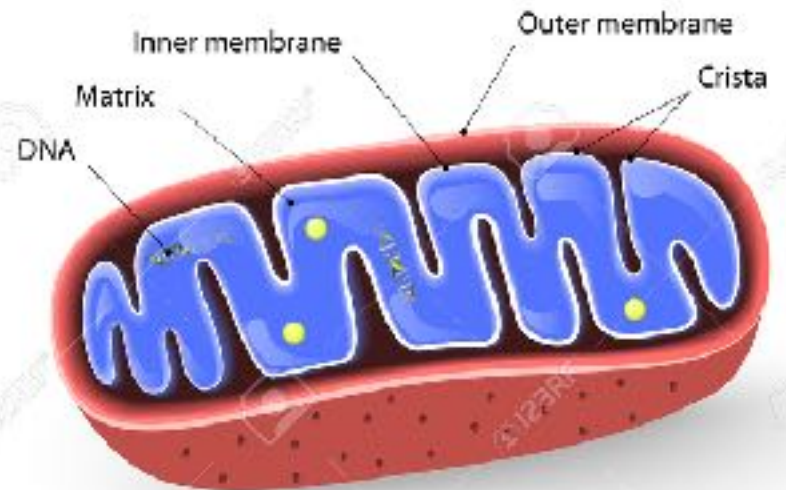


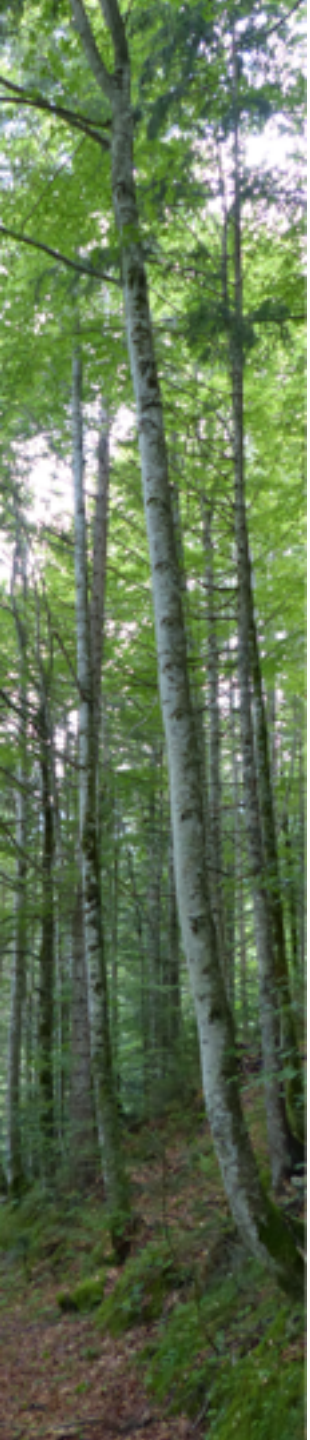
Mitochondria vs. Chloroplast

Key Differences and Similarities



MITOCHONDRION





Differenze di composizione e proprietà delle due membrane plastidiali

Membrana esterna:

- relativamente permeabile;
- organizzazione relativamente semplice;
- composizione apparentemente simile a quella di altre membrane presenti nella cellula (es. sono presenti gli steroidi), ma in realtà con alcuni markers procariotici.

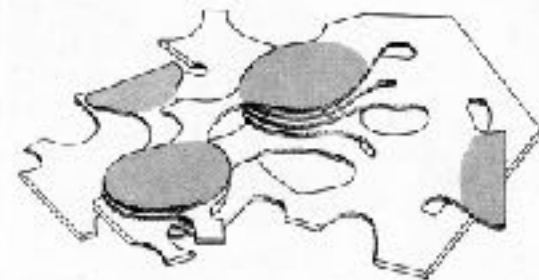
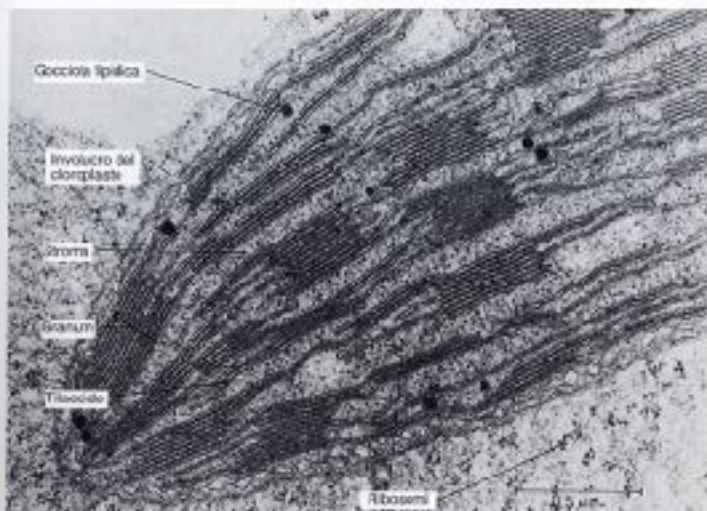
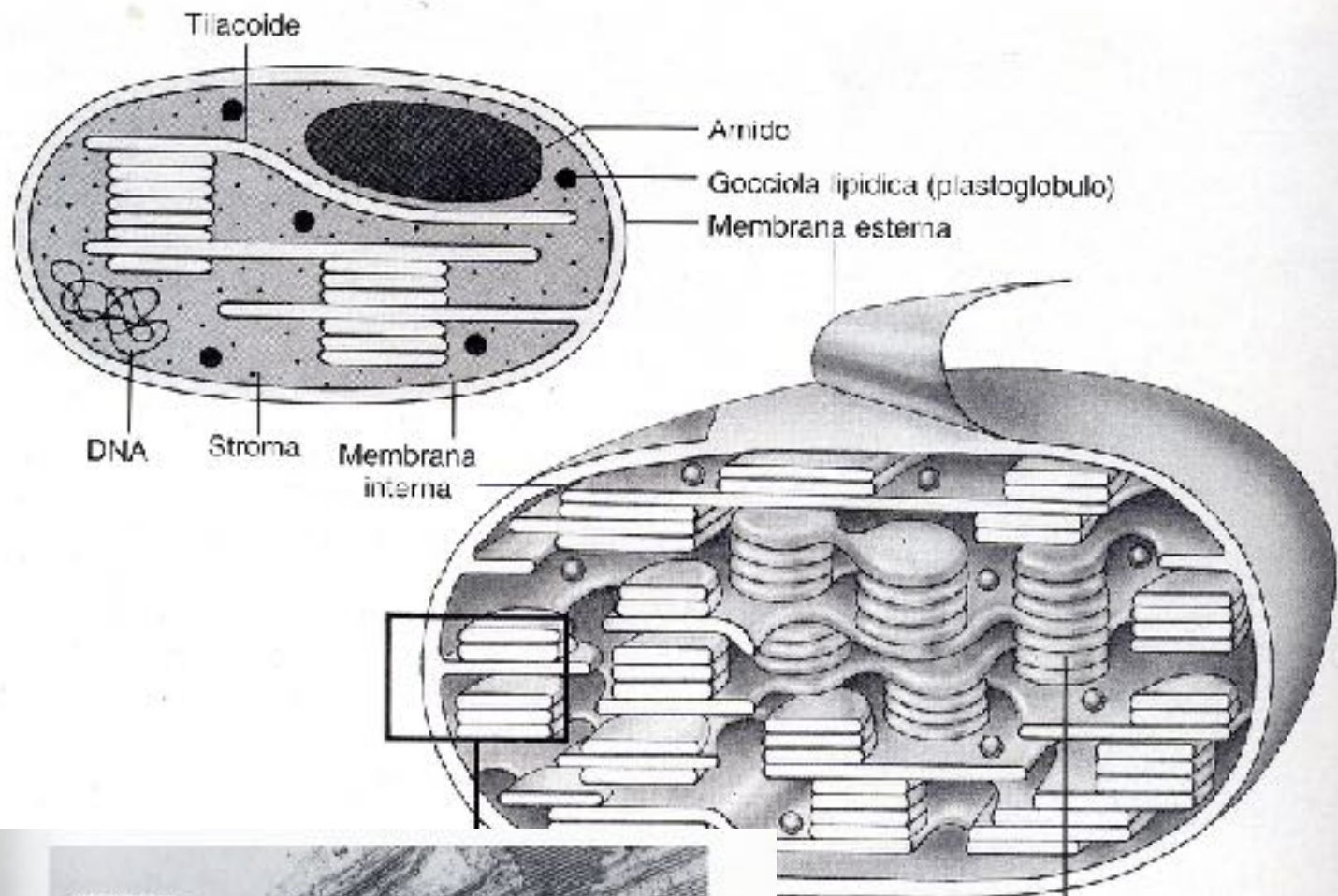


Differenze di composizione e proprietà delle due membrane plastidiali

Membrana interna:

- barriera selettiva (ricco corredo di trasportatori selettivi);
- ricca in proteine (50%), sede di enzimi (es. sintesi fosfolipidica);
- composizione diversa da quella di altre membrane cellulari, simile alla membrana plasmatica degli EUBATTERI (e.g. presenza di cardiolipina diphosphate-glycerol phospholipid).

In alcuni taxa algali il cloroplasto risulta delimitato da membrane soprannumerarie, da 1 a 3 (numero finale di membrane = da 3 a 5!) ← endosimbiosi secondaria.

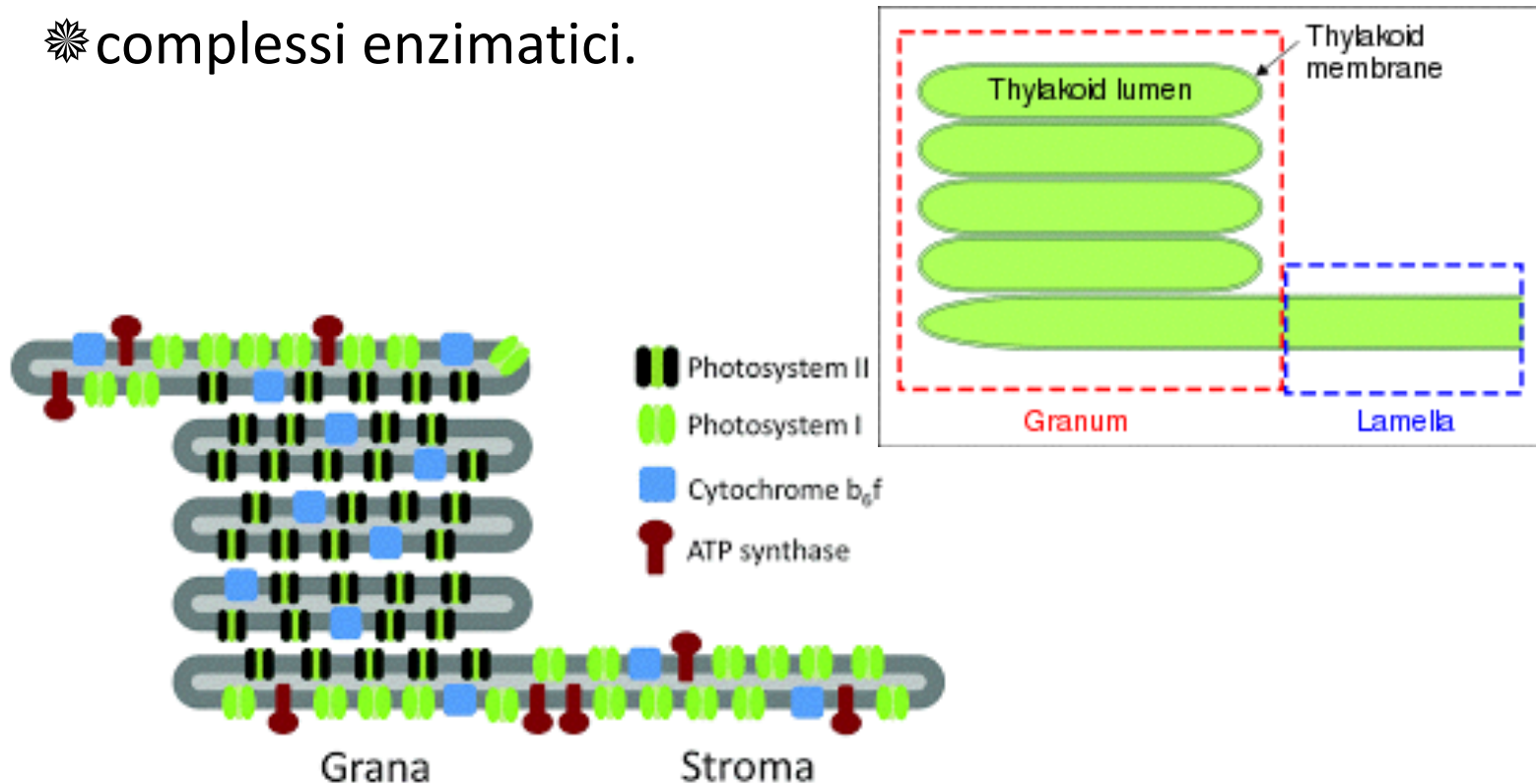


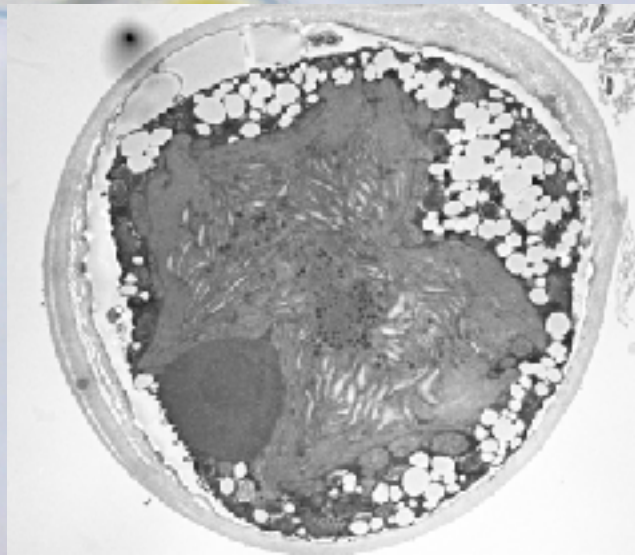
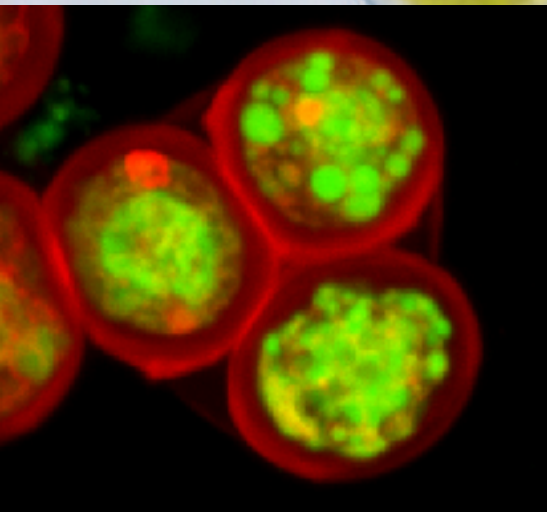
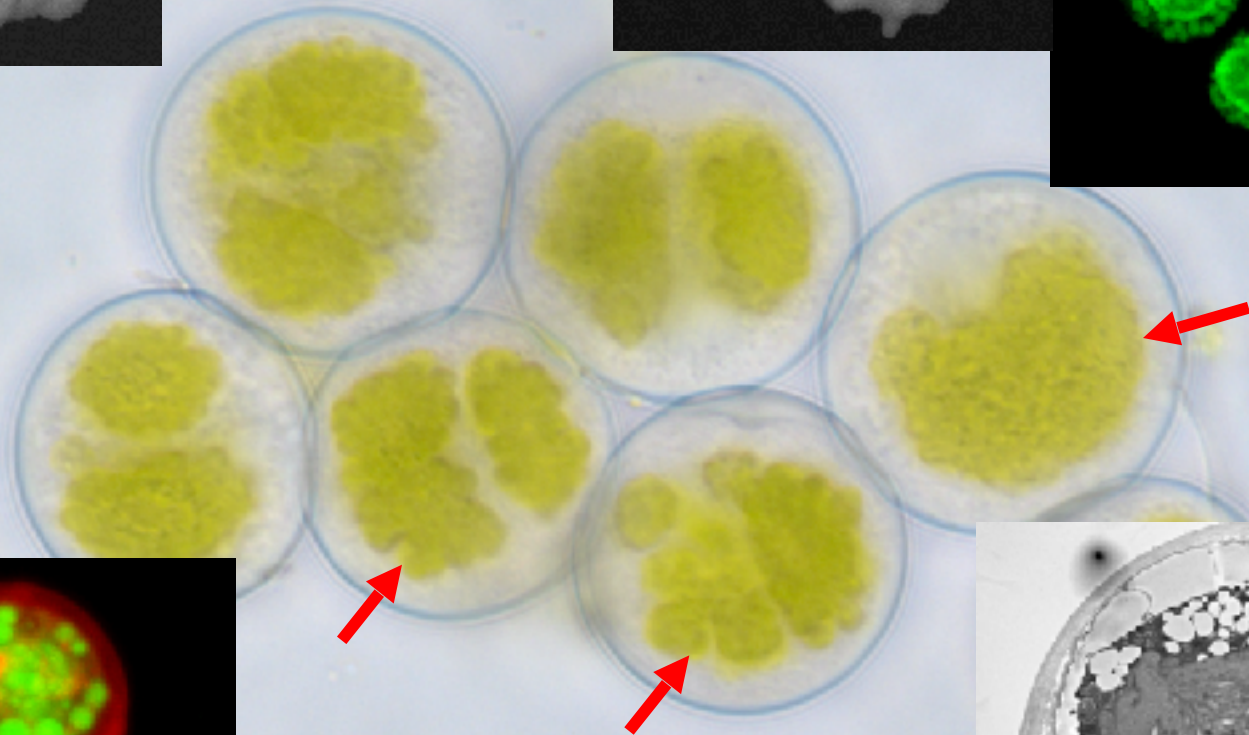
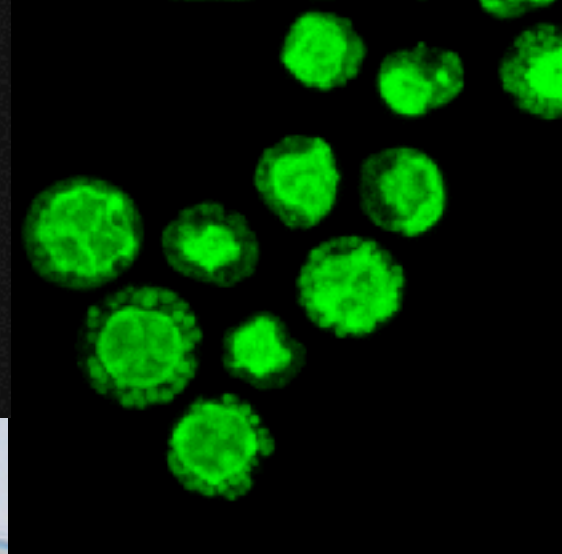
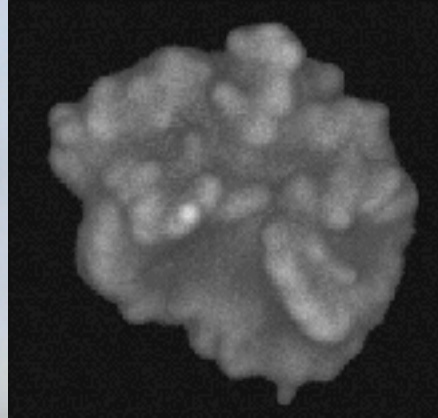
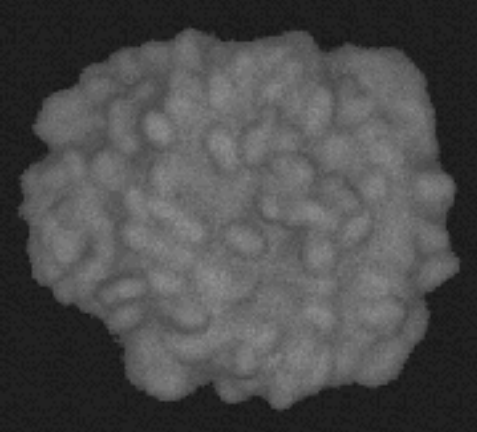
I tilacoide del grana e dello stroma non sono compartimenti separati, ma presentano invece un continuum spaziale con numerosi collegamenti di membrana (originate: W. Wehrmeyer).



TILACOIDI: evaginazioni interne della membrana interna; delimitano il **lume tilacoidale**; particolarmente sviluppate in cloro- e cromoplasti, particolarmente ricche in:

- ✿ pigmenti apolari (liposolubili);
- ✿ complessi enzimatici.





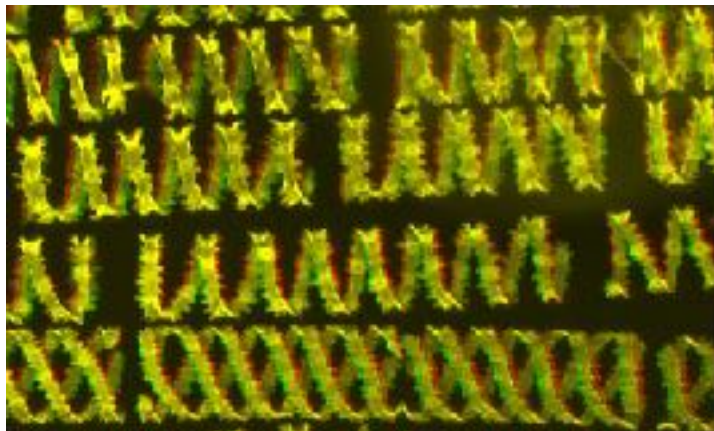
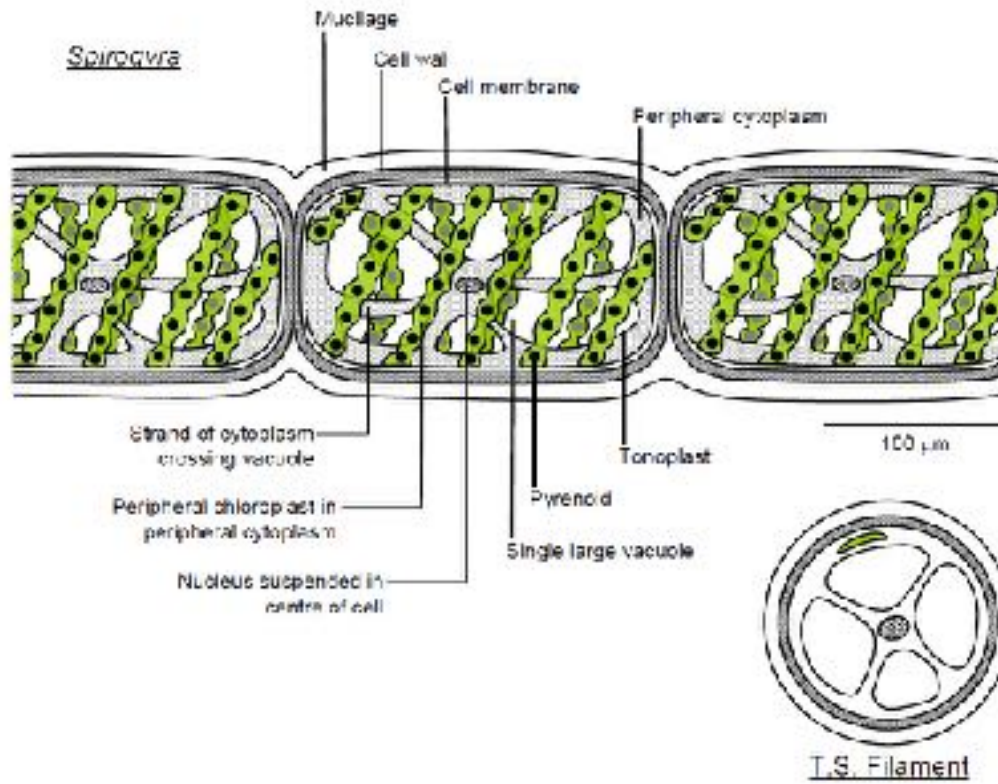
COLOROPLASTI

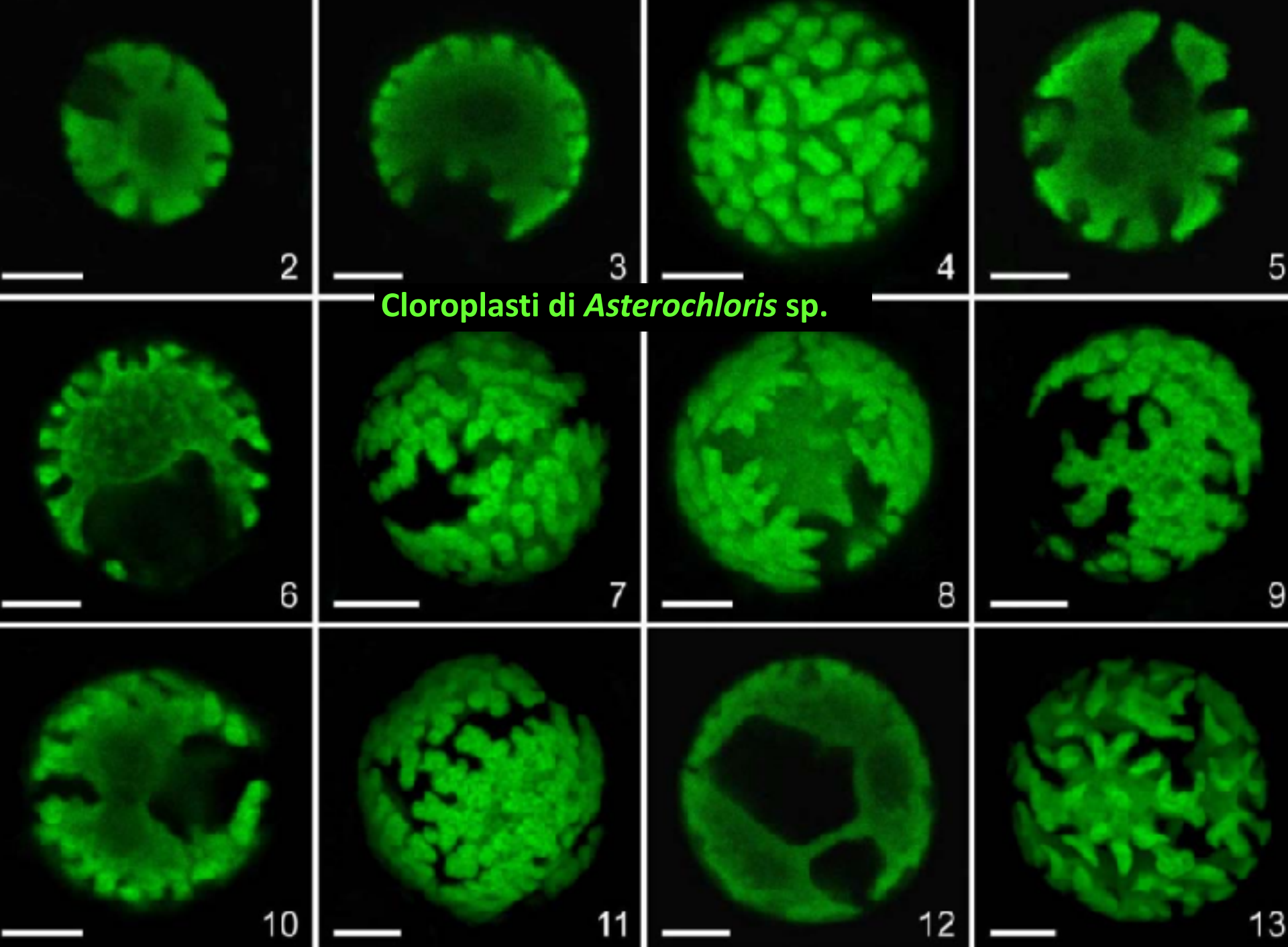


In **alghe** i cloroplasti si differenziano molto per morfologia ed ultrastruttura. In **alghe unicellulari**: frequente un unico cloroplasto di forma molto variabile ... spesso spettacolare.

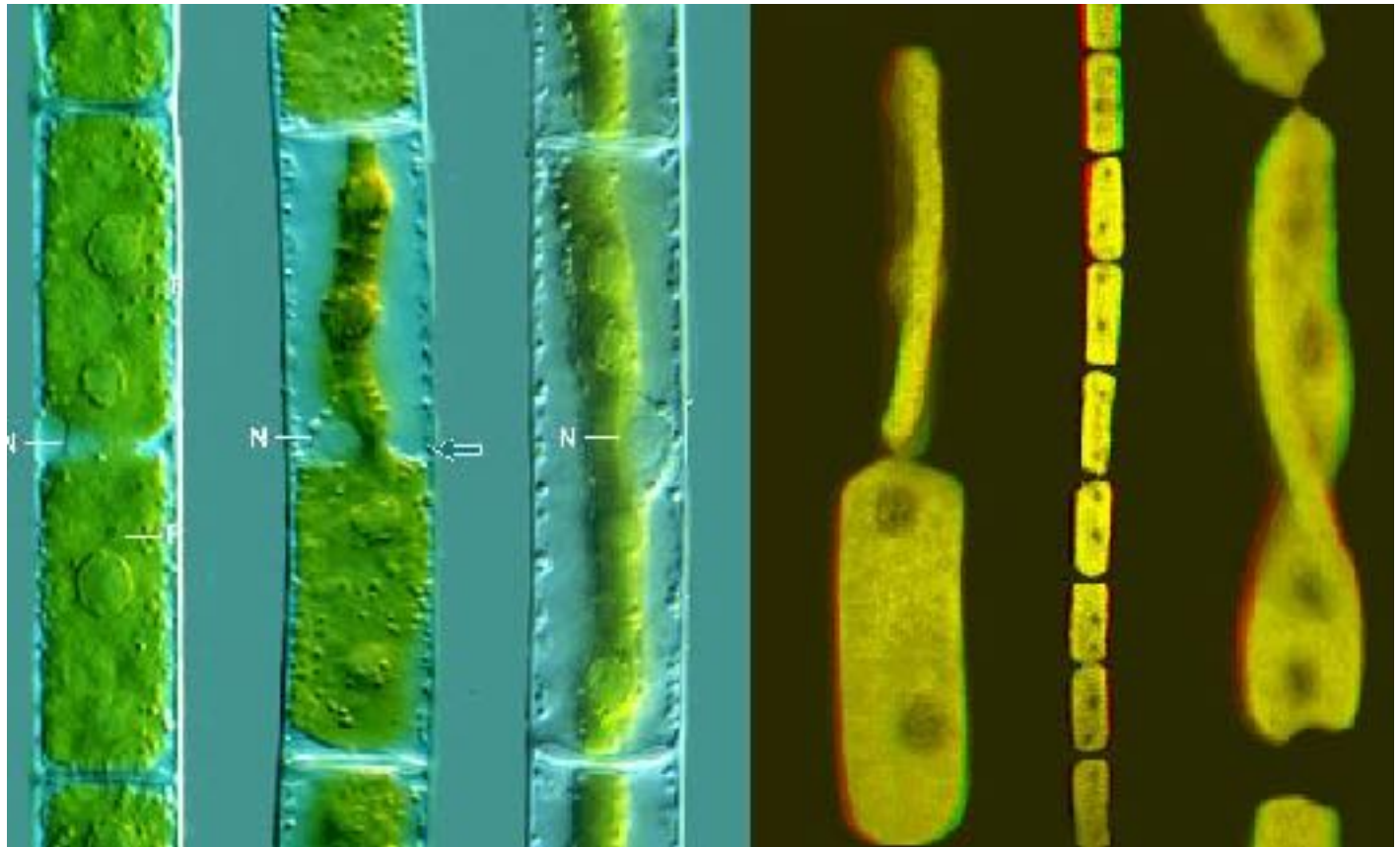
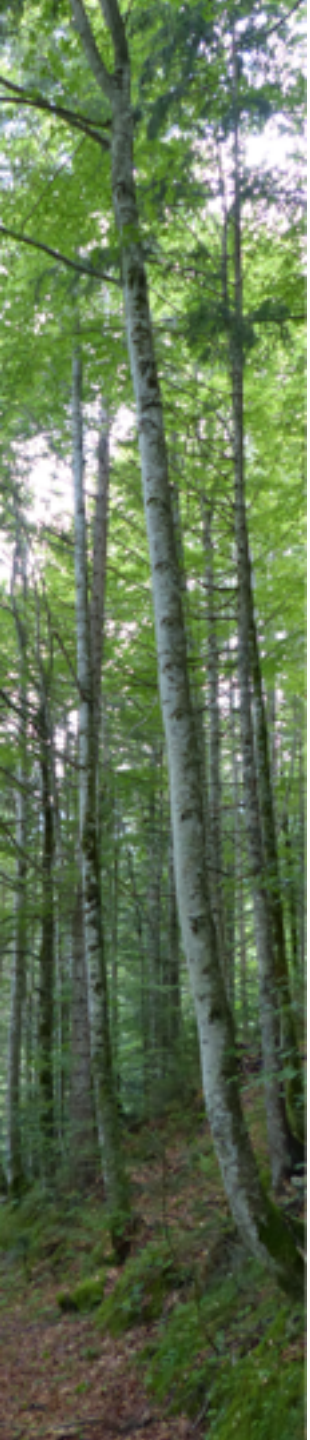


Spirogyra sp.





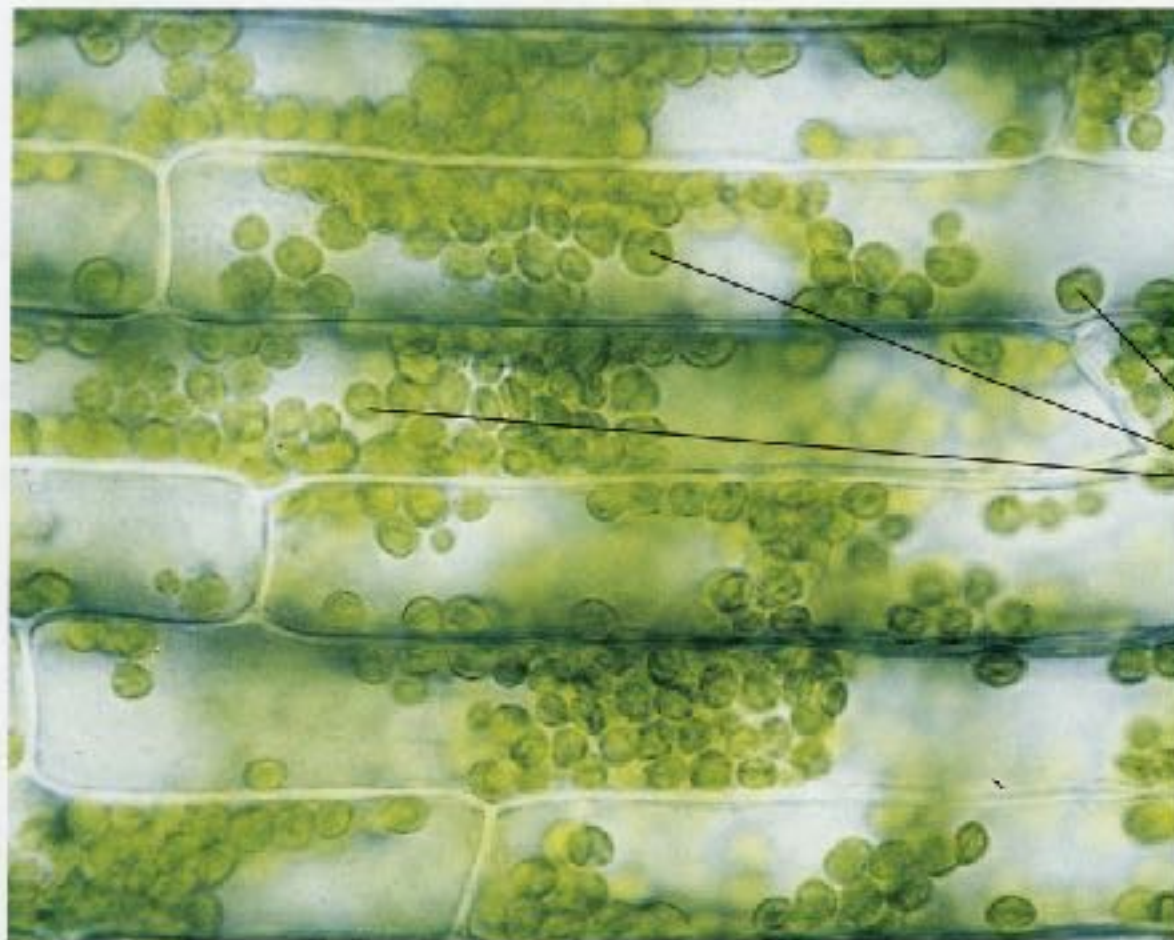
Cloroplasti di *Asterochloris* sp.



Mougeotia sp.

...non sempre verde! Possono avere altri colori per la prevalenza di altri “pigmenti fotosintetici accessori” coinvolti nel processo fotosintetico. Da qui la suddivisione delle alghe in gruppi tassonomici empirici: alghe rosse, brune, dorate, ecc.

Nelle Characeae (alghe verdi) e nei taxa derivati, comprese tutte le piante superiori, i cloroplasti sono più “banali”



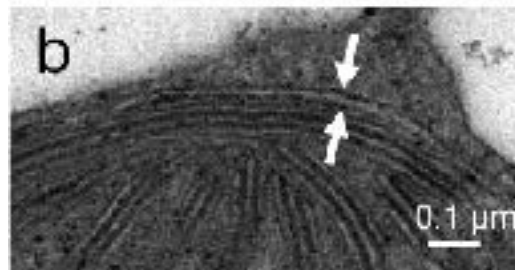
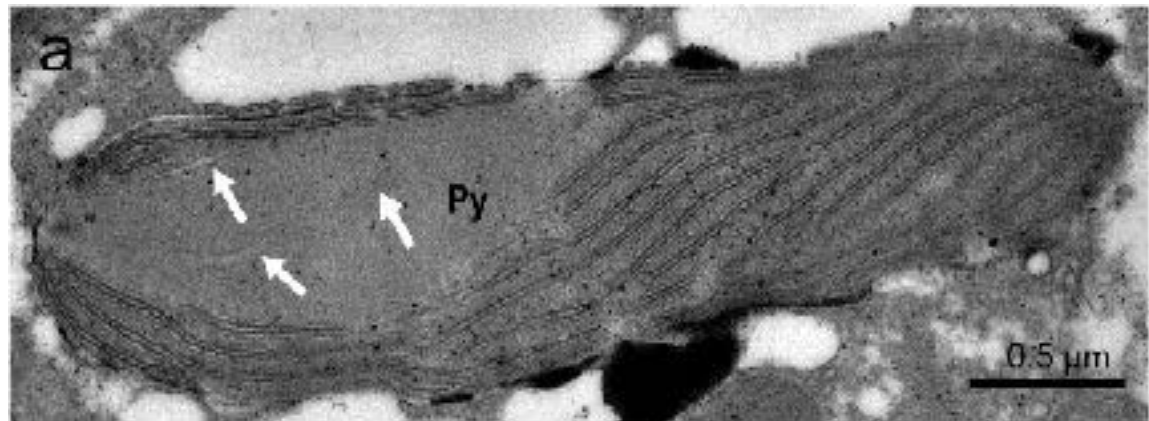
cloroplasti

Cloroplasti nella foglia di peste d'acqua (*Elodea canadensis* Michx., fam. Hydrocharitaceae).
x 1000 (950)



Nei cloroplasti algali:

- tilacoidi isolati o paralleli (in alghe rosse) a decorrenza in gruppi da 2 a 4,
- tilacoidi granali di solito assenti
- possibile presenza di tilacoide circolare, parallelo alla membrana interna del cloroplasto, che racchiude tutti gli altri.
- **Pirenoide** (pyrenoid): area stromatica densa in cui si accumula l' enzima RUBISCO.



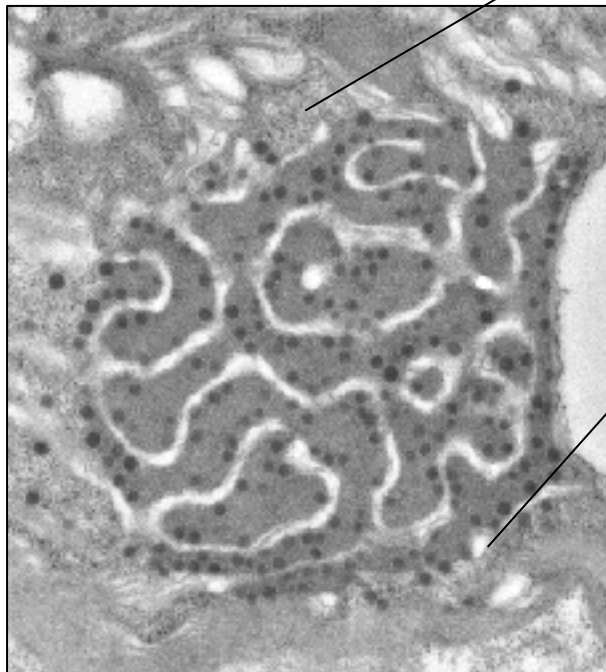
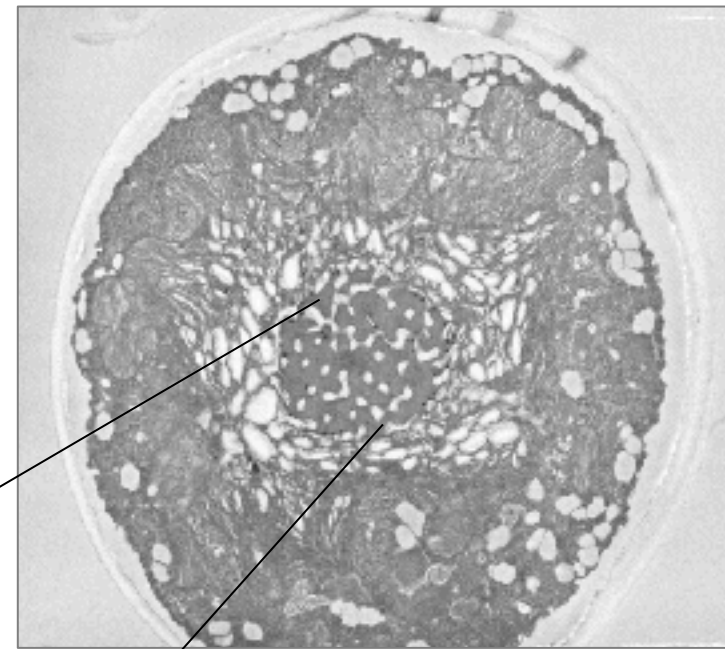


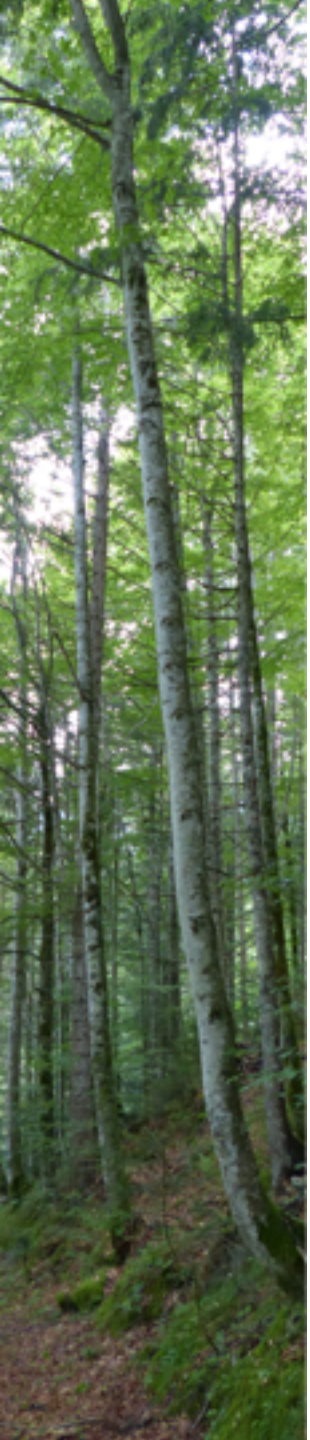
Trebouxia sp.





PIRENOIDE: presenti anche in epatiche; associati al meccanismo di concentrazione della CO_2 presso l' aggregato enzimatico della rubisco.





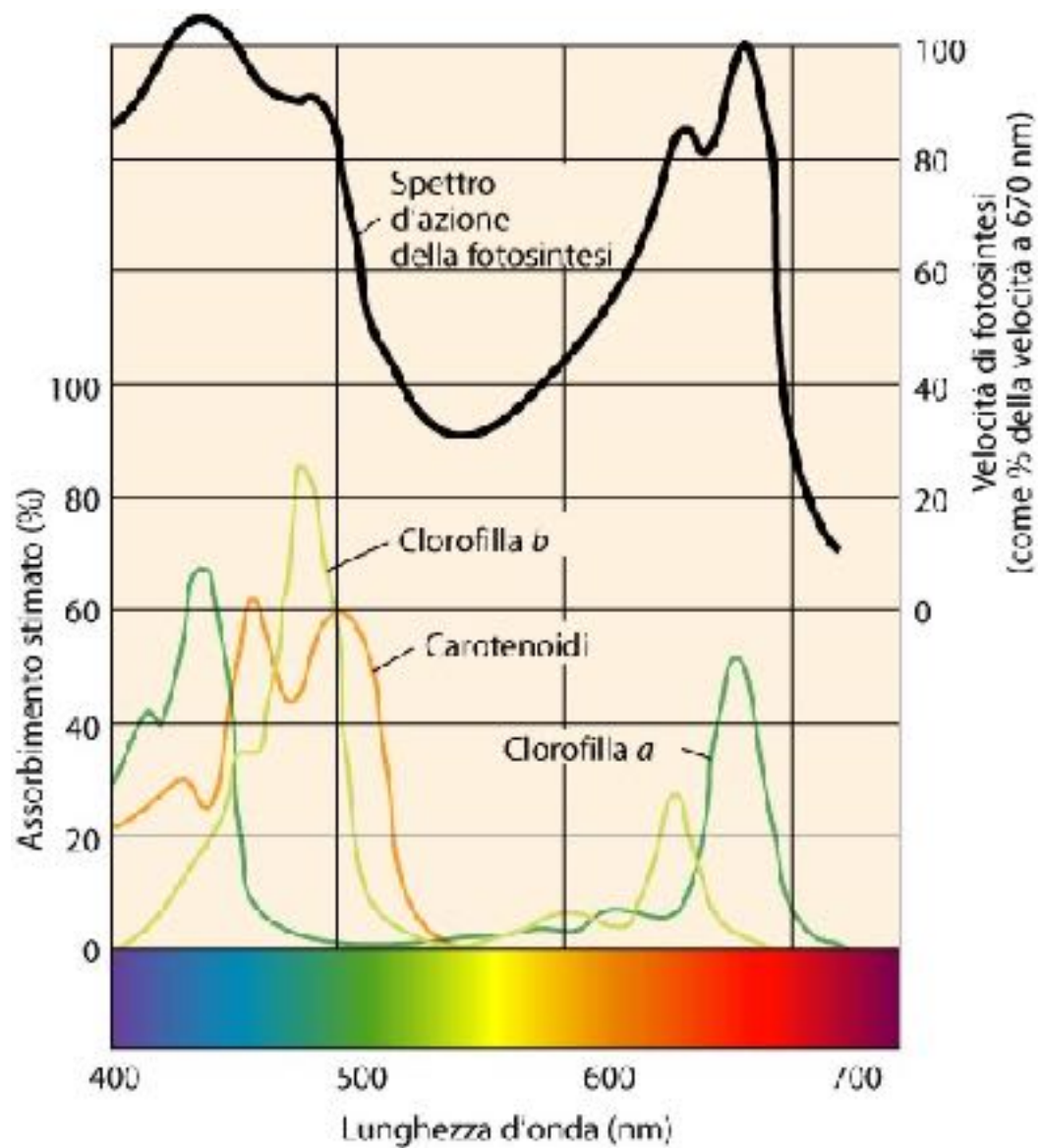
Pigmenti dei cloroplasti:

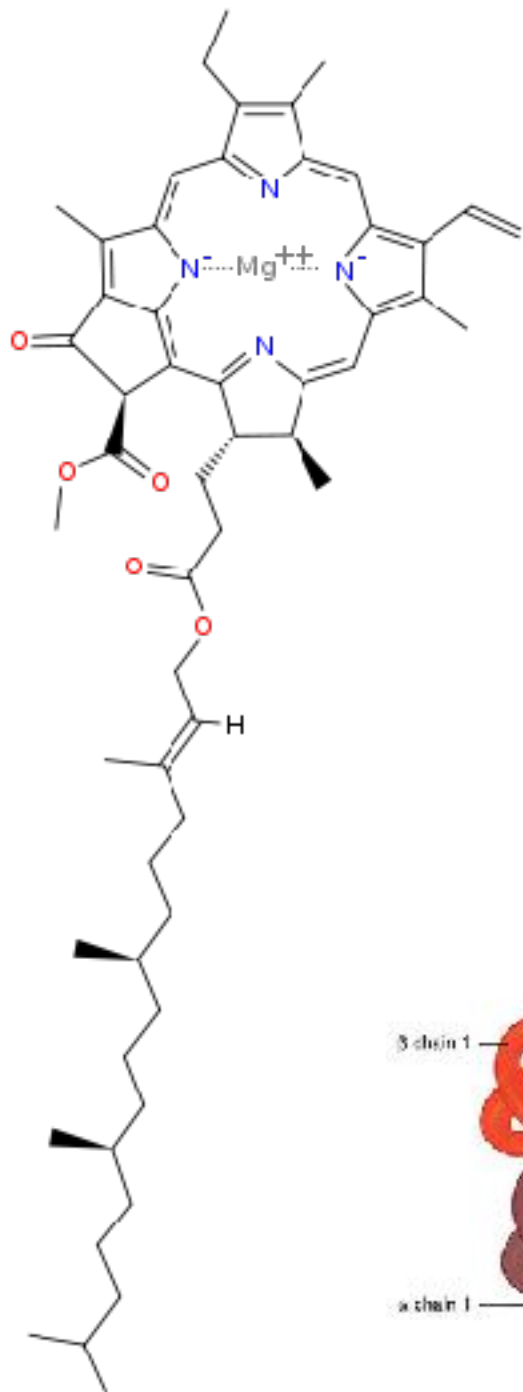
clorofilla a: sempre presente! così abbondante da mascherare la presenza di altri pigmenti eventualmente presenti.

clorofilla b: compare nelle alghe verdi per poi essere presente in tutte le piante “superiori”. Associata alla clorofilla a, simile nella struttura molecolare, ma con diverse proprietà.

carotenoidi, beta carotene (sempre presente)

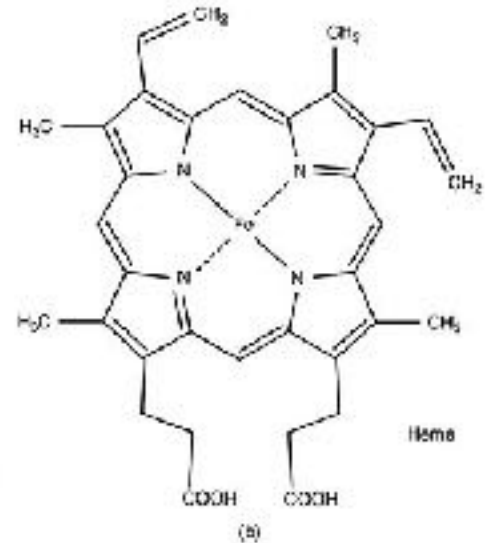
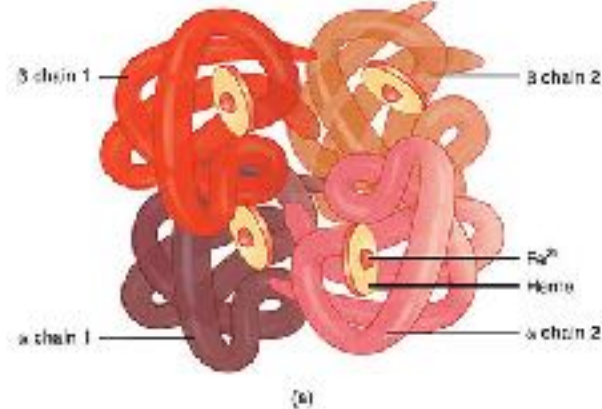
Xantofille: hanno la funzione di pigmenti antenna e di “fotoprotezione”.





clorofilla a: anello porfirinico,
catena idrofoba per
ancoraggio ai tilacoidi

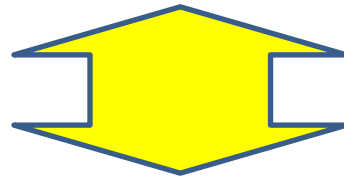
.... analogia con emoglobina negli
animali!



I cloroplasti sono la centrale chimica della cellula vegetale.

I testi di biochimica danno quasi per scontato che le piante siano biochimicamente simili agli altri organismi, se si fa eccezione per l'organizzazione fotosintetica del carbonio.

Nel metabolismo vegetale molte attività, che sono citosoliche in altri organismi, negli organismi vegetali superiori si svolgono nei PLASTIDI: gran parte delle capacità biosintetiche di una cellula vegetale è localizzata nei plastidi, e nei cloroplasti in particolare.

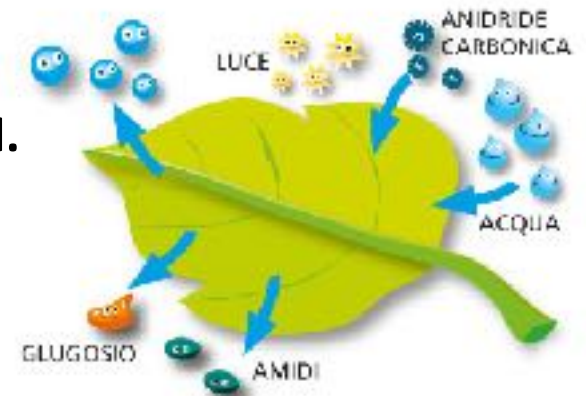


elevate concentrazioni di ATP e potere riducente a livello stromatico.

Attività metaboliche nei plastidi

- 1) sintesi degli acidi grassi;
- 2) riduzione e assimilazione primaria del nitrito nella neosintesi del glutamato;
- 3) riduzione e assimilazione del solfato nella neosintesi della cisteina;
- 4) biosintesi degli altri aminoacidi;
- 5) biogenesi dei pigmenti fotosintetici;
- 6) sintesi dell'amido primario;
- 7) parte delle reazioni della **FOTOSINTESI**.

Potere riducente





Nel cloroplasto:

- **Nello stroma:** DNA, ribosomi, prodotti, substrati... enzimi coinvolti in processi metabolici,

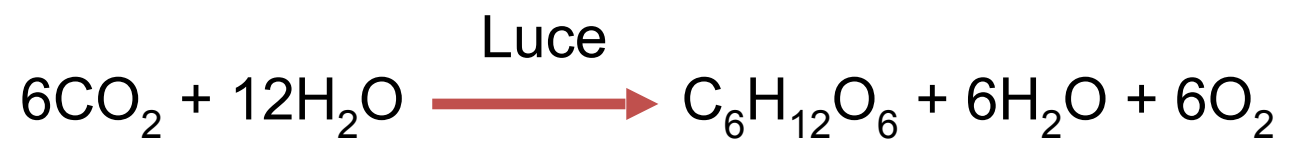
RUBISCO: Ribuloso 1,5 bifosfato carbossilasi-ossigenasi, enzima chiave della fissazione di CO_2 su substrato organico.

- **Sulle membrane:** pigmenti per assorbimento della luce, organizzati in **fotosistemi** (in unità funzionali), **catene ossidoriduttive** formate da molte molecole diverse per natura e struttura.

- **Nel lume tilacoidale:** altri enzimi, compreso il complesso responsabile della “rottura” della molecola dell’acqua (“fotolisi”).



FOTOSINTESI

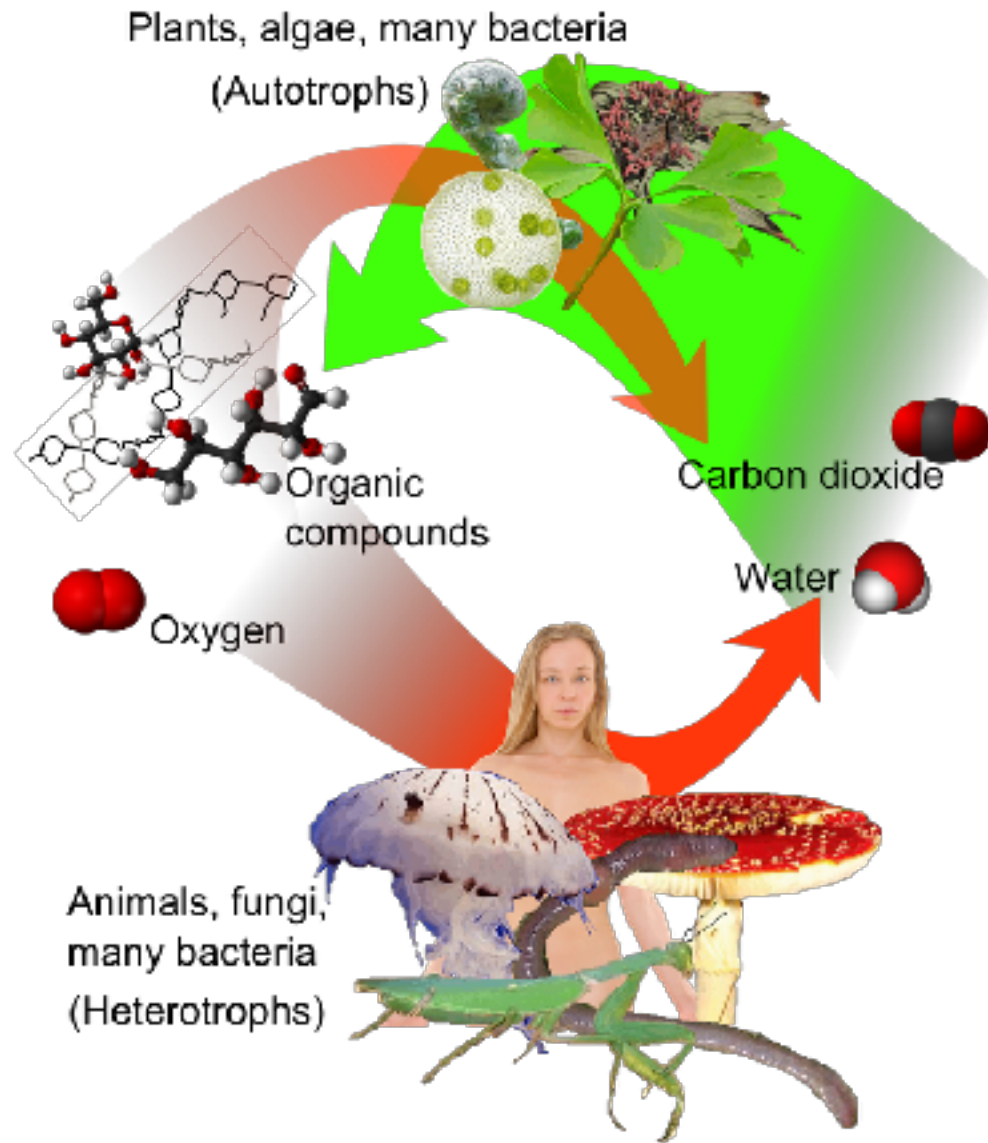




Gran parte della vita sulla Terra come la conosciamo oggi dipende dai prodotti delle reazioni della fotosintesi che fissano la CO_2 in composti organici. In molti casi, questo processo libera ossigeno molecolare come “rifiuto”.

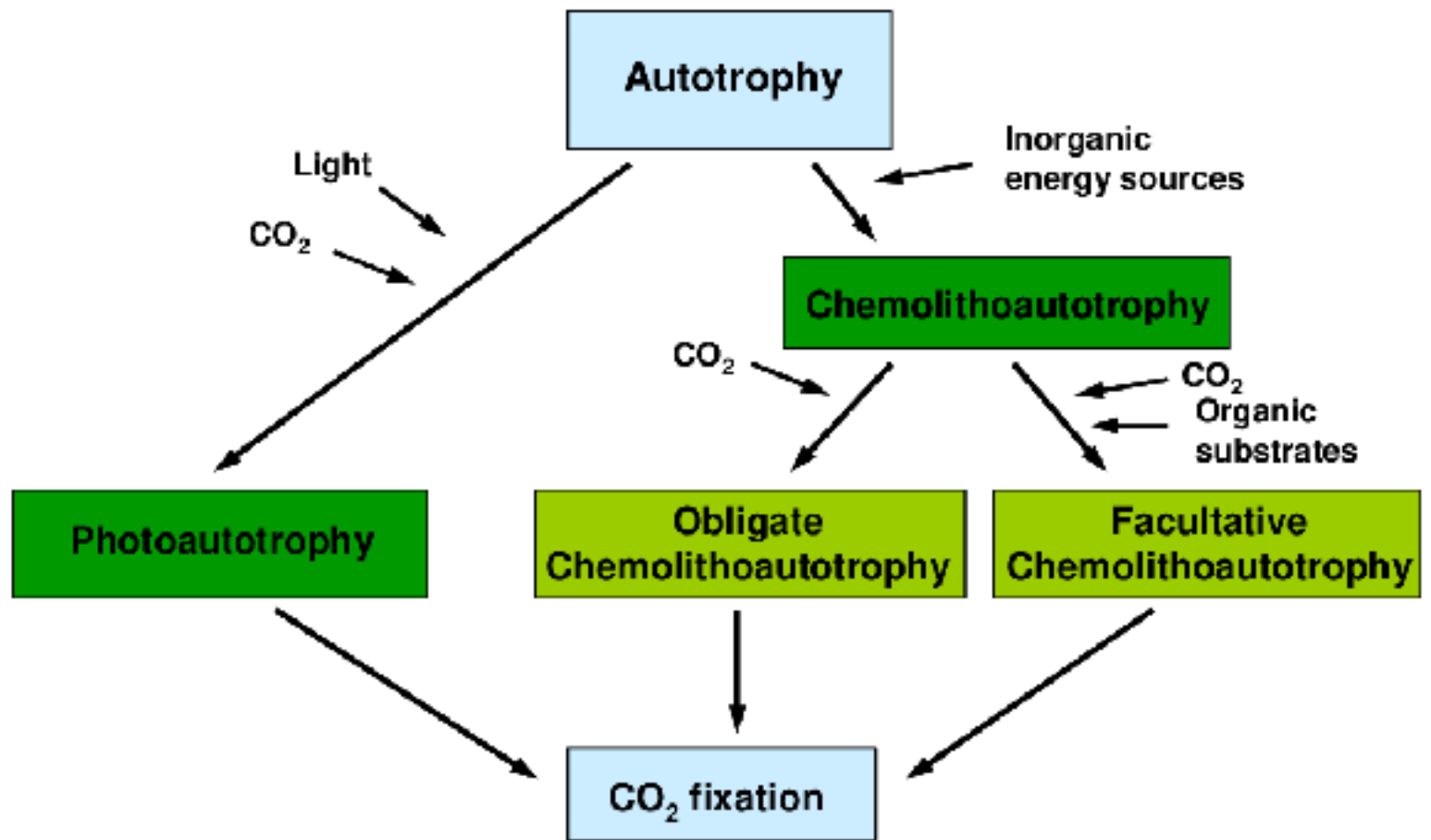
Si tratta di processo complesso, presente solo in alcuni gruppi di batteri, nelle alghe e nelle piante superiori.

L'evoluzione della fotosintesi è stata la causa della trasformazione dell'atmosfera primordiale della terra da ambiente riducente a ossidante.





Differenze tra autotrofi e eterotrofi		
	Autotrofi	Eterotrofi
Fonte di energia	Luce solare Composti inorganici ridotti	Carboidrati, proteine e grassi
Fonte del materiale da costruzione	Composti inorganici	Composti organici
Organismi	Piante Alghe Cianobatteri Batteri fotosintetizzanti	Animali Funghi Piante parassite La maggior parte dei batteri



CHEMOLITHOTROPHY

- **Chemolithotrophs** - These microbes obtain electrons for the electron transport chain from the oxidation of inorganic molecules rather than NADH generated by the oxidation of organic nutrients.
- The acceptor is usually O₂, but sulfate and nitrate are also used.
- The most common electron donors are hydrogen, reduced nitrogen compounds, reduced sulfur compounds, and ferrous iron (Fe²⁺).

Bacteria	Electron Donor	Electron Acceptor
<i>Alcaligenes, Hydrogenophaga, and Pseudomonas</i> spp.	H ₂	O ₂
<i>Nitrobacter</i>	NO ₂ ⁻	O ₂
<i>Nitrosomonas</i>	NH ₄ ⁺	O ₂
<i>Thiobacillus denitrificans</i>	S ⁰ , H ₂ S	NO ₃ ⁻
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	Fe ²⁺ , S ⁰ , H ₂ S	O ₂

Si noti che le piante sono autotrofe solo dopo che sono emerse dal suolo. Nella fase precoce di sviluppo i germogli si nutrono del contenuto dei cotiledoni.





La fotosintesi è il principale processo biochimico che ci sia sulla terra.

Ogni anno gli organismi fotosintetizzanti trasformano in sostanze organiche più di **700 miliardi di tonnellate** di **anidride carbonica**.

Questo colossale processo chimico implica un trasferimento di energia dal Sole al sistema vivente. Una parte dell'energia del Sole rimane conservata sotto forma di energia di legame chimico nelle molecole organiche, in particolare grazie alla parziale **riduzione degli atomi di carbonio**.

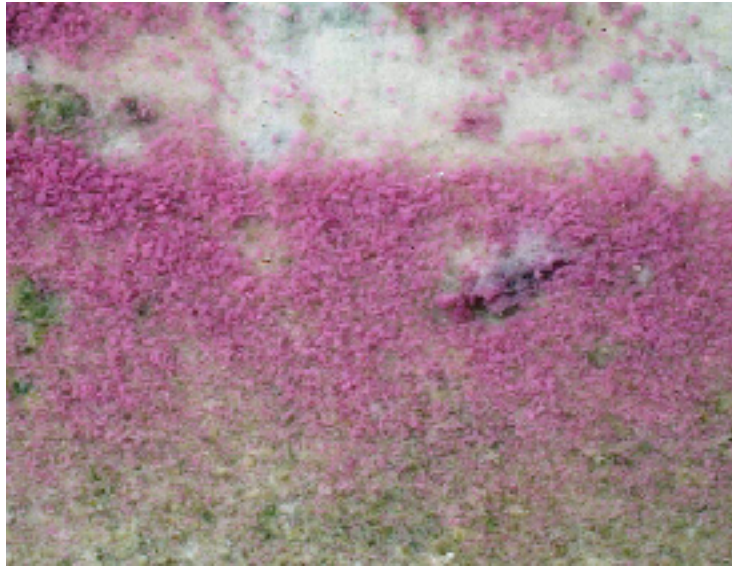
Si può correttamente affermare che “*la fotosintesi trasforma energia luminosa in energia di legame chimico*”.



Chi fa la fotosintesi?

Organismi procarioti (batteri e cianobatteri)

Organismi eucarioti (alghe verdi, piante)



Amoebobacter purpureus,
batterio purpureo
fotosintetico, che usa come
donatore di elettroni
composti sulfurei, e non
acqua.

Nostoc cf. pruniforme, colonie
sferiche, che possono arrivare
a 15 centimetri e oltre 2 chili
di peso. Cianobatterio, capace
di fotosintesi ossigenica, e di
fissare l'azoto atmosferico
(molecolare).



Alghe verdi

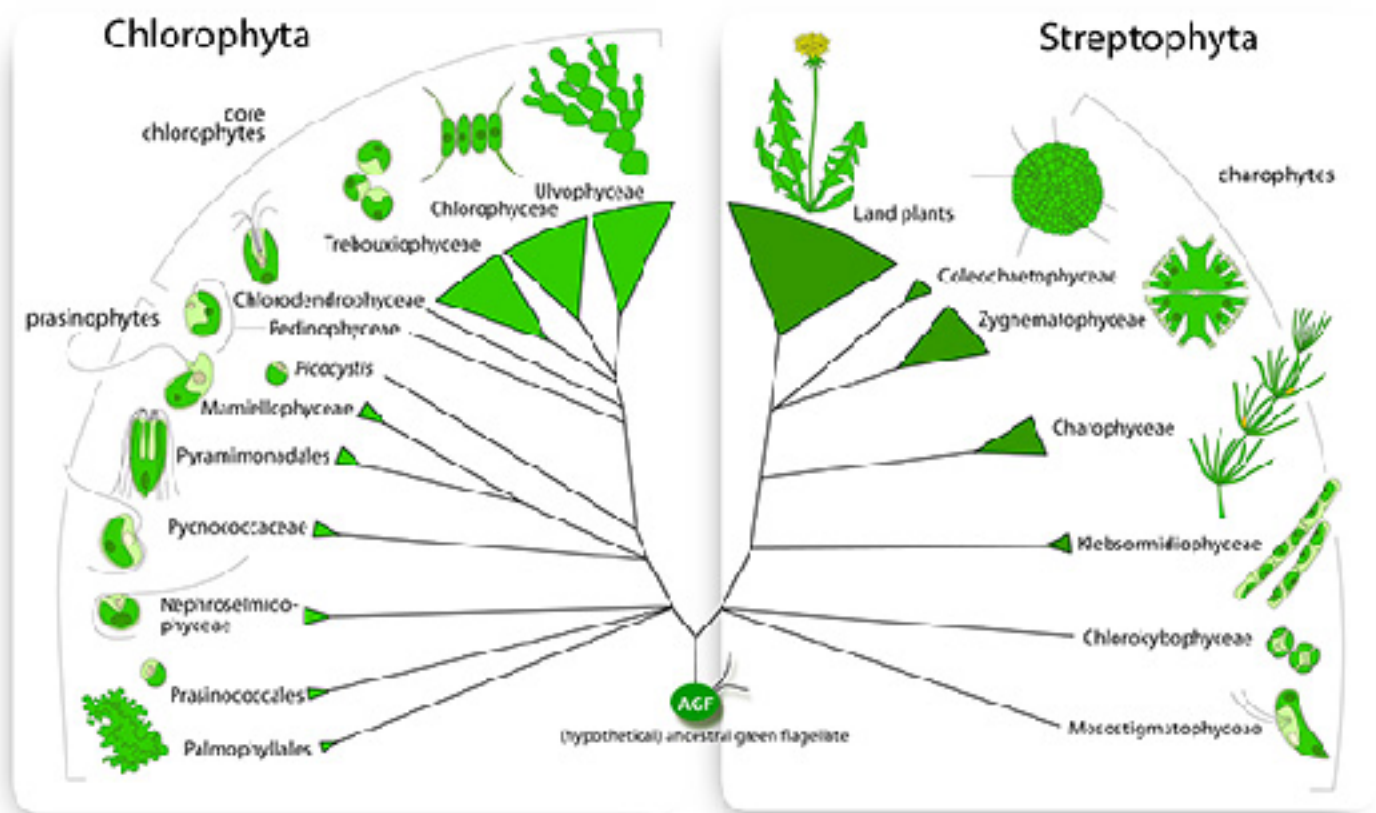


Ulva lactuca, insalata di mare
Classe Ulvophyceae
Ordine Ulvales
Famiglia Ulvaceae



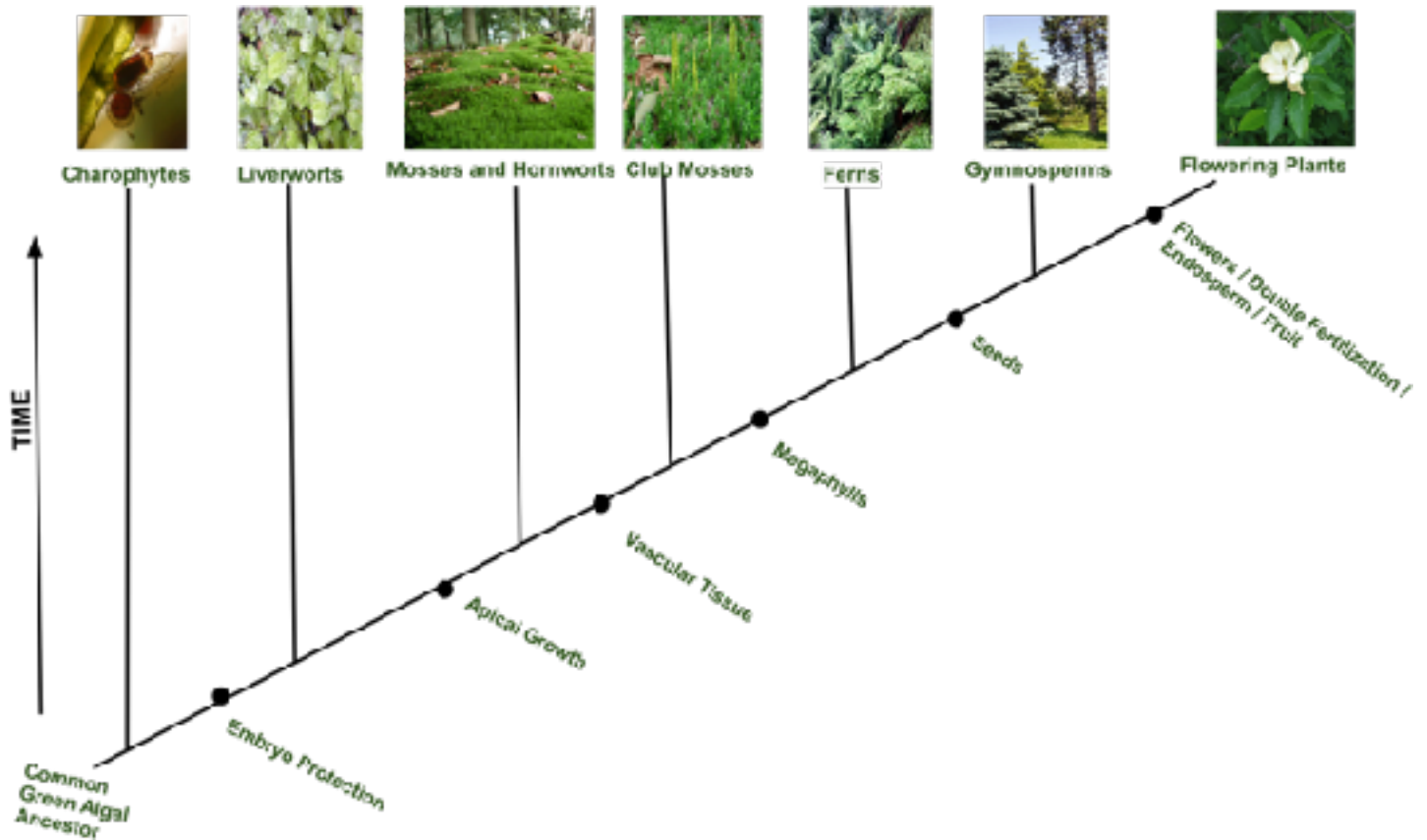
Chara vulgaris
Classe Charophyceae
Ordine Charales
Famiglia Characeae





Modified from Leliaert et al., *Crit. Rev. Plant Sci.* 3:11-46 (2012)
updated 25 Oct 2013

Quelle che noi chiamiamo “alghе verdi” sono un gruppo parafiletico, alla cui base sta un ipotetico antenato verde flagellato.



Albero filogenetico delle piante, con i principali eventi evolutivi

Piante

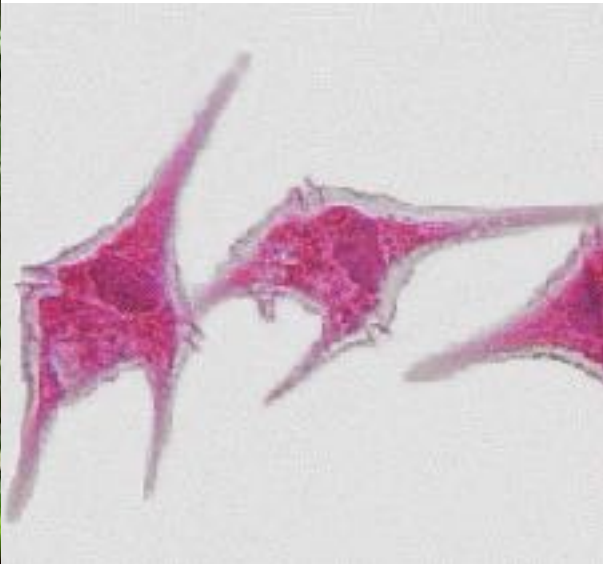


Centaurea kartschiana
Famiglia Asteraceae



Quercus ilex
Famiglia Fagaceae

Si stima che circa il 40% dell'attività fotosintetica totale sia dovuto ai microscopici organismi del plancton (cianobatteri, diatomee, dinoficee, ecc.) che galleggiano sulla superficie dei mari (che occupano il 71% della superficie totale del pianeta).



... ovviamente il restante 60% è dovuto alle piante, in particolare quelle vascolari, che colonizzano le terre emerse (cioè il 29% della superficie totale del pianeta).