

Schema di una cellula vegetale con i suoi componenti principali. Non sono indicati gli organuli citoplasmatici identici a quelli della cellula animale: mitocondri, ribosomi, ecc.

P L A S T I D I

PARETI

(di diversa natura)

FOTOSINTESI

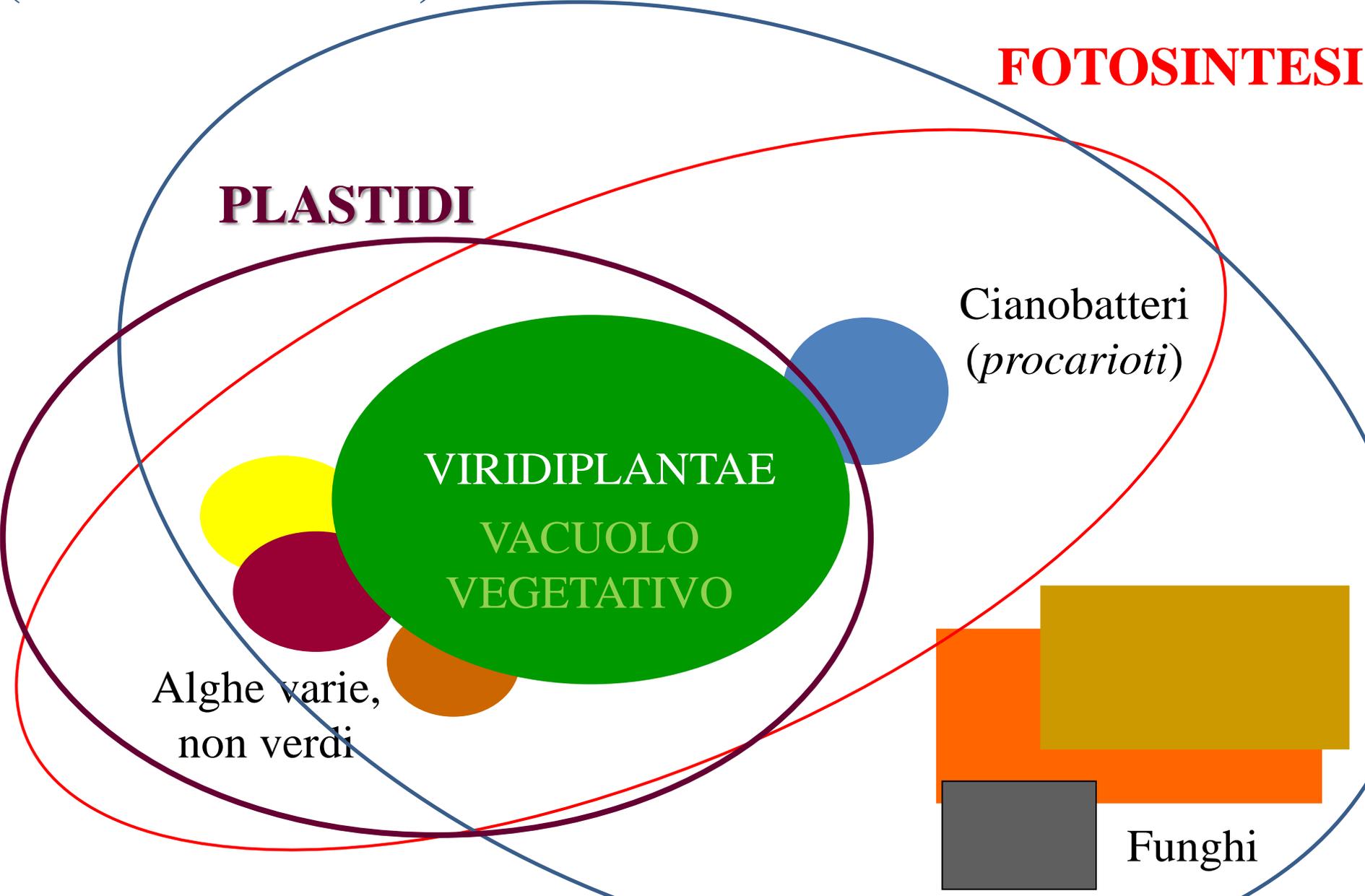
PLASTIDI

Cianobatteri
(*procarioti*)

VIRIDIPLANTAE
VACUOLO
VEGETATIVO

Alghie varie,
non verdi

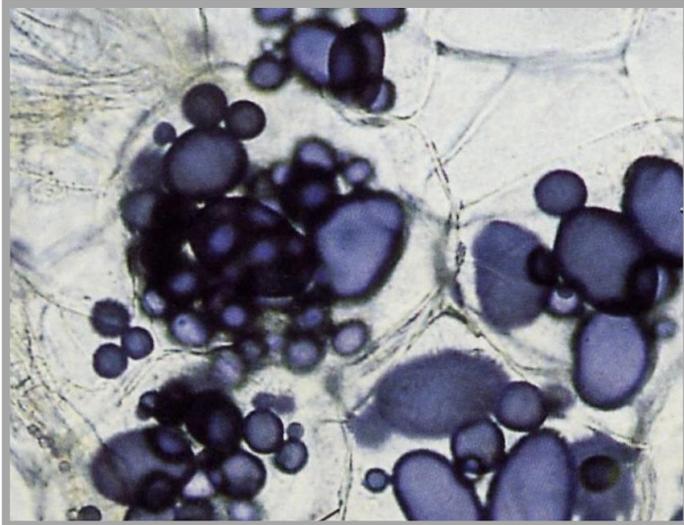
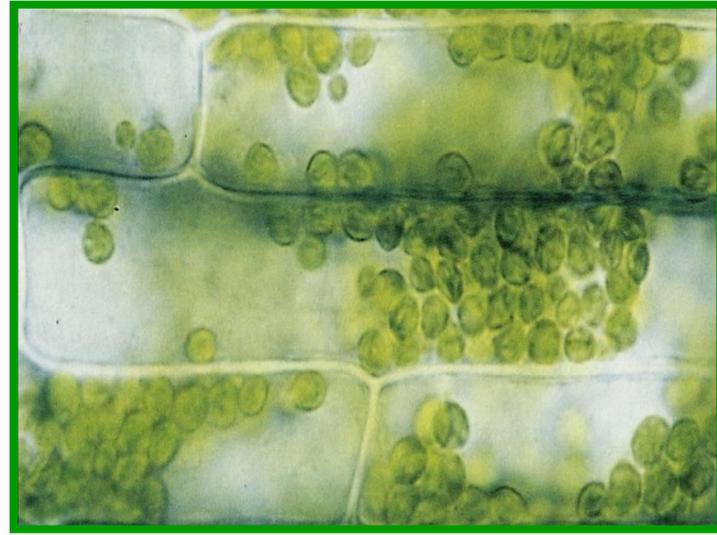
Funghi



Famiglia di organuli propri degli organismi fotoautotrofi ossigenici eucariotici.

Multiple f(x).

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)

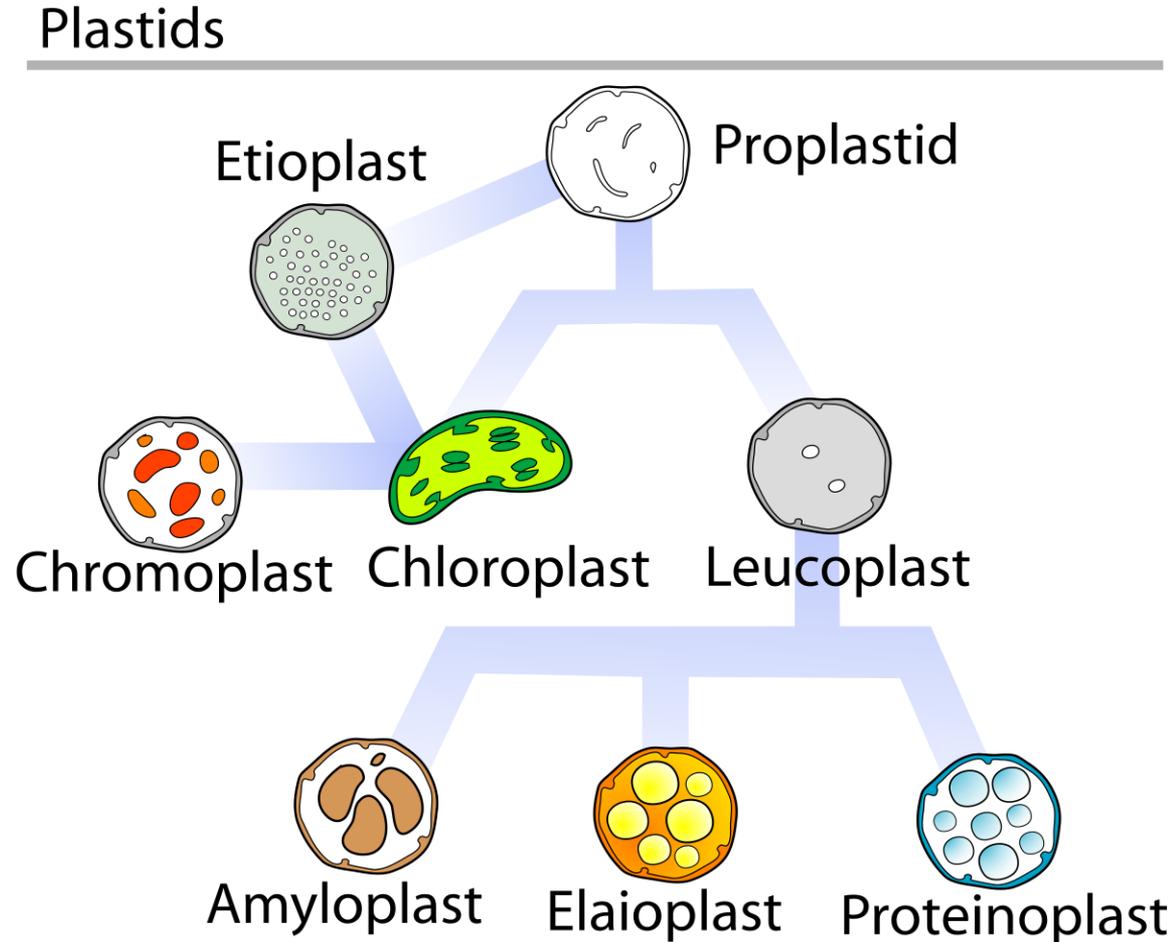


PROPLASTIDI → → → plastidi

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

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)



EZIOPLASTI

Pianta tenuta al buio
→ **Eziolamento**

Corpo prolamellare:
tubuli disposti
regolarmente

Luce → disgregazione
del corpo prolamellare

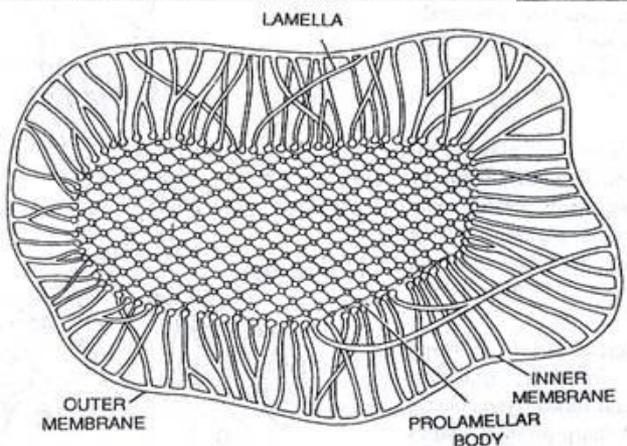
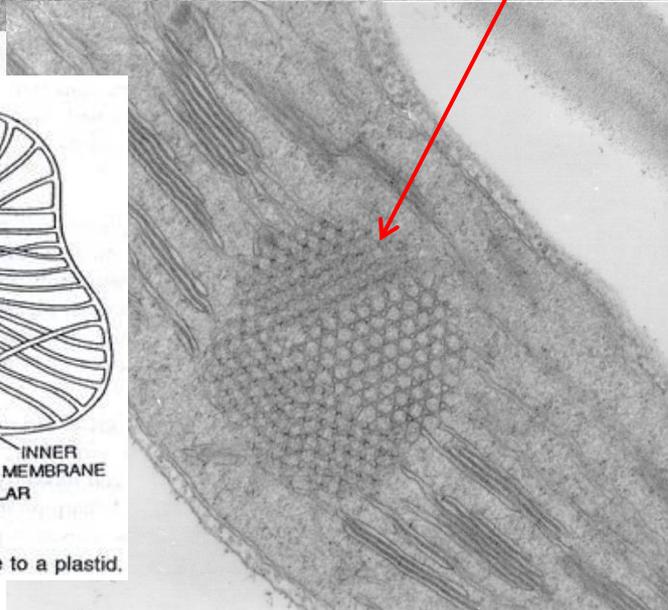
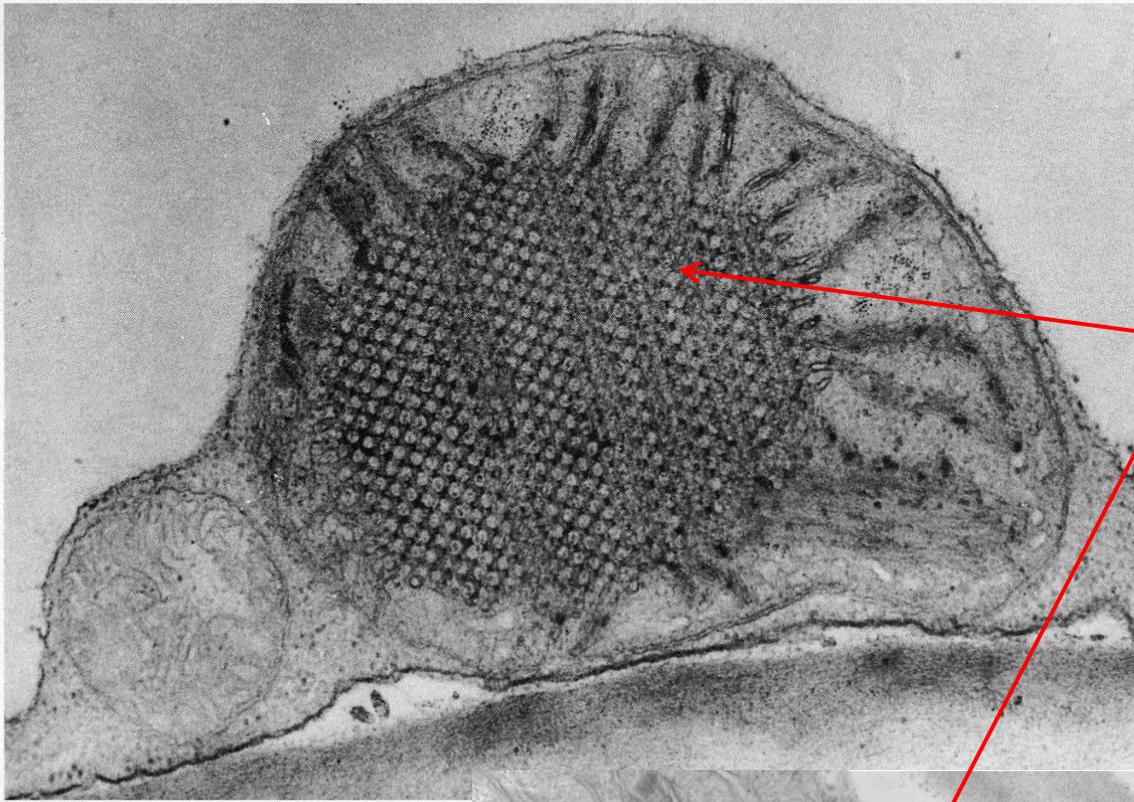
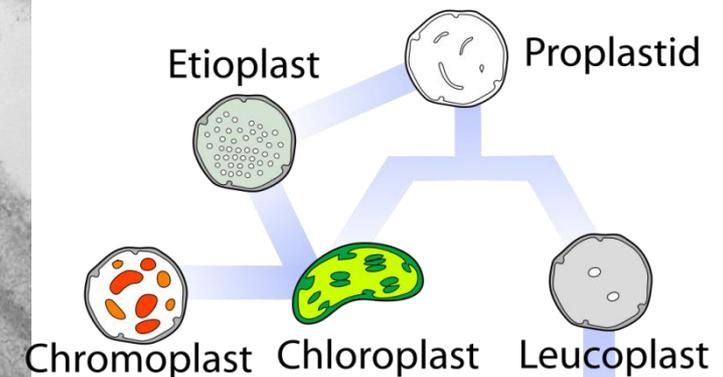


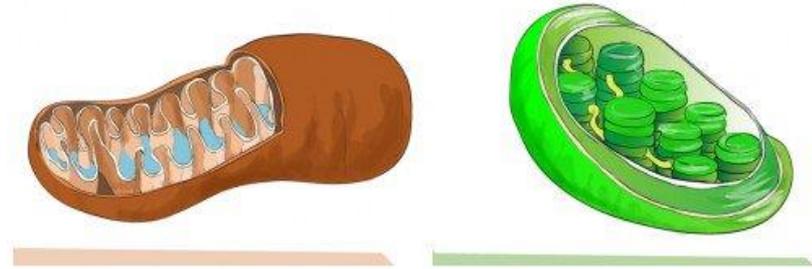
Fig. 33.33. Plastids. A, proplastid which gives rise to a plastid.

Plastids

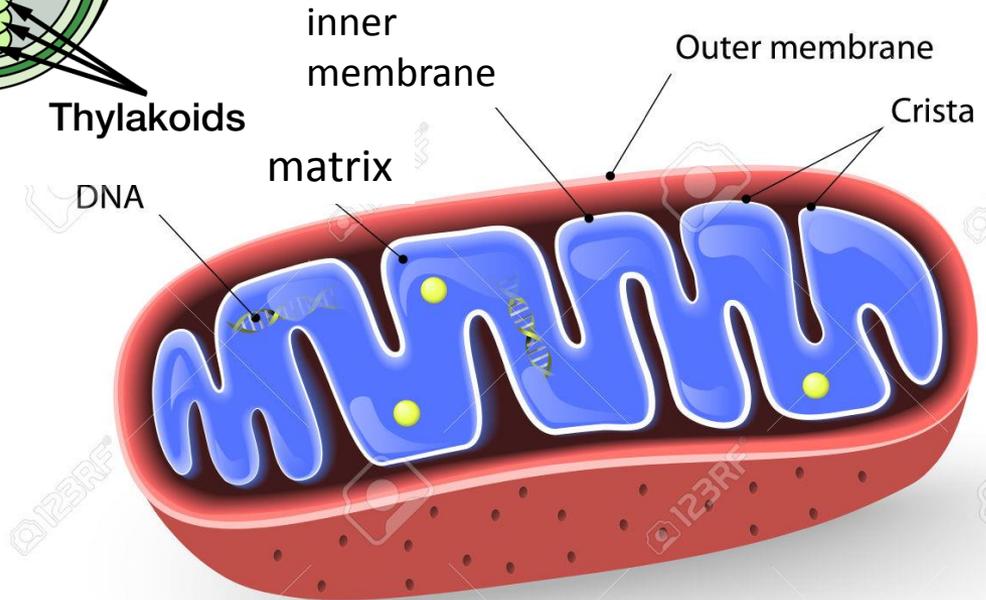


Mitochondria vs. Chloroplast

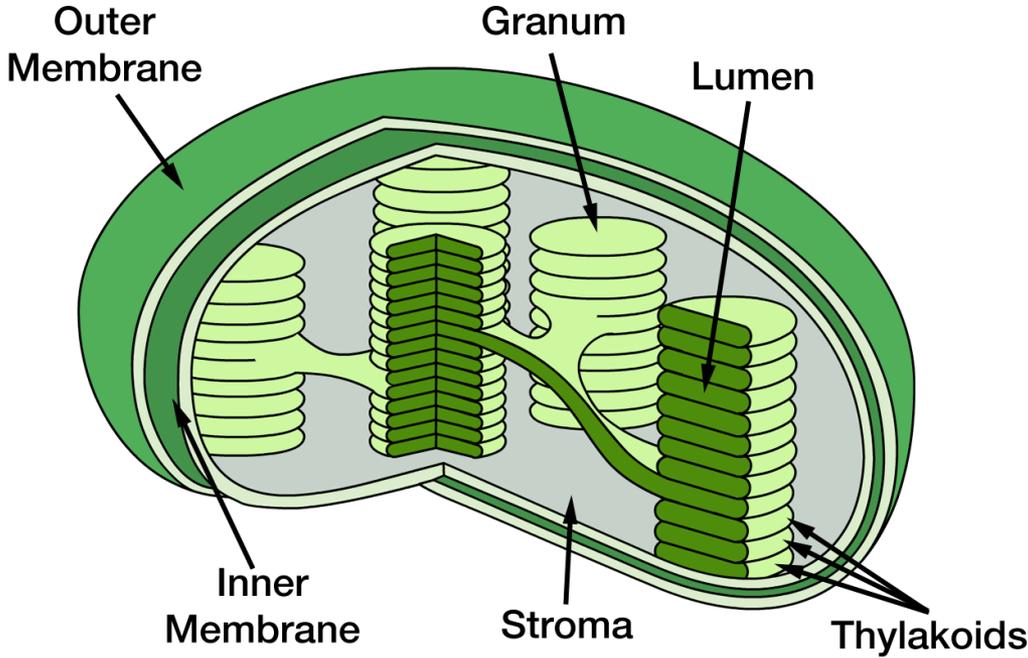
Key Differences and Similarities

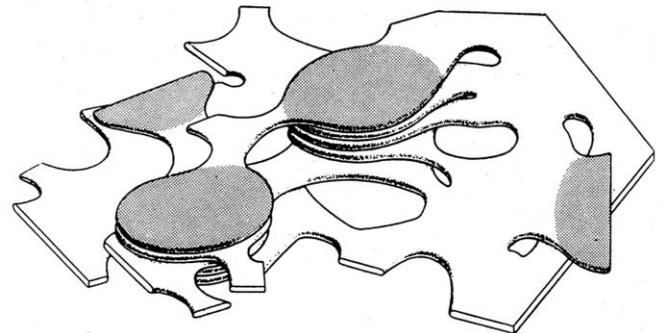
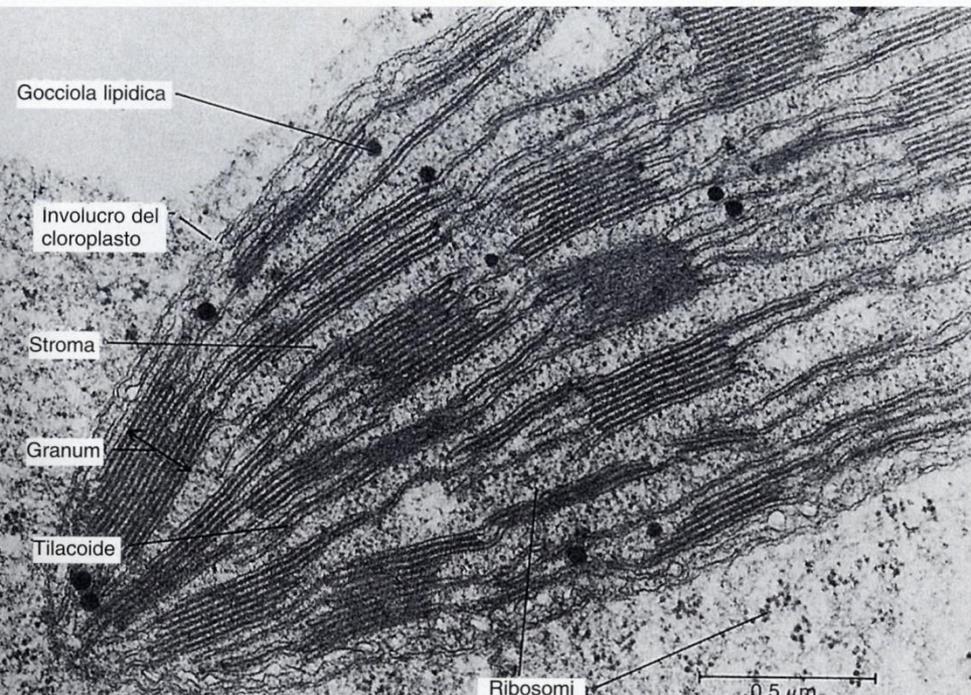
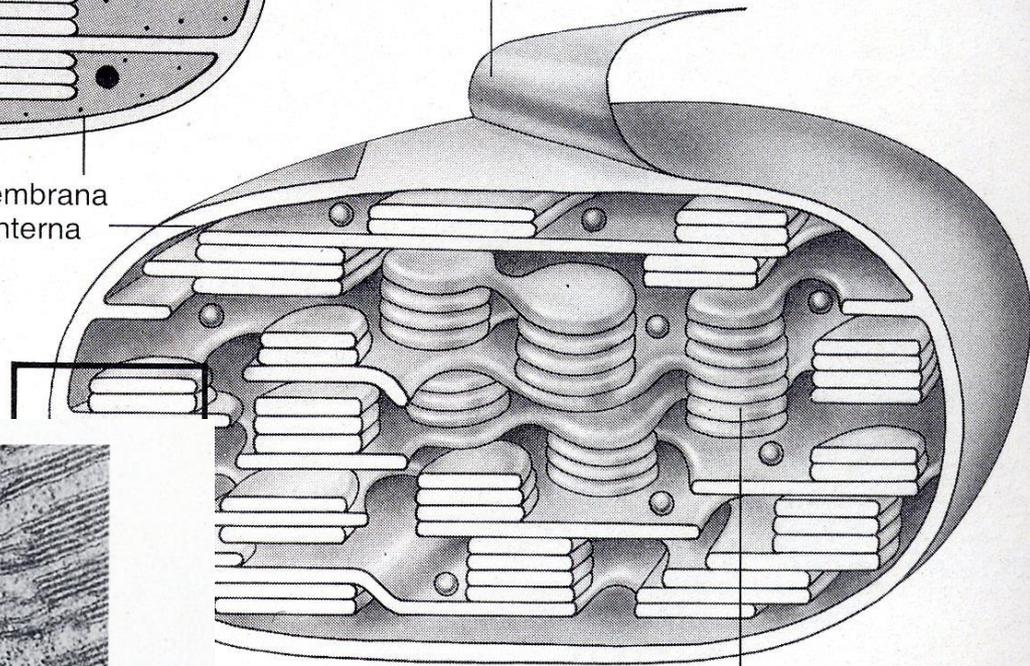
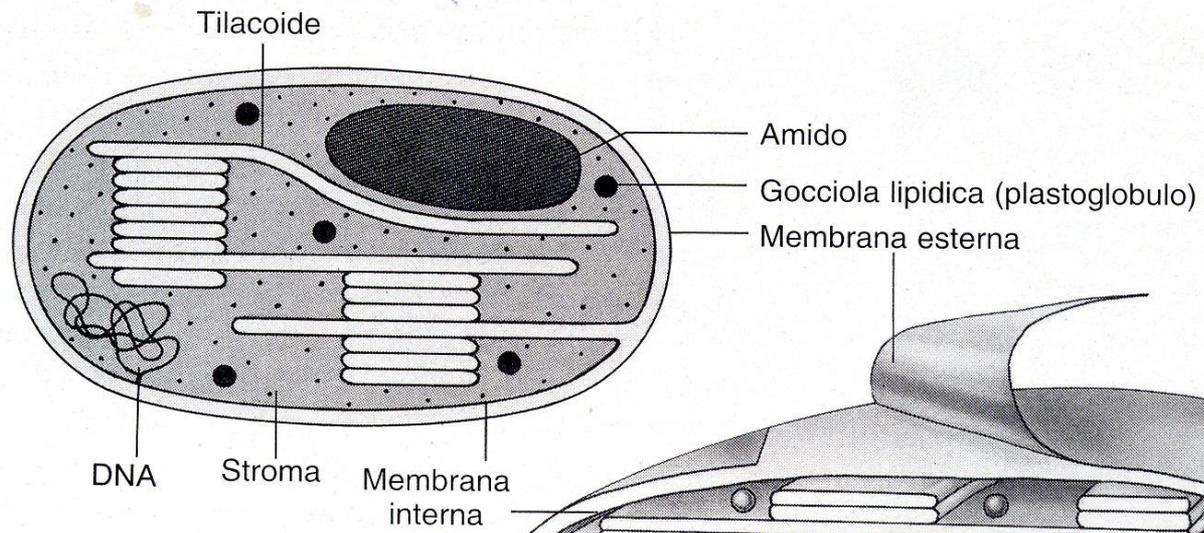


MITOCONDRIO



CLOROPLASTO





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.

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!).

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;
- 4) sviluppo di ulteriori membrane chiuse, **tilacoidi**, delimitanti spazi interni che originano dalla membrana interna per un processo di evaginazione.

PLASTOMA

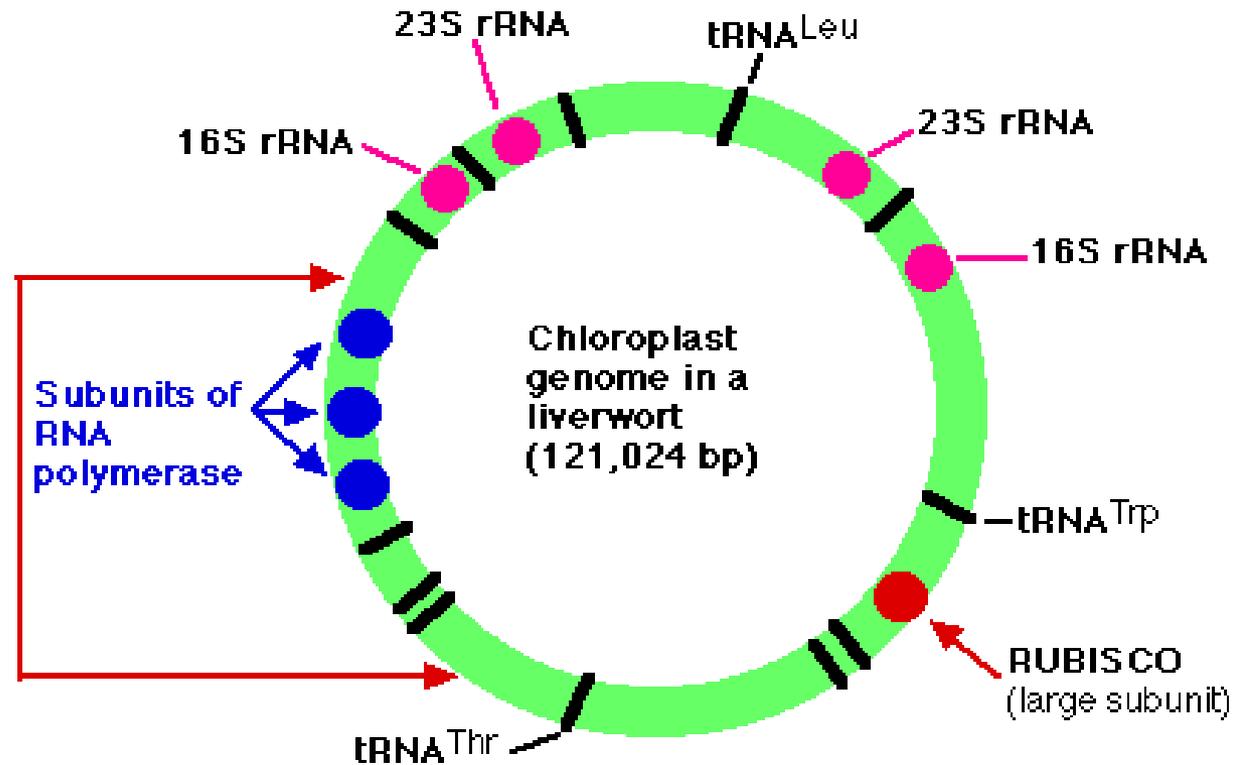
In mais (*Zea mays*, i plastidi più intensamente indagati) il plastoma codifica per circa 100 proteine (= 1/3-1/2 pool totale di proteine presenti nel plastidio). Sono presenti diverse copie per cloroplasto (che può essere considerato "poliploide", con 40-100 copie di ptDNA).

Affinità "**procariotica**":

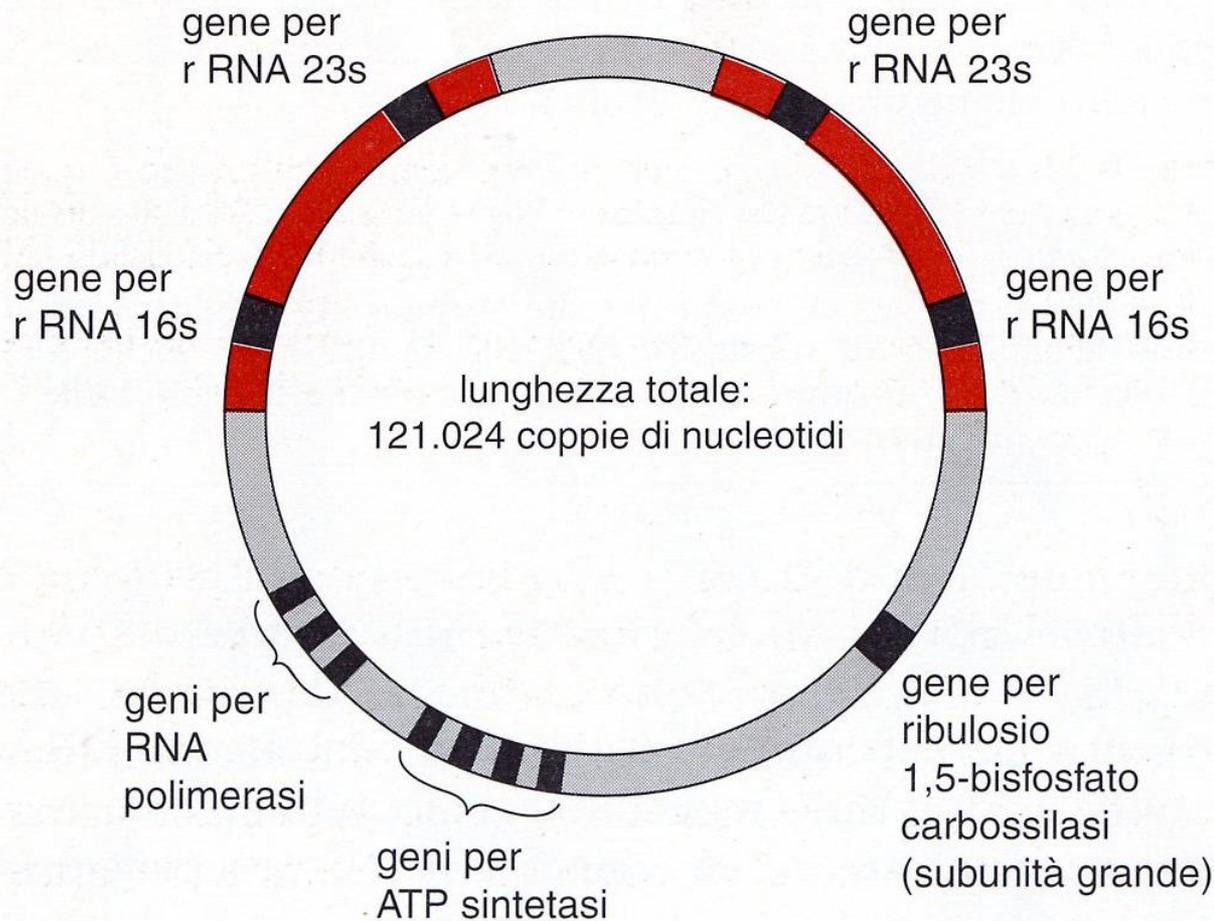
- struttura circolare
- mancano sequenze ripetitive

Affinità "**eucariotica**":

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



PLASTOMA

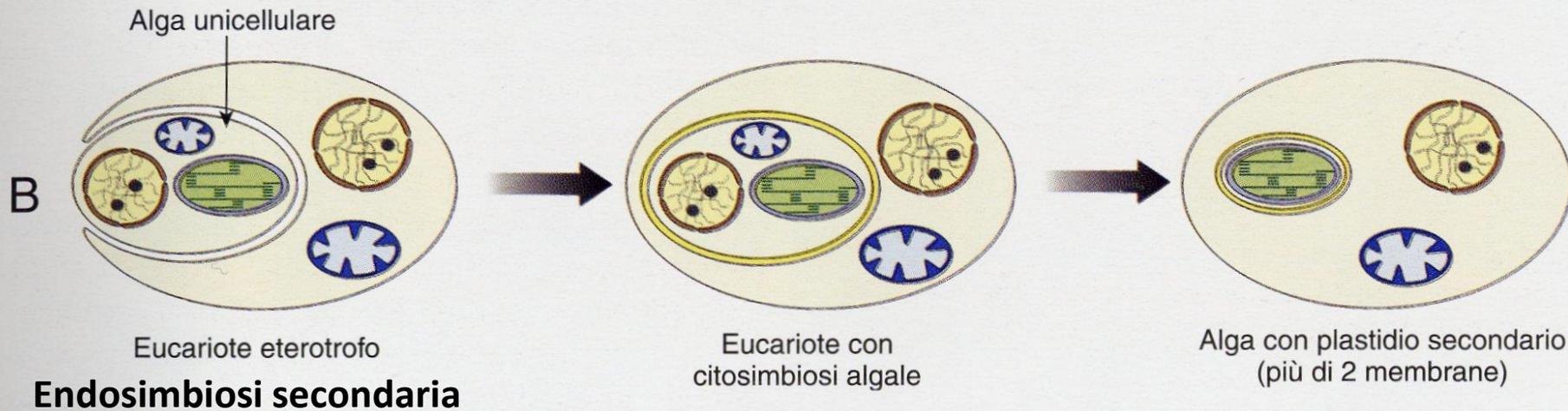
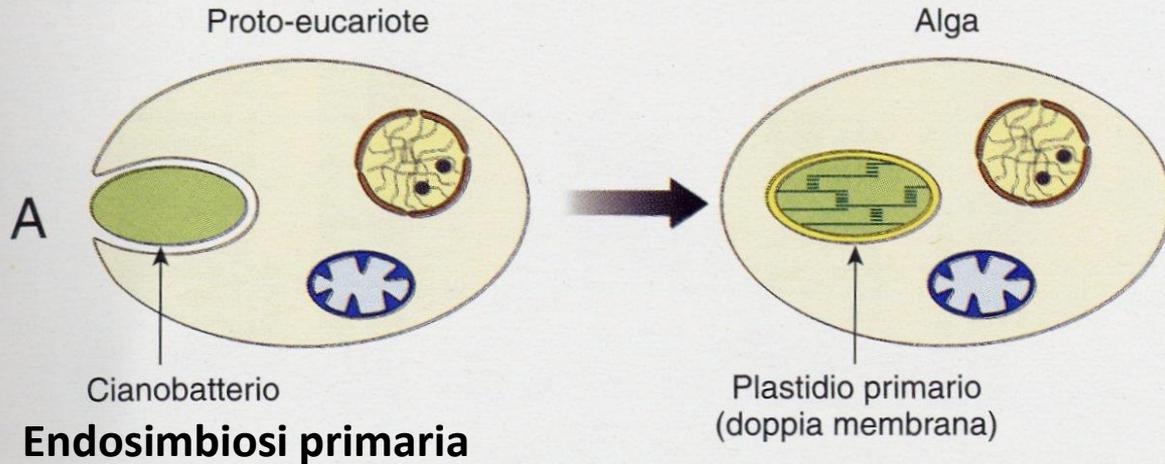


Rappresentazione schematica del DNA dei cloroplasti di un'epatica (una briofita). Il DNA dei cloroplasti delle angiosperme è organizzato nello stesso modo.

Nello schema sono messi in evidenza alcuni geni. Altri geni (per esempio quelli per i vari t-RNA) sono sparsi in molte zone della molecola di DNA. Caratteristica per il DNA dei cloroplasti è una zona contenente i geni per l'RNA ribosomiale (16s e 23s) che è presente in doppia copia. Questa zona è indicata in rosso. Nelle due copie i geni si susseguono in ordine inverso.

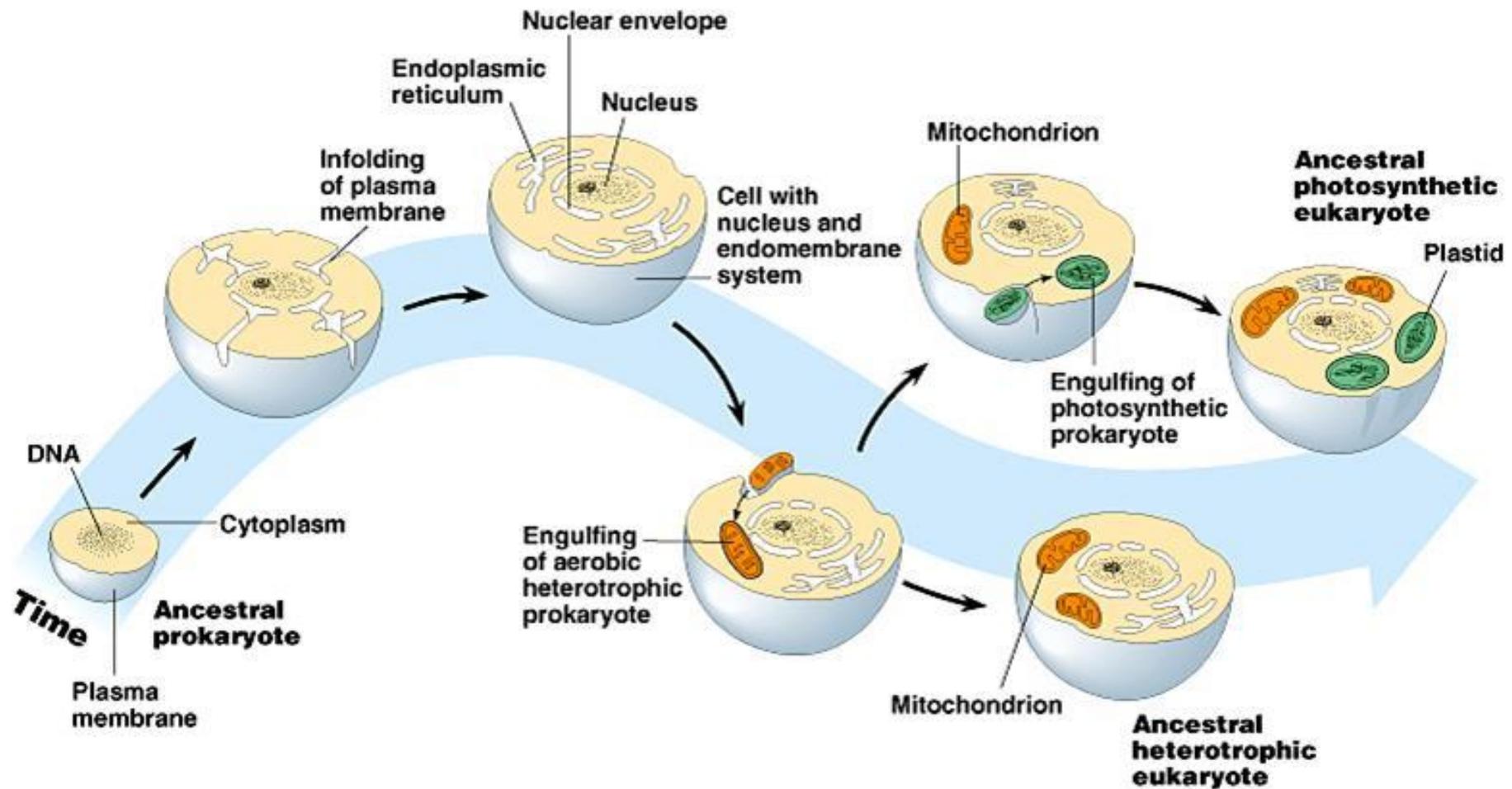
Teoria

endosimbiontica



La cellula ospitante doveva possedere le seguenti caratteristiche “eucitarie”:

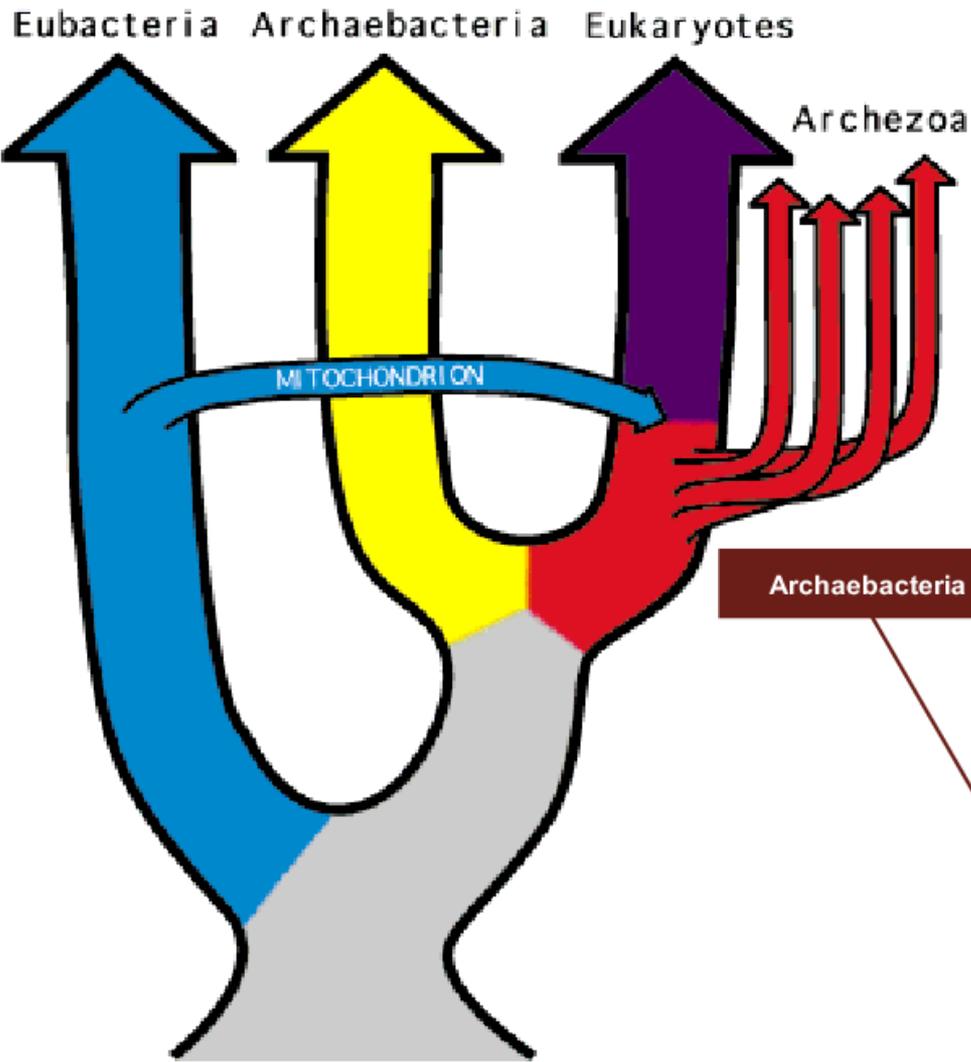
- Sistemi di endomembrane con involucro nucleare;
- Cromosomi lineari;
- Citoscheletro e motomolecole per mitosi e meiosi;
- Motilità ameboide;
- Capacità di fagocitosi.



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

Esistono attualmente organismi unicellulari privi di mitocondri?

- 1) Chi li ha persi di recente (carattere "derivato"): ciliati di ambiente anaerobi (e.g. in rumine di erbivori).
- 2) Chi non li ha mai posseduti: Archeozoa, simile a protoeucariote.



Archeobacteria

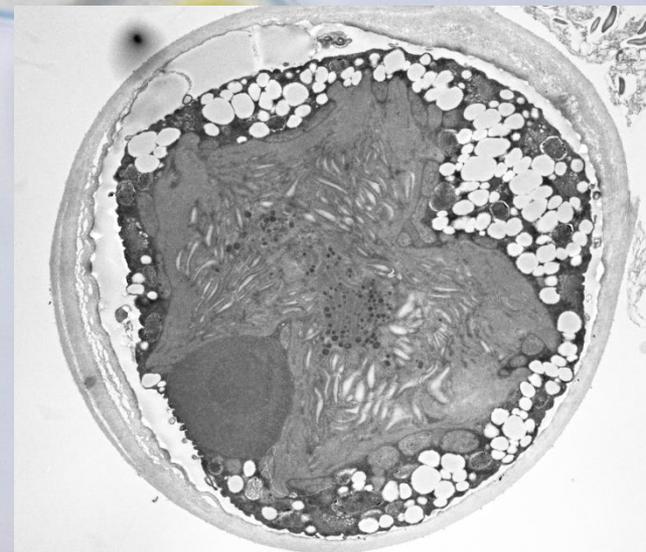
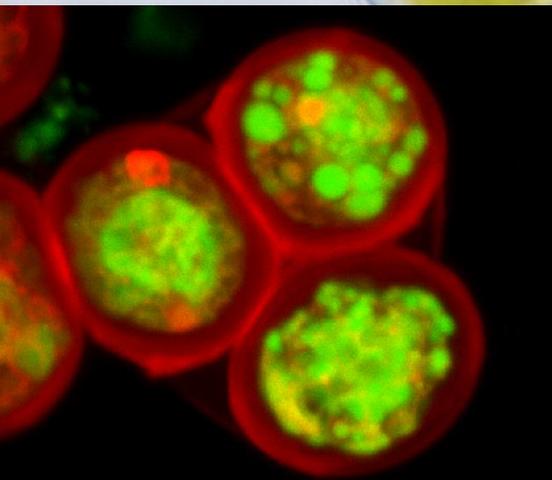
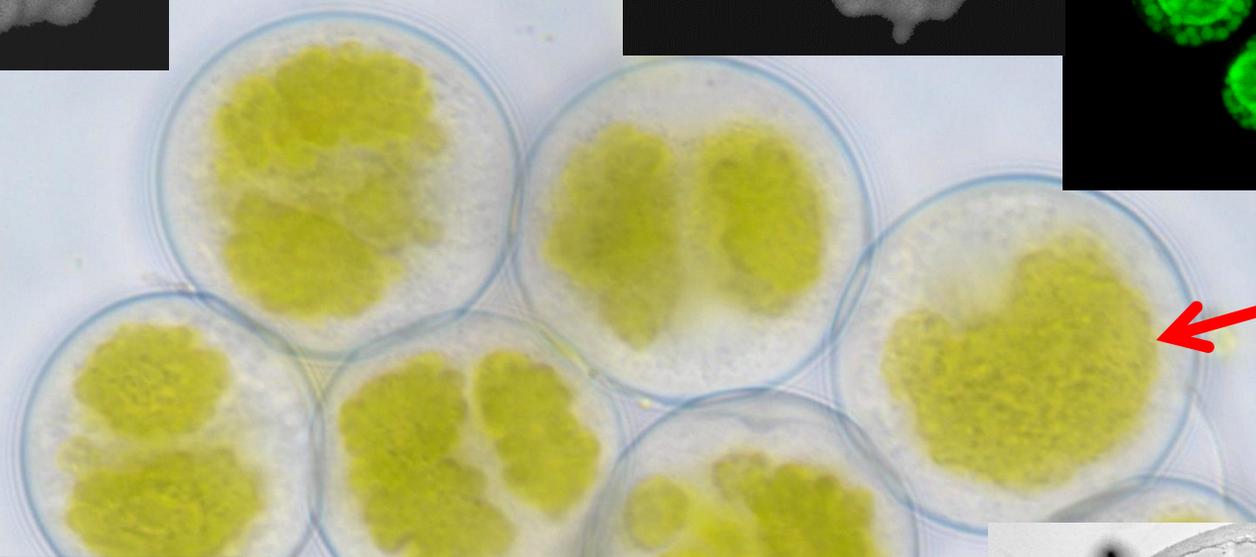
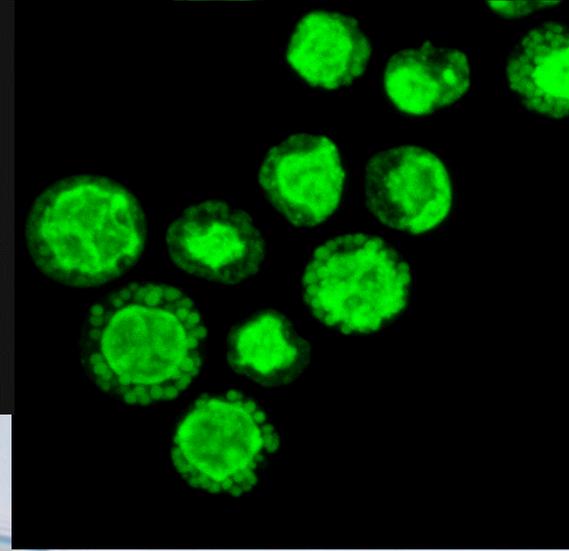
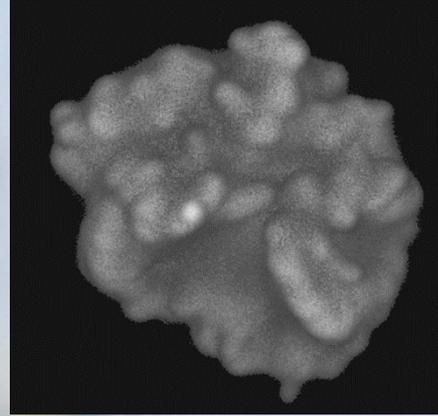
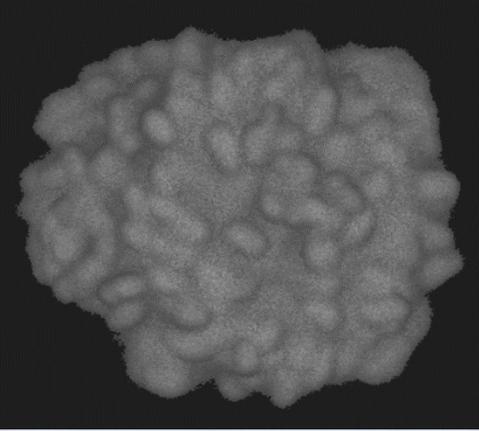
Eukarya

Eubacteria

Endosymbiotic origin of the mitochondrion

ARCHEZOA
Parabasalia
Metamonada
Archamoebae
Microsporidia



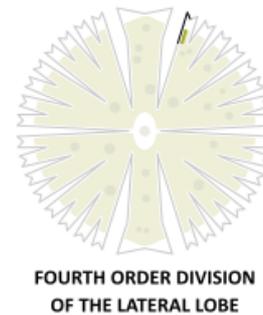
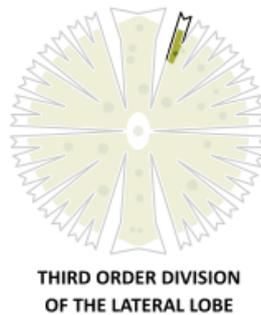
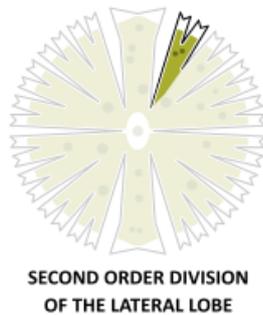
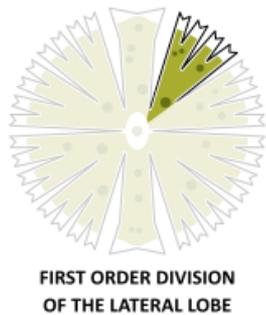
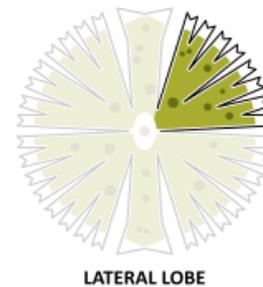
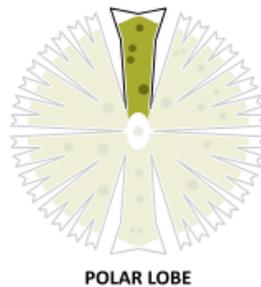
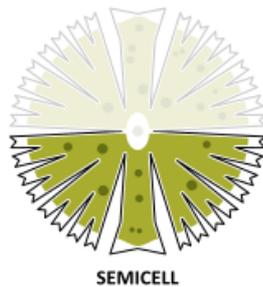
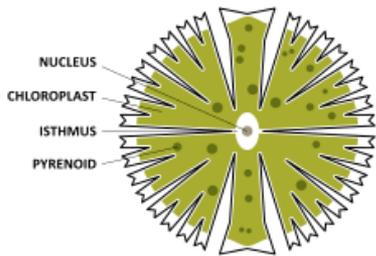


COLOROPLASTI

In **alghe** i cloroplasti si differenziano molto per morfologia ed ultrastruttura.

In alghe unicellulari:

frequente un unico cloroplasto di forma molto variabile spesso spettacolare.



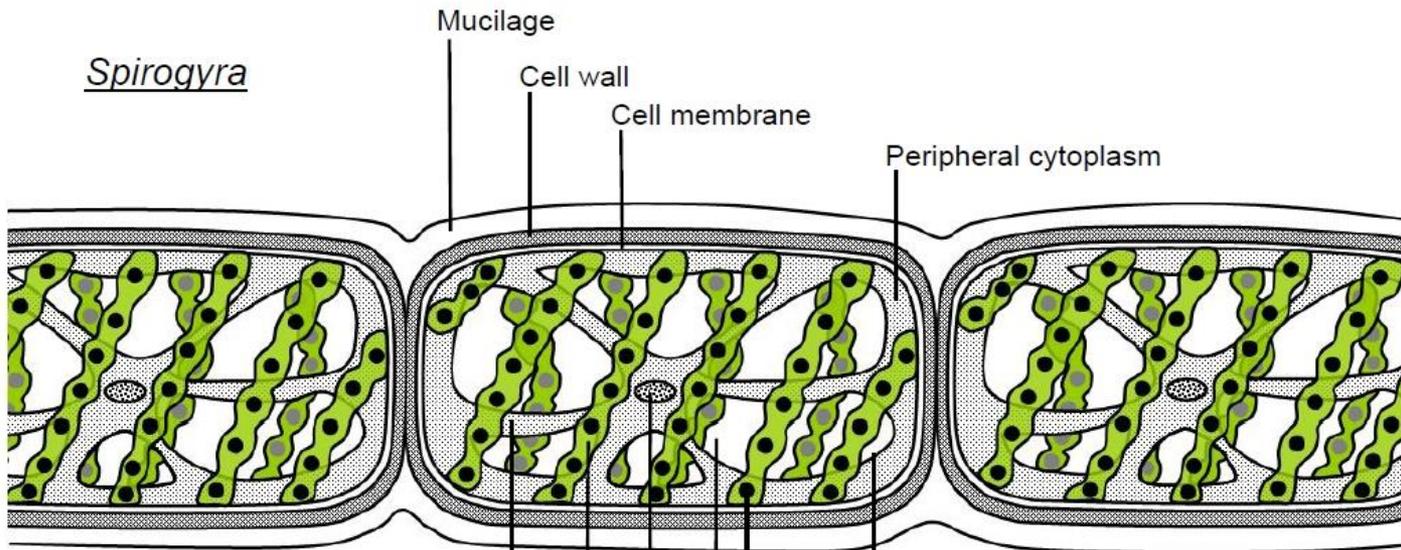
***Micrasteria* sp.**
(Charophyceae):

2 semi-cellule,
istmo, 1
cloroplasto

Spirogyra

***Spirogyra* sp.**

(Charophyceae):



Strand of cytoplasm crossing vacuole

Peripheral chloroplast in peripheral cytoplasm

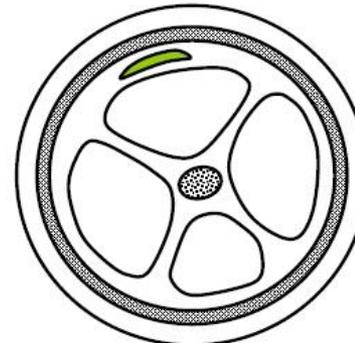
Nucleus suspended in centre of cell

Pyrenoid

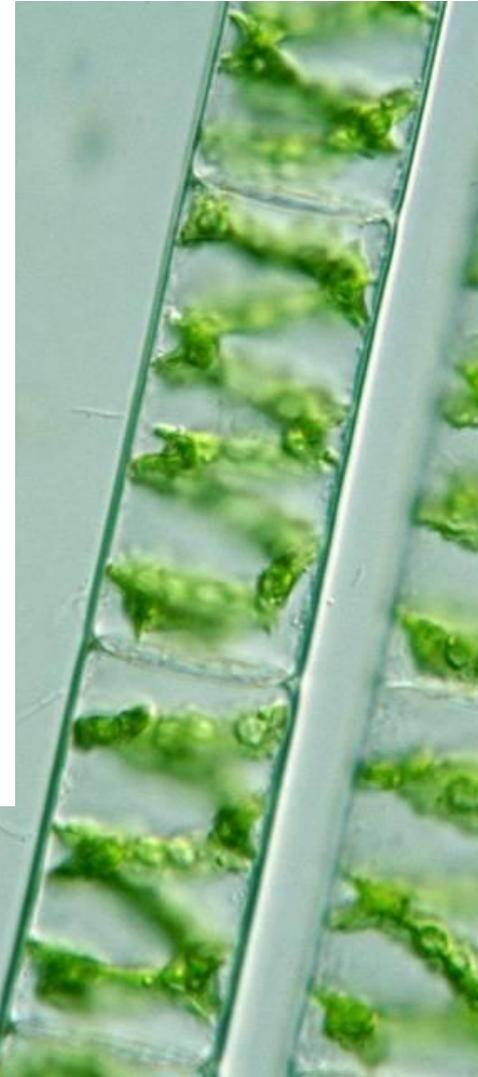
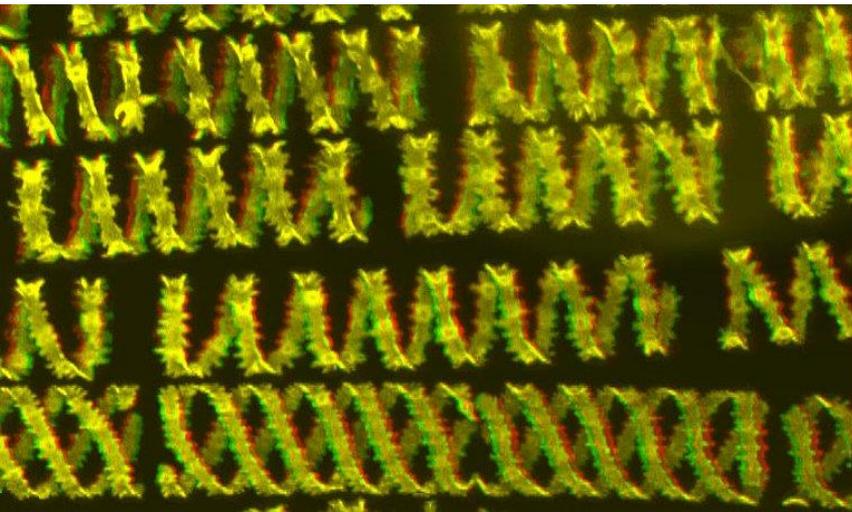
Single large vacuole

Tonoplast

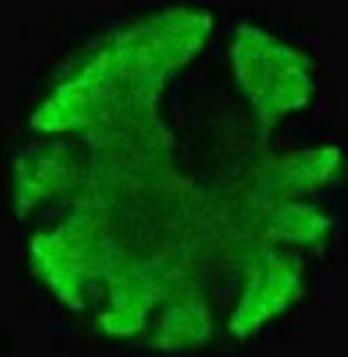
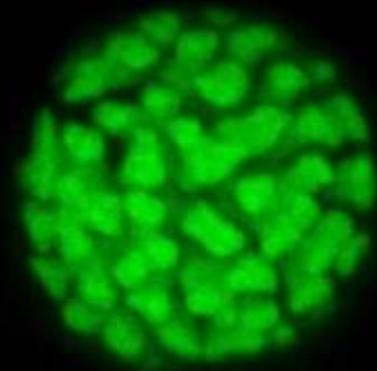
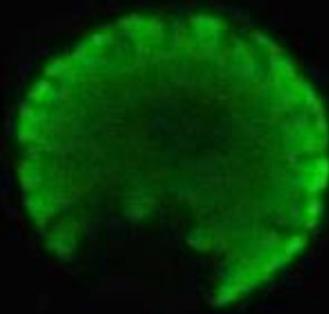
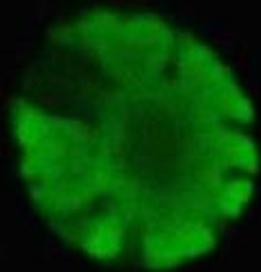
100 μ m



T.S. Filament



Cloroplasti di *Asterochloris* sp. (Trebouxiophyceae)



5



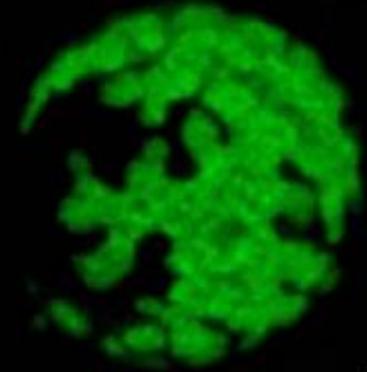
6



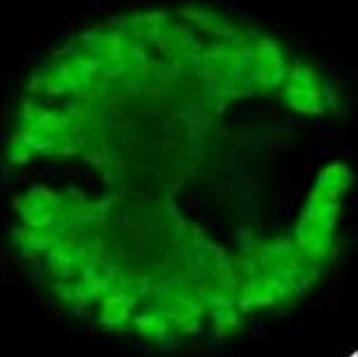
7



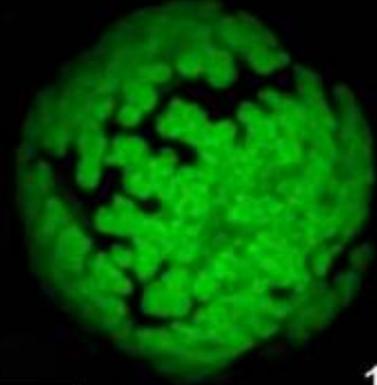
8



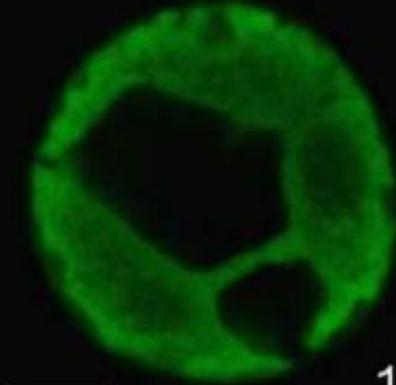
9



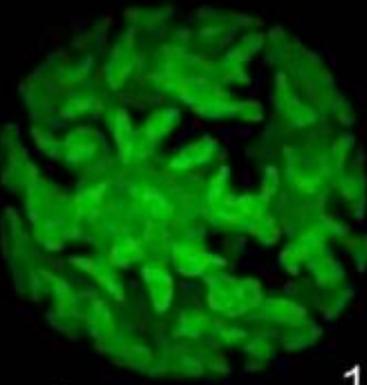
10



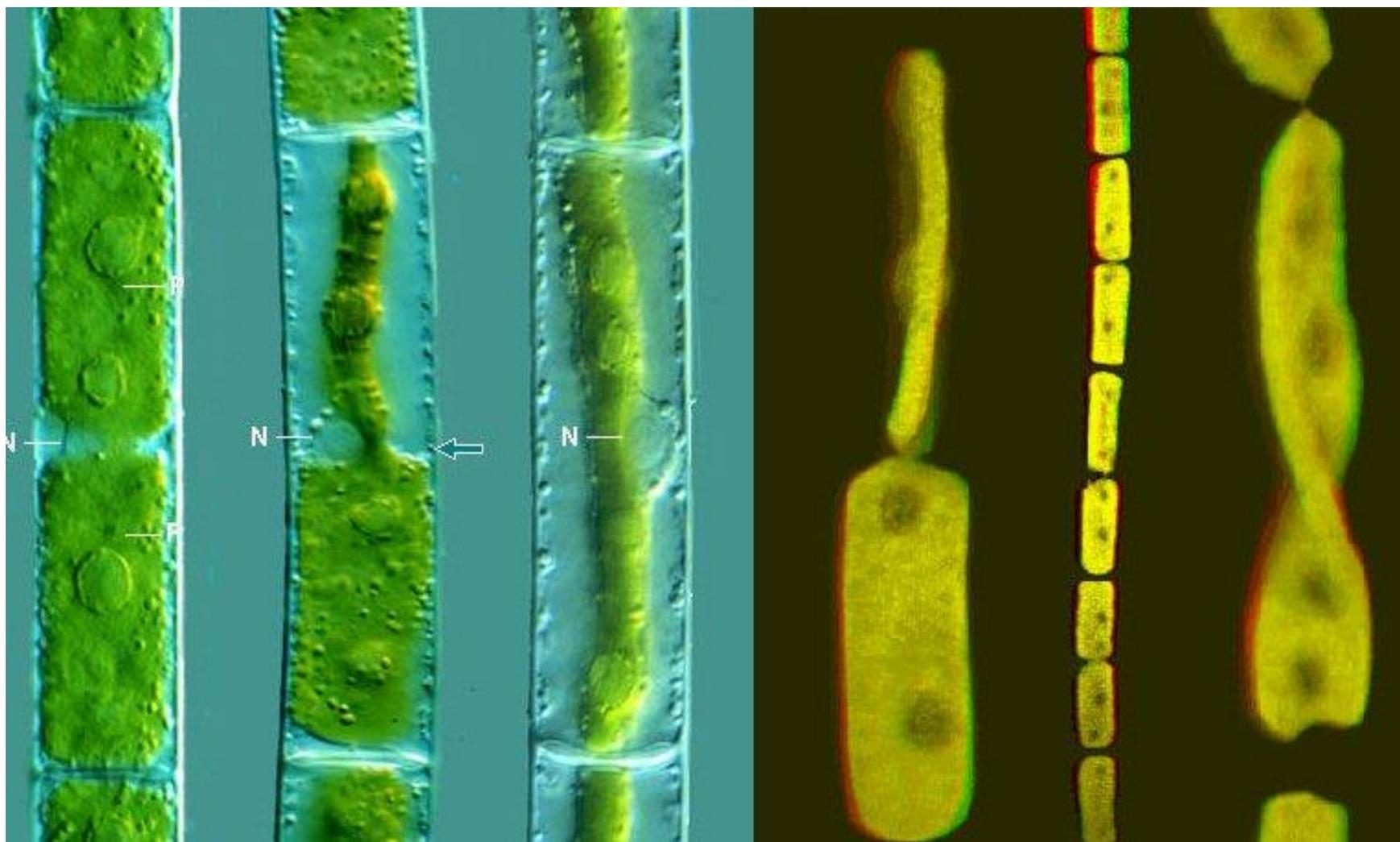
11



12



13

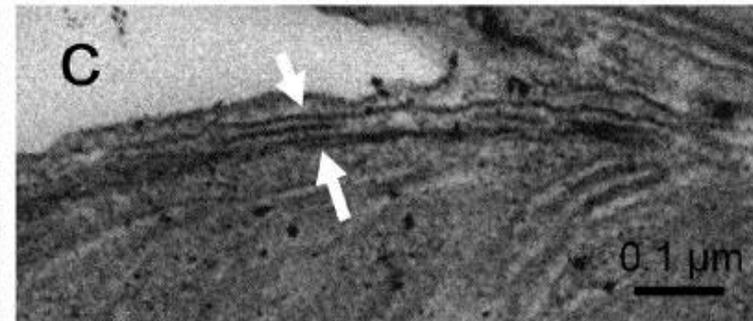
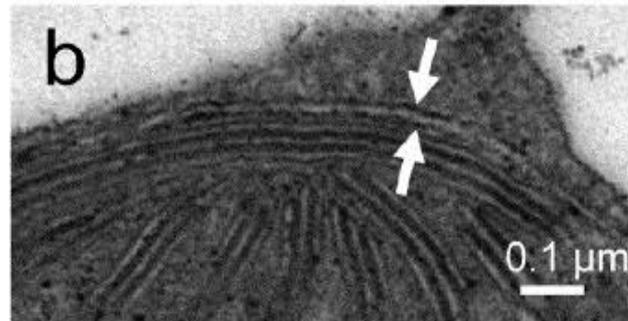
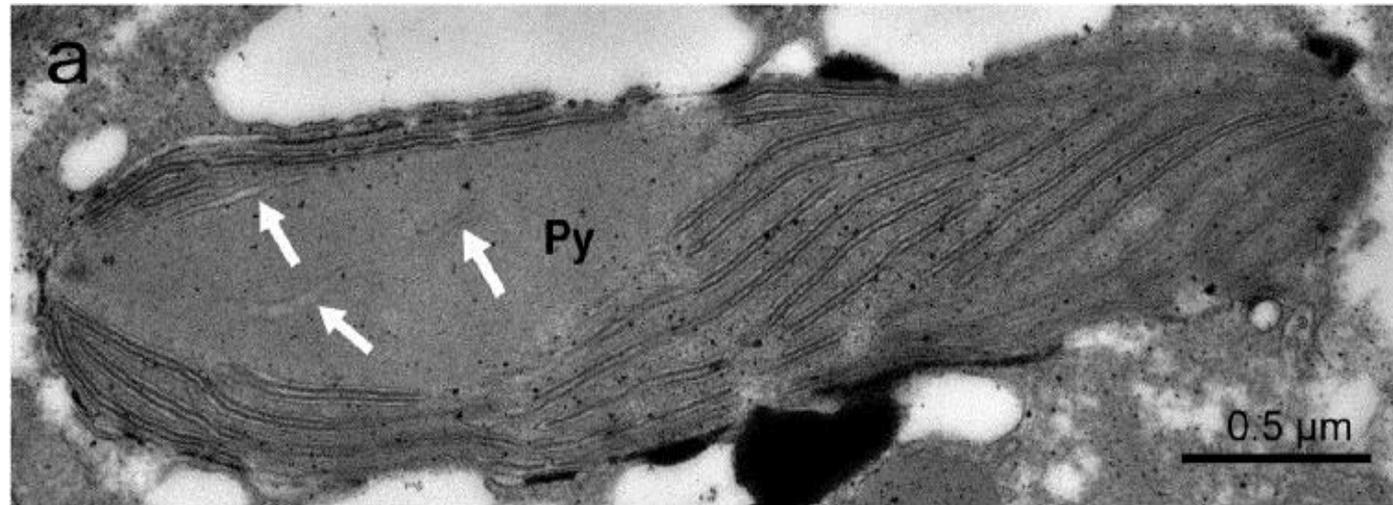


Mougeotia sp.

....non sempre verde! altri colori per la prevalenza di altri “pigmenti fotosintetici accessori” coinvolti nel processo fotosintetico e che suddividono le alghe in gruppi tassonomici empirici: alghe rosse, brune, dorate, ecc.

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.**
(Trebouxiophyceae)

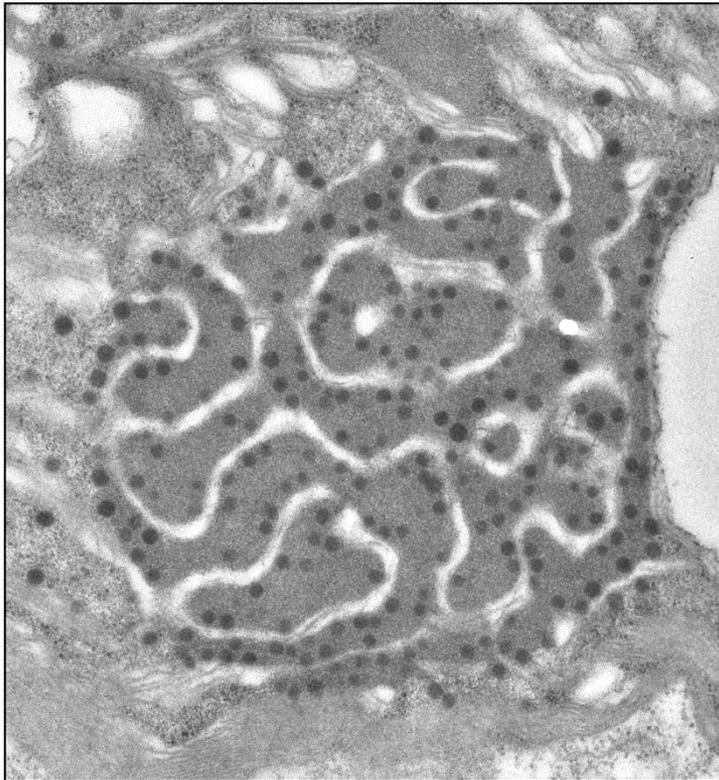


PIRENOIDE



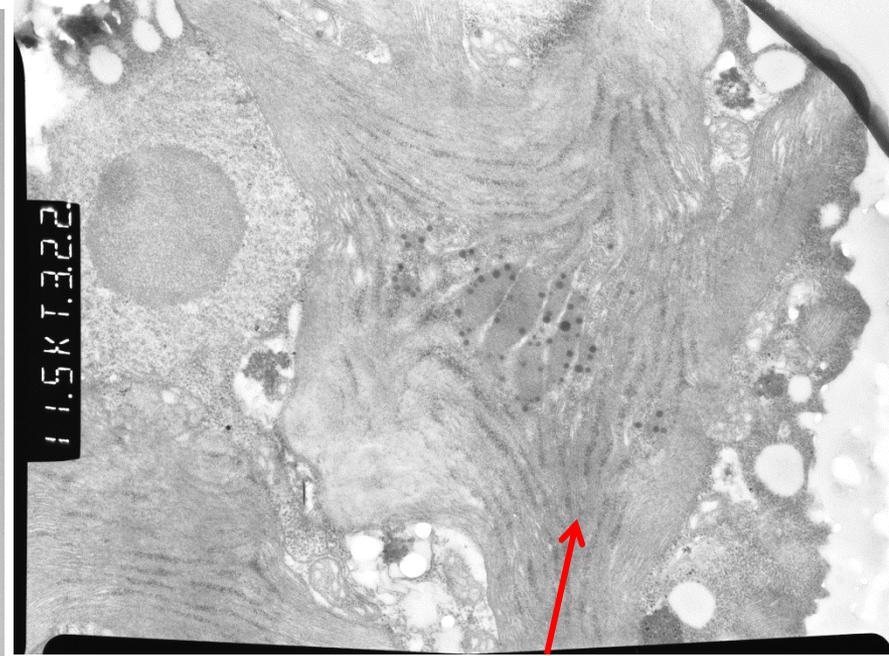
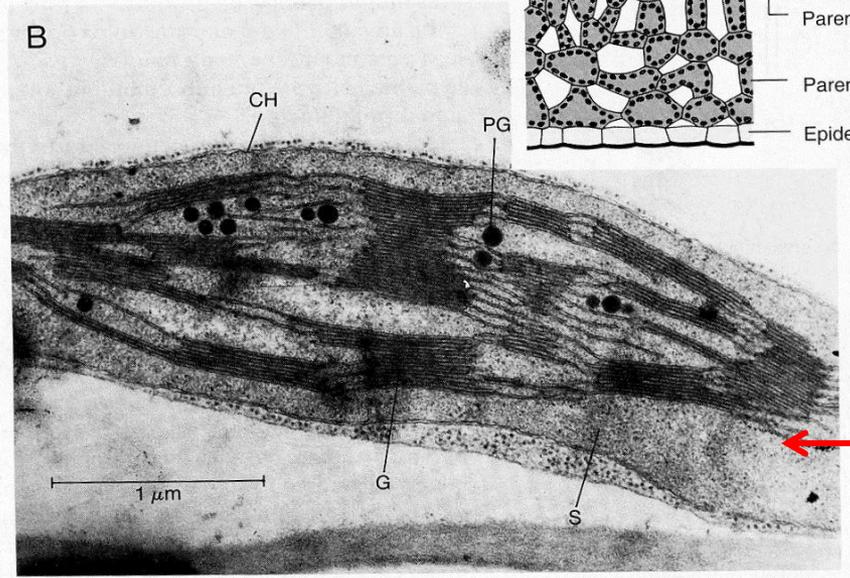
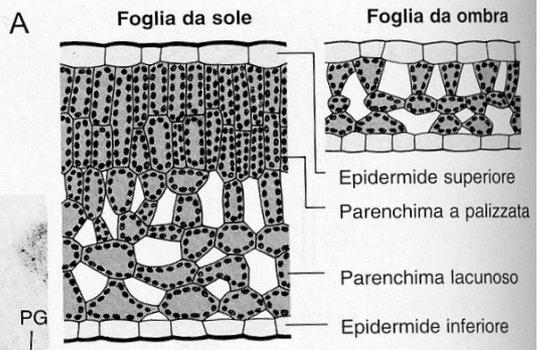
PIRENOIDE: presenti anche in epatiche; associati al meccanismo di concentrazione della CO_2 presso l'aggregato enzimatico della rubisco.

RUBISCO: enzima che lega CO_2 ad un pentoso (zucchero 5 atomi di C), primo step dell'**organizzazione** della CO_2 .

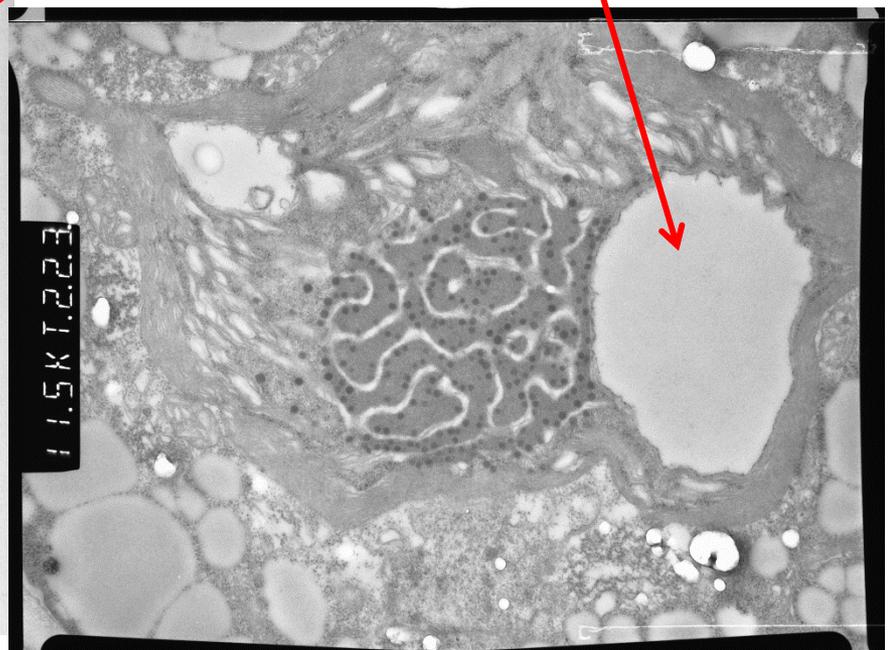
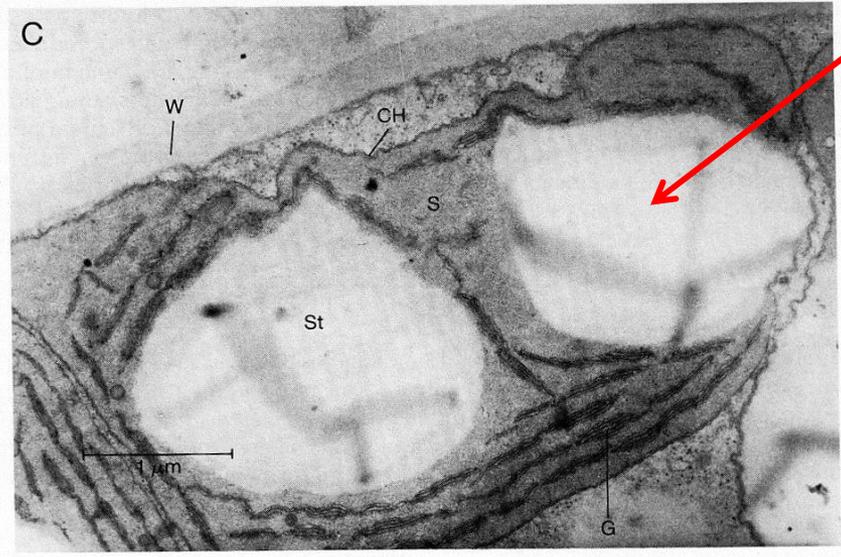


Pirenoide coinvolto nella formazione di amido??? → NO!

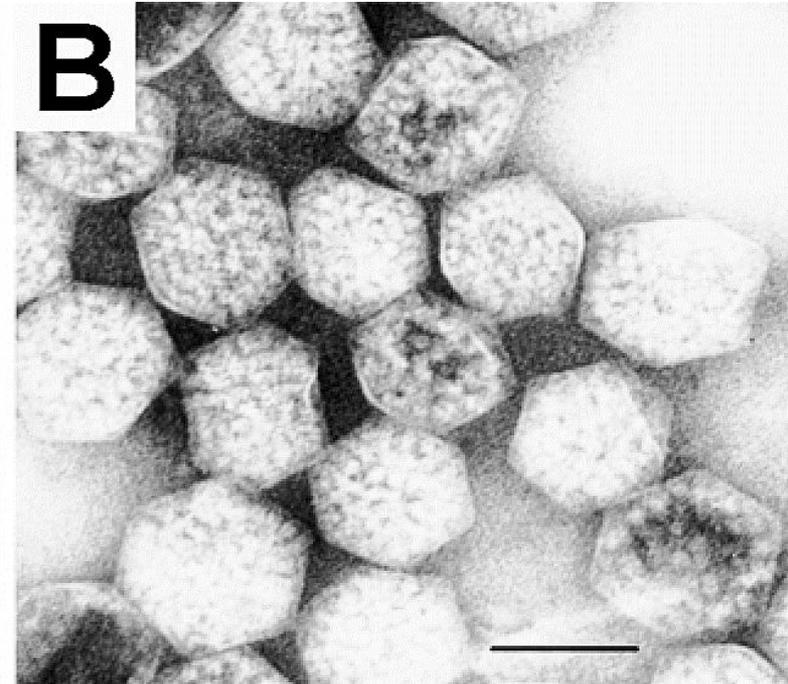
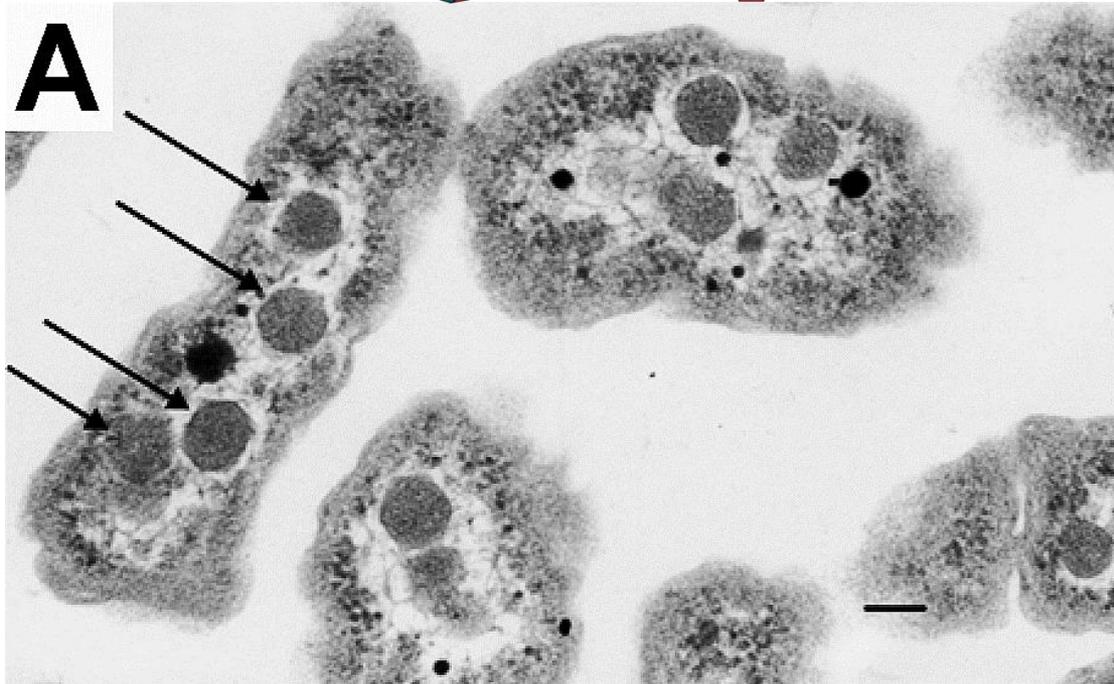
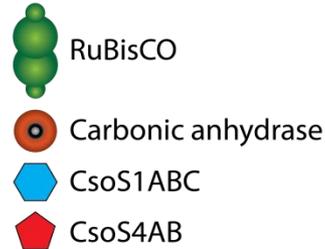
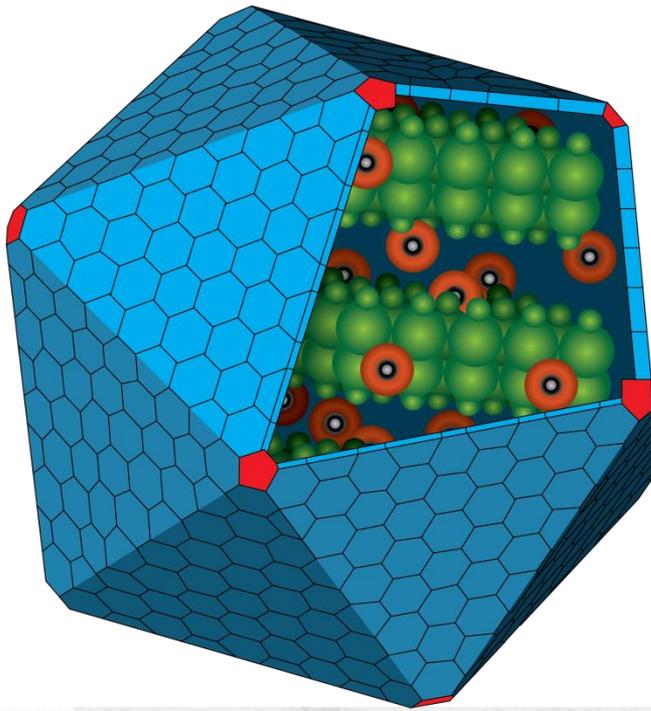
- mutanti privi di pirenoidi in cui si ha la formazione di depositi di amido,
- mutanti che hanno pirenoidi *non* (!!!) associati alla formazione di depositi di amido.



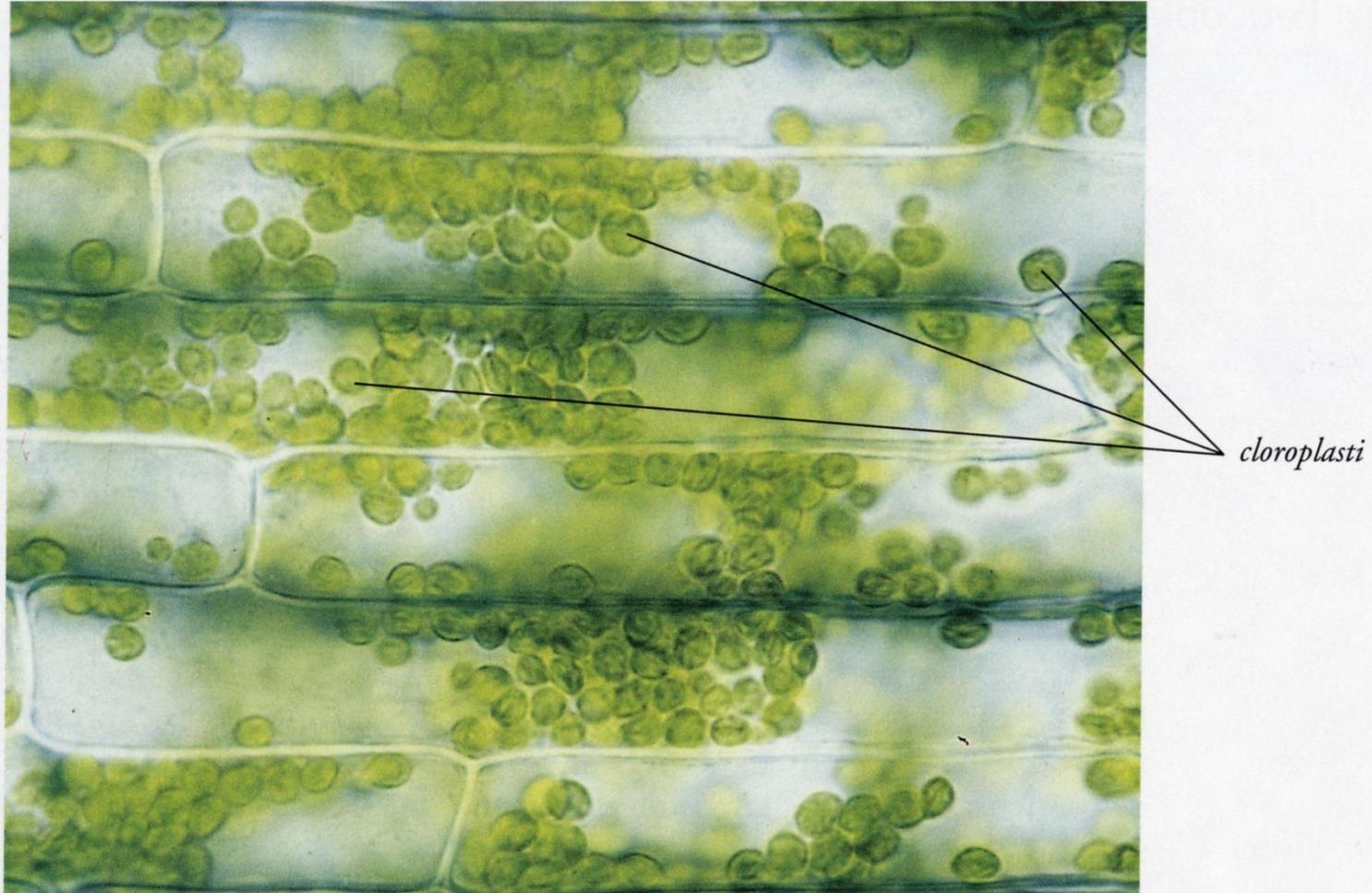
Membrane fotosintetiche
Granulo di amido primario



CARBOSSISOMI in cianobatteri! No pirenoide! (bacterial microcompartment BMC) Compartimenti fatti da proteine in cui la CO_2 viene concentrata e messa a disposizione della rubisco.



In Characeae (alghe verdi) e nei taxa derivati, comprese tutte le piante superiori, i cloroplasti sono ... una noia!



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

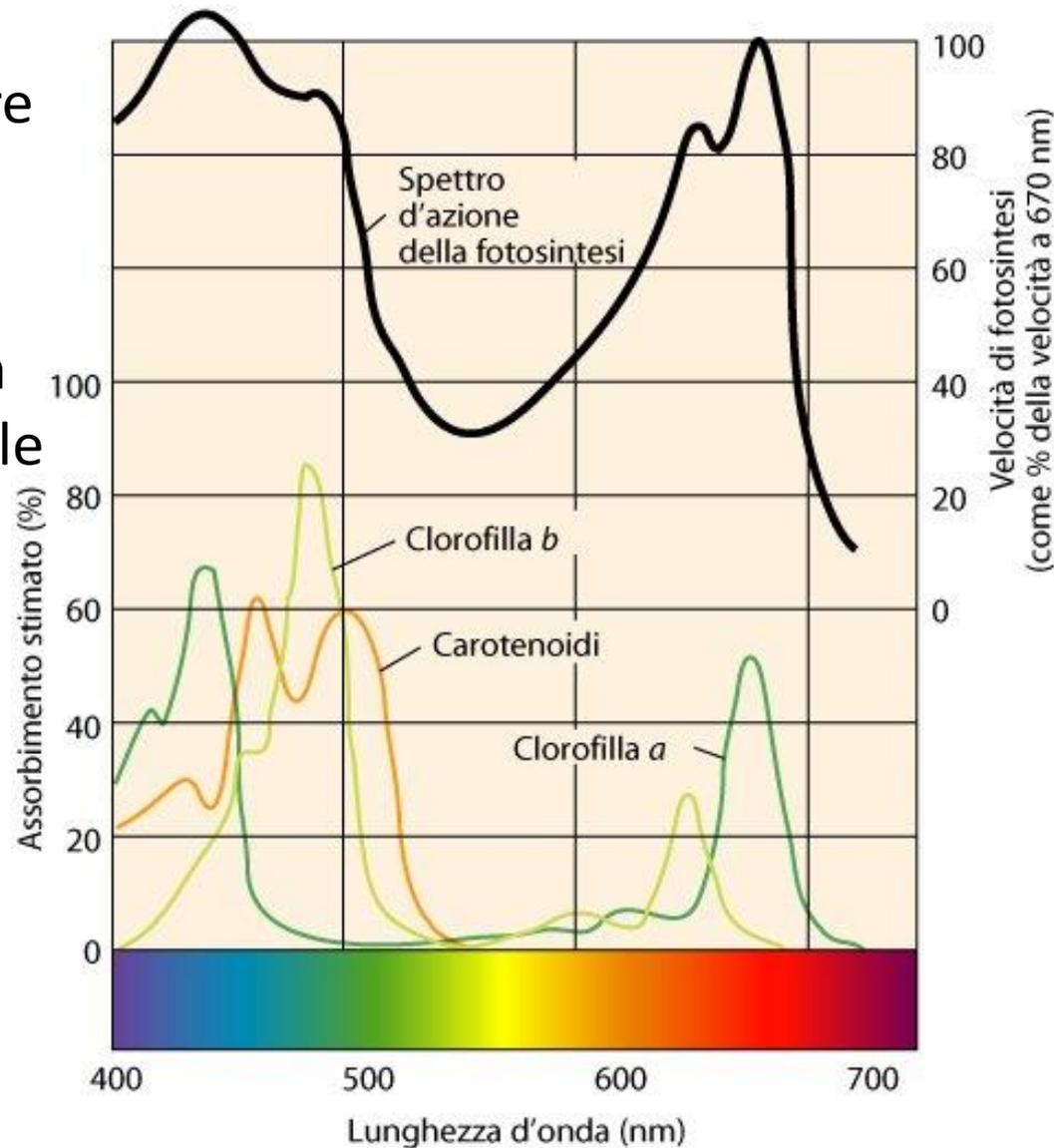
Pigmenti dei chloroplasti:

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

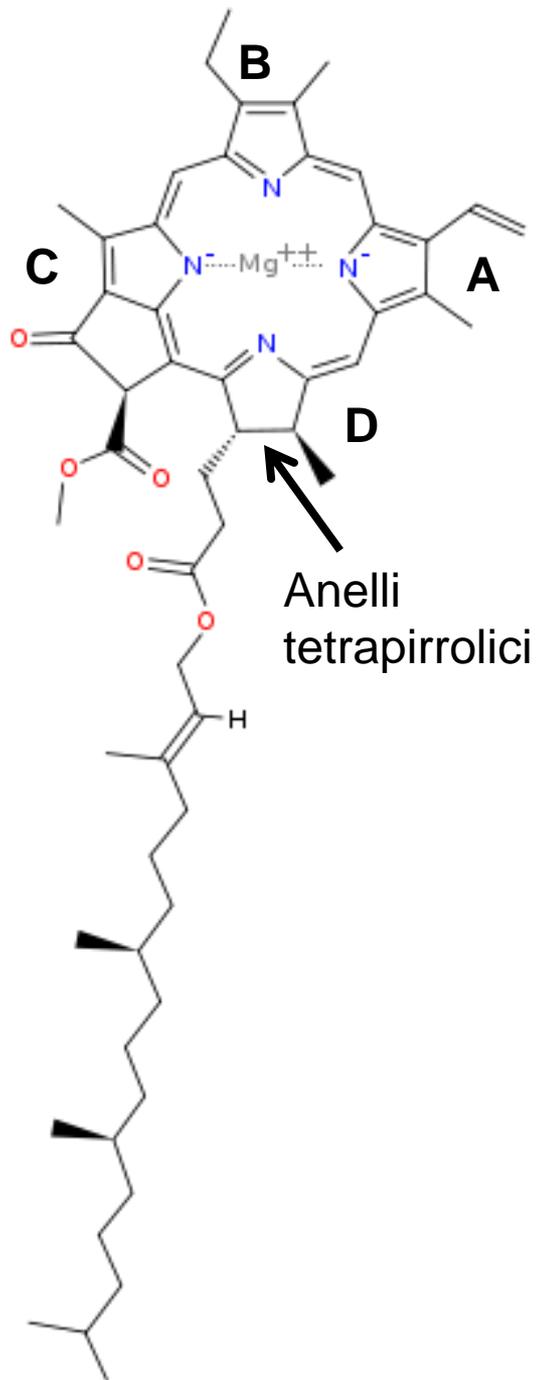
clorofilla b: dalle alghe verdi in
su, associata a clorofilla a, simile
nella struttura molecolare, ma
diverse proprietà.

carotenoidi, beta carotene
(sempre presente)

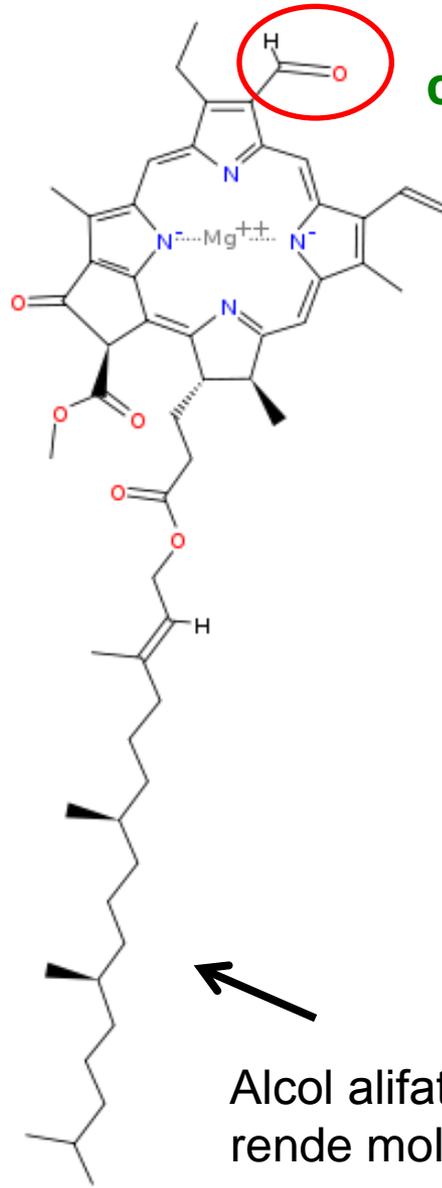
Xantofille: f(x) assorbimento
dell'energia luminosa &
“fotoprotezione”.



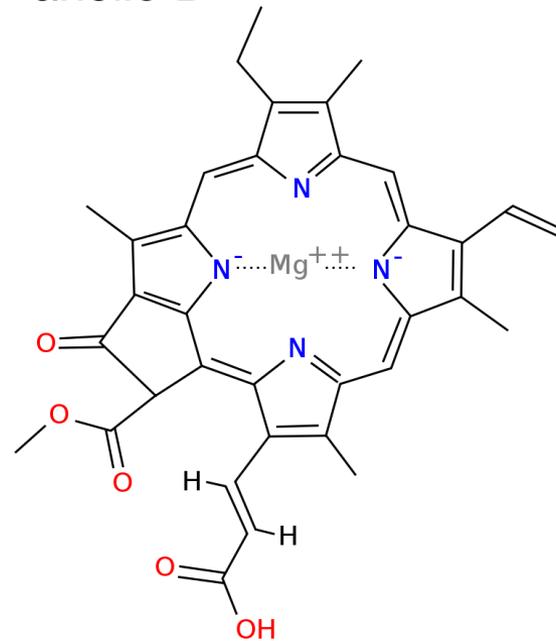
clorofilla a: anello porfirinico, catena idrofoba per ancoraggio ai tilacoidi



clorofilla b: gruppo aldeidico

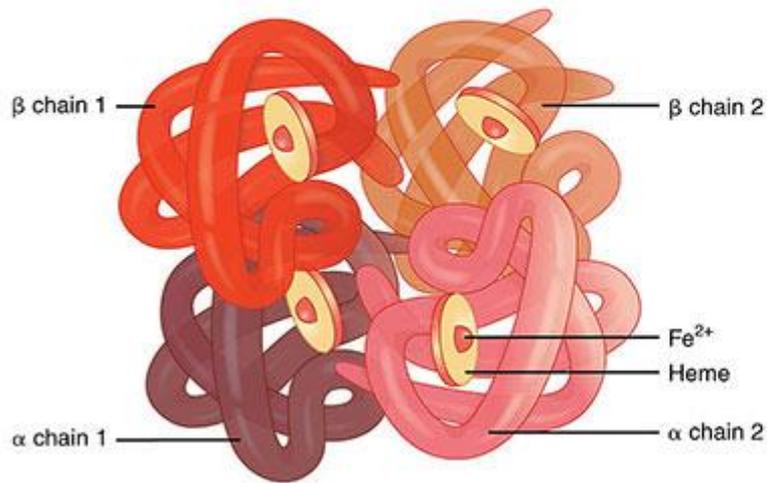


clorofilla c: mancanza fitolo anello D

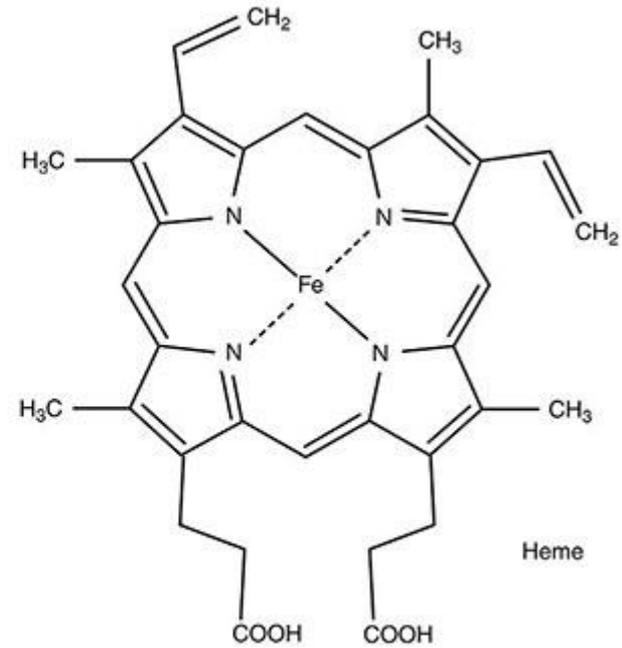


Alcol alifatico (fitolo) estefrificato all'anello D -> rende molecola idrofobica

.... analogia con emoglobina negli animali!



(a)

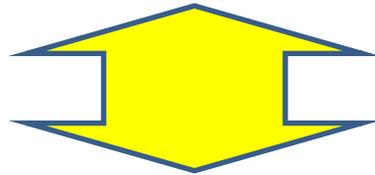


(b)

I cloroplasti sono la centrale chimica della cellula vegetale.

I test 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, nei cloroplasti !!!

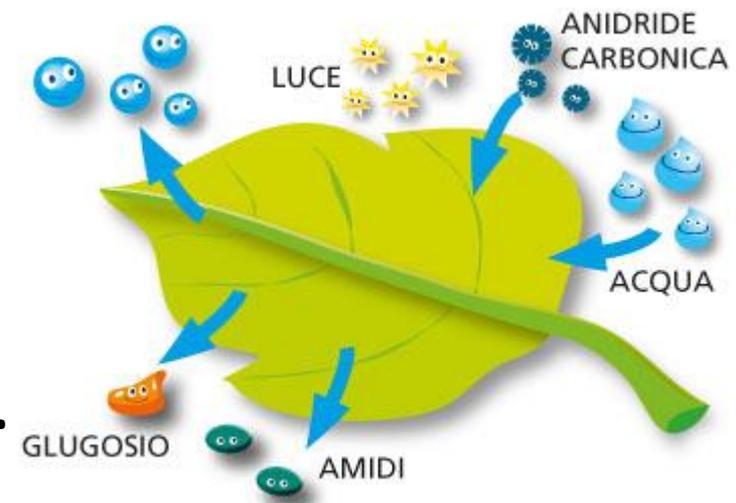


elevate concentrazioni di ATP e potere riducente a livello stromatico.

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:

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

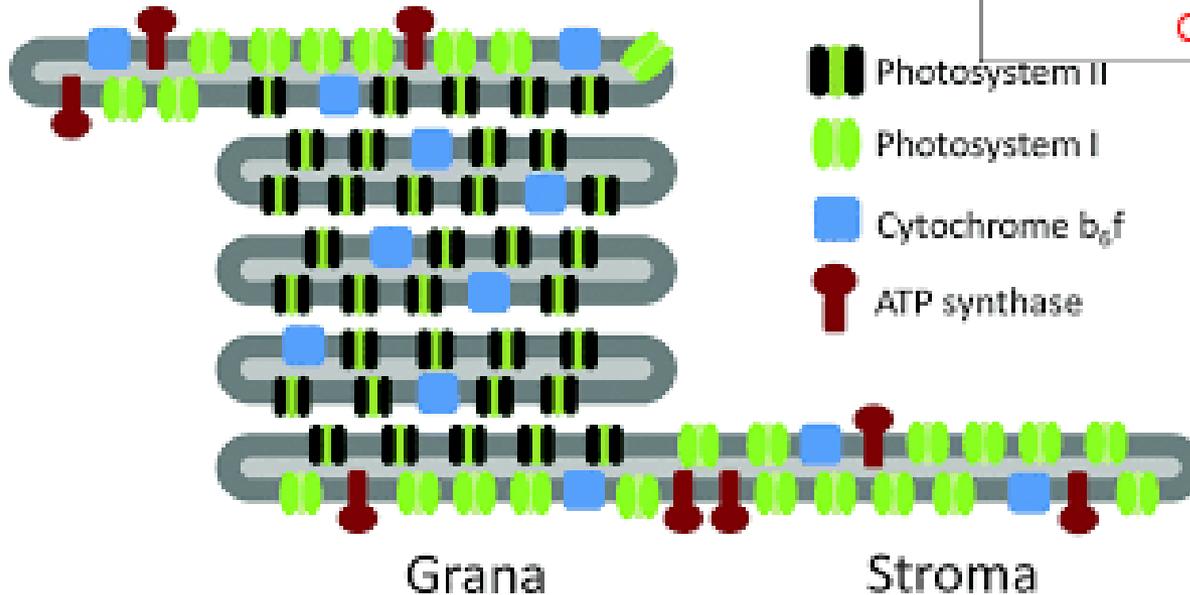
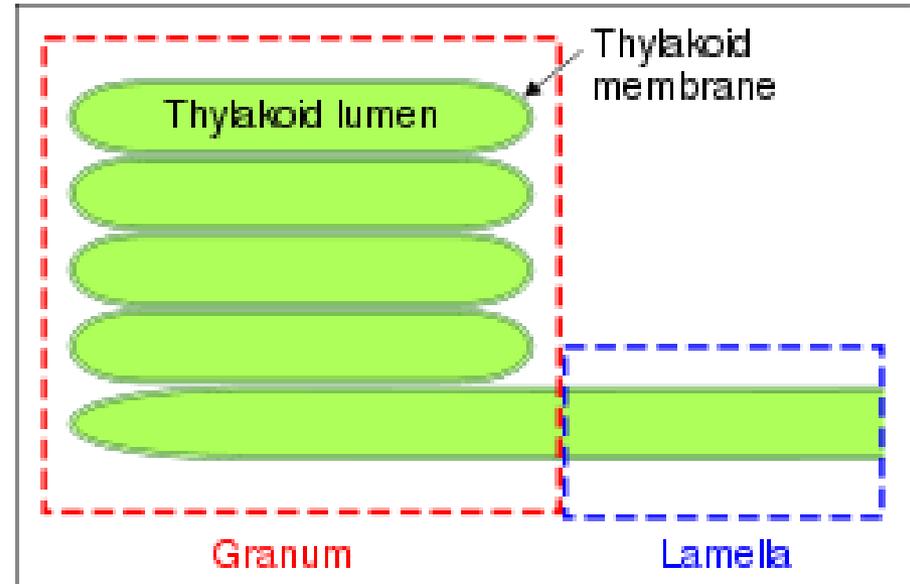
RUBISCO: Ribulosio 1,5 bifosfato carbossilasi-ossigenasi, enzima chiave della fissazione di CO₂ su substrato organico (pentoso = zucchero a 5 atomi di C attivato da due gruppi fosforici).

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

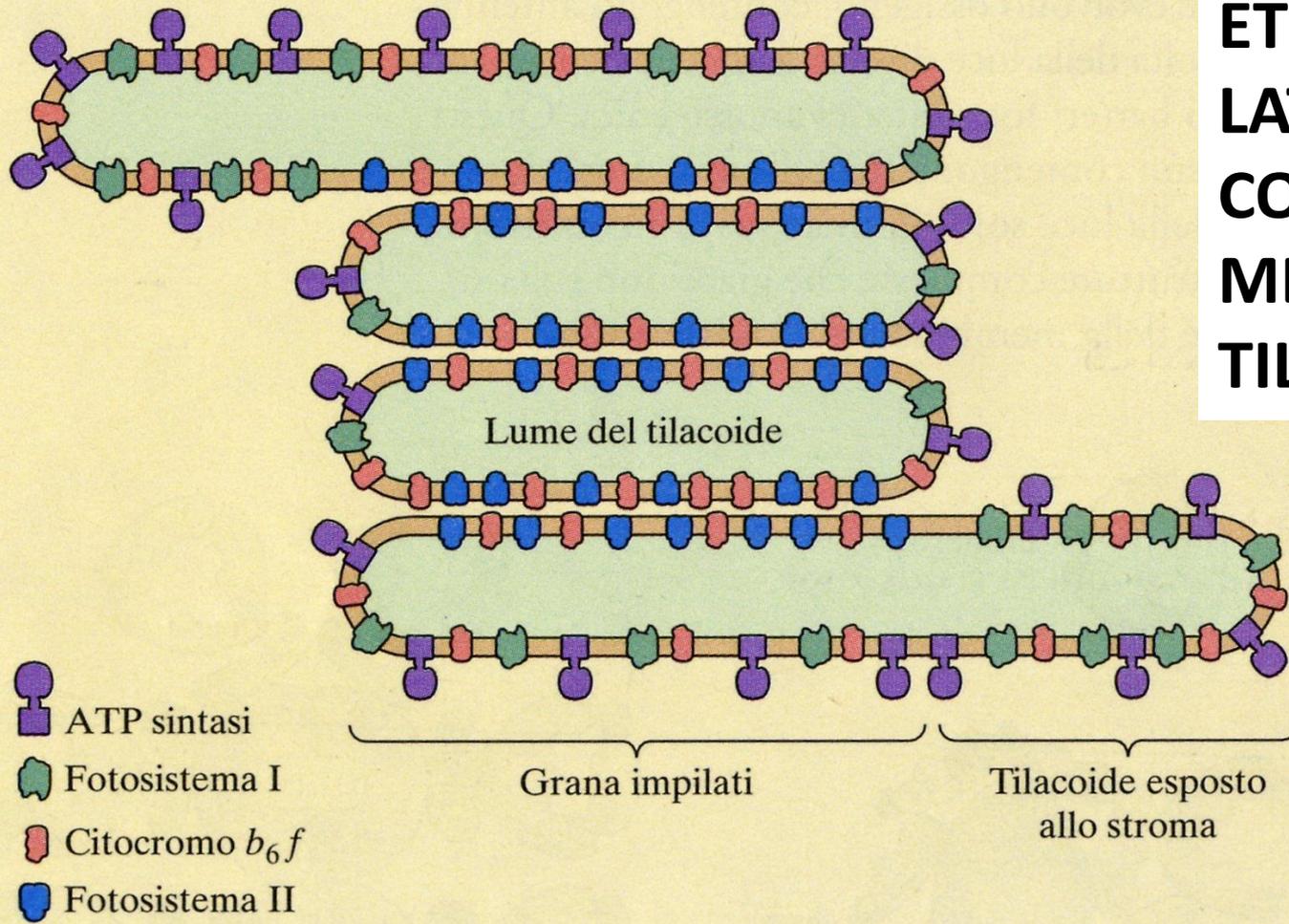
- **Nel lume tilacoidale**: altri enzimi, ... il complesso responsabile della “rottura” della molecola dell’acqua (“fotolisi”).

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

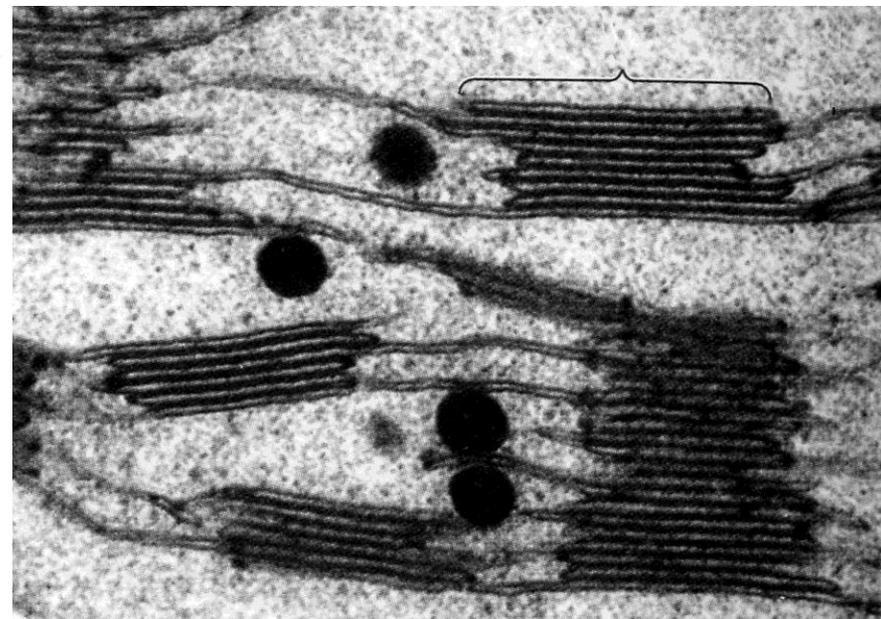
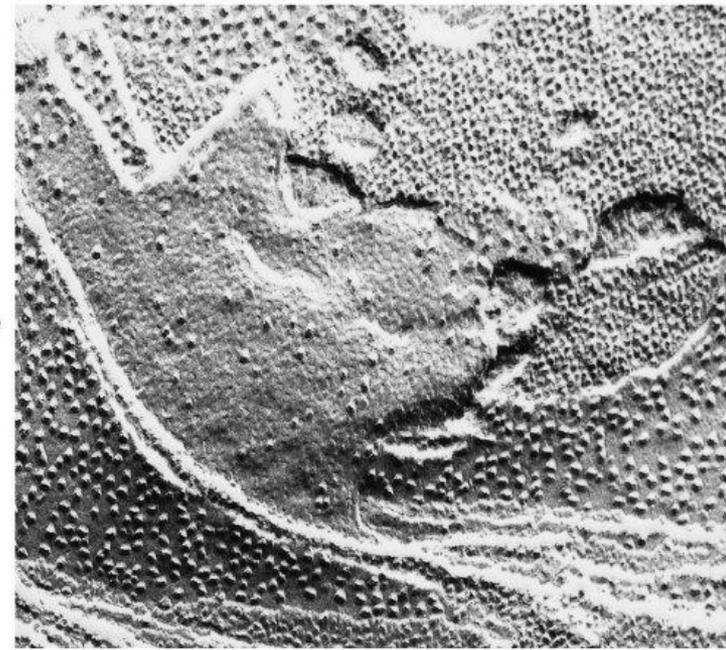
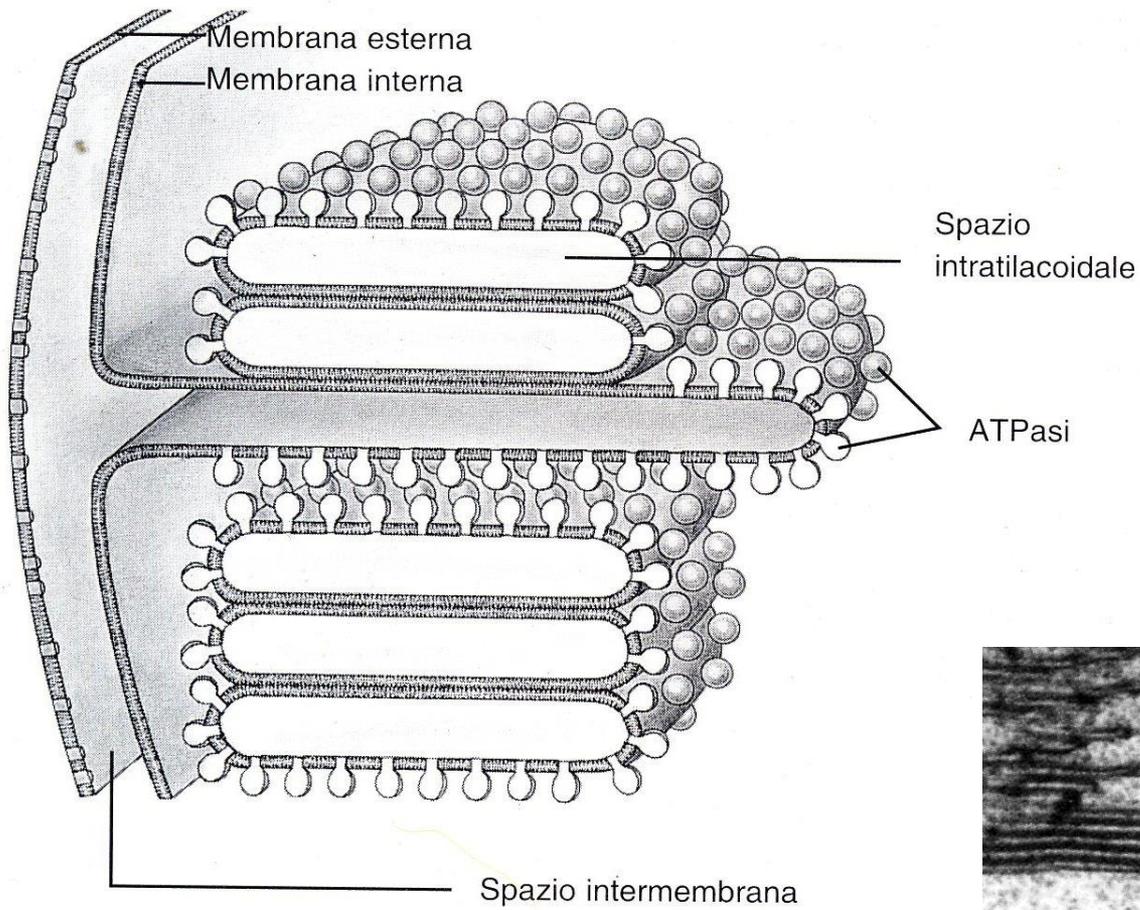
- ✱ pigmenti apolari (liposolubili);
- ✱ complessi enzimatici.



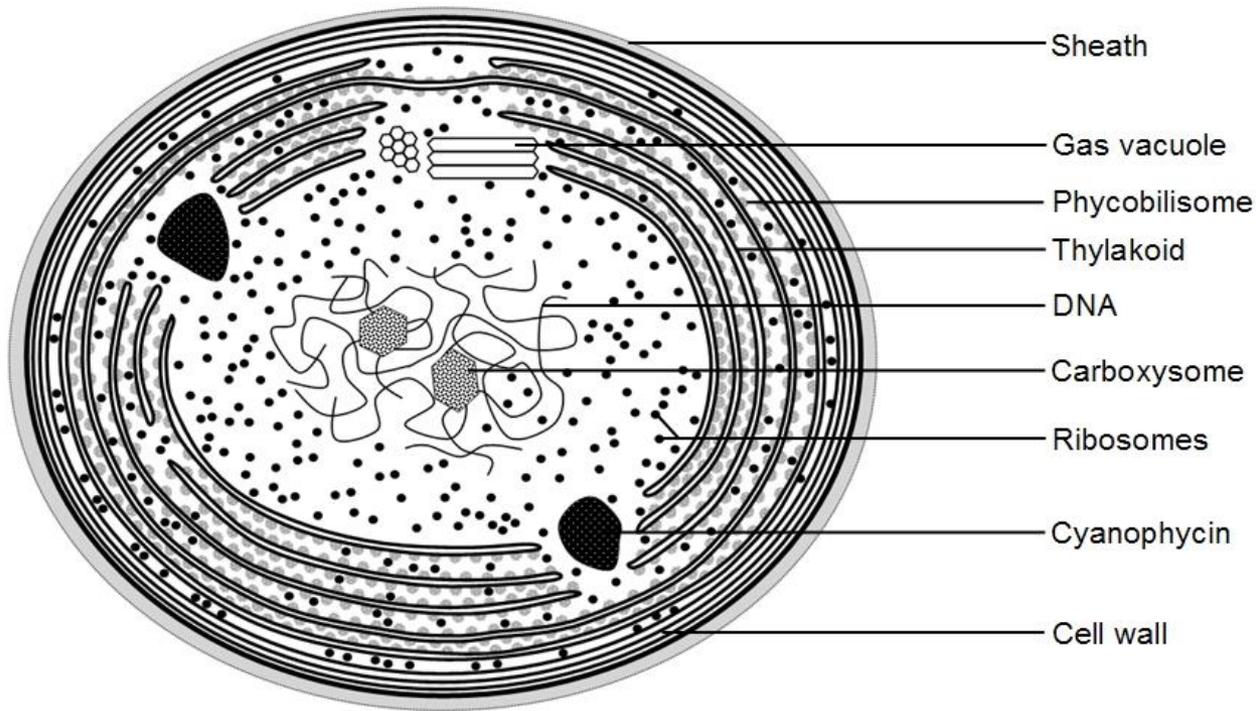
ETEROGENEITA' LATERALE dei COMPLESSI DI MEMBRANA TILACOIDALE



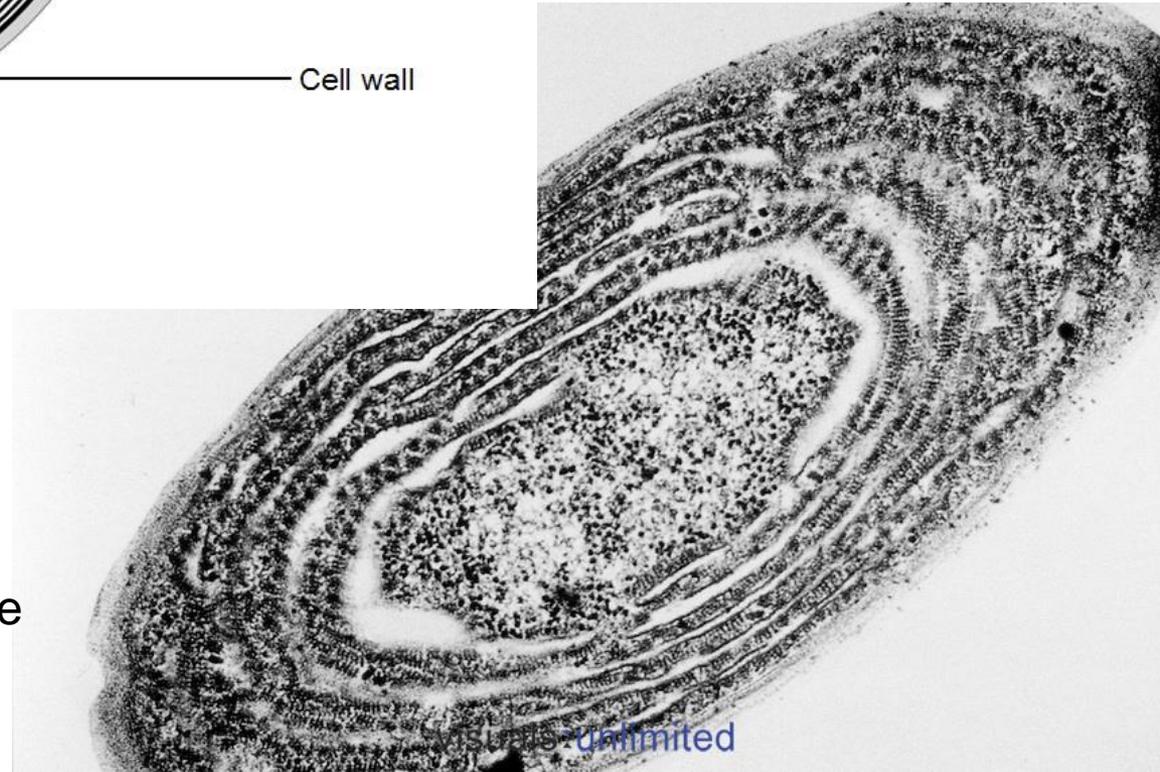
L'eterogeneità laterale dei complessi della membrana del cloroplasto. Il PSII è localizzato soprattutto nelle regioni impilate delle membrane tilacoïdali, mentre il PSI e l'ATPasi sono localizzate quasi esclusivamente nelle membrane non impilate. Il complesso del citocromo b_6f è distribuito equamente attraverso le due regioni. La separazione dei fotosistemi necessita di trasportatori elettronici mobili come il plastoquinone e la plastocianina, che trasportano gli elettroni tra i complessi della membrana separati spazialmente.



Cross-section through a cyanobacterial cell

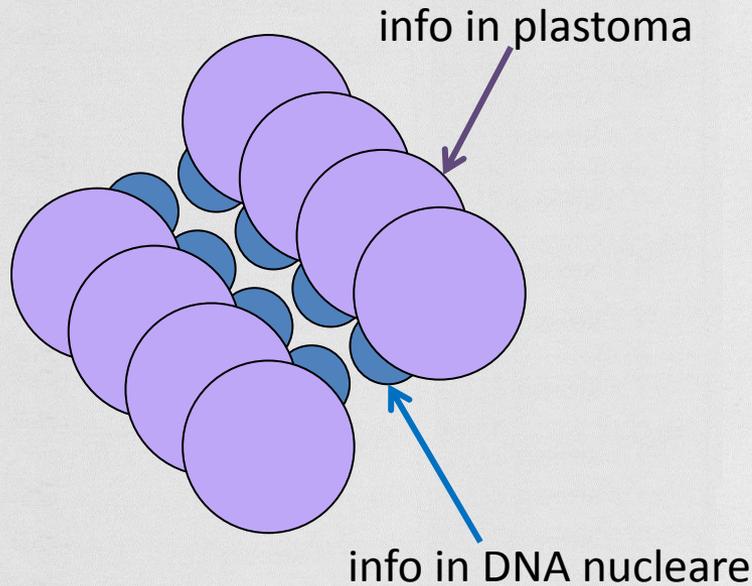


500 nm
0.5 μm

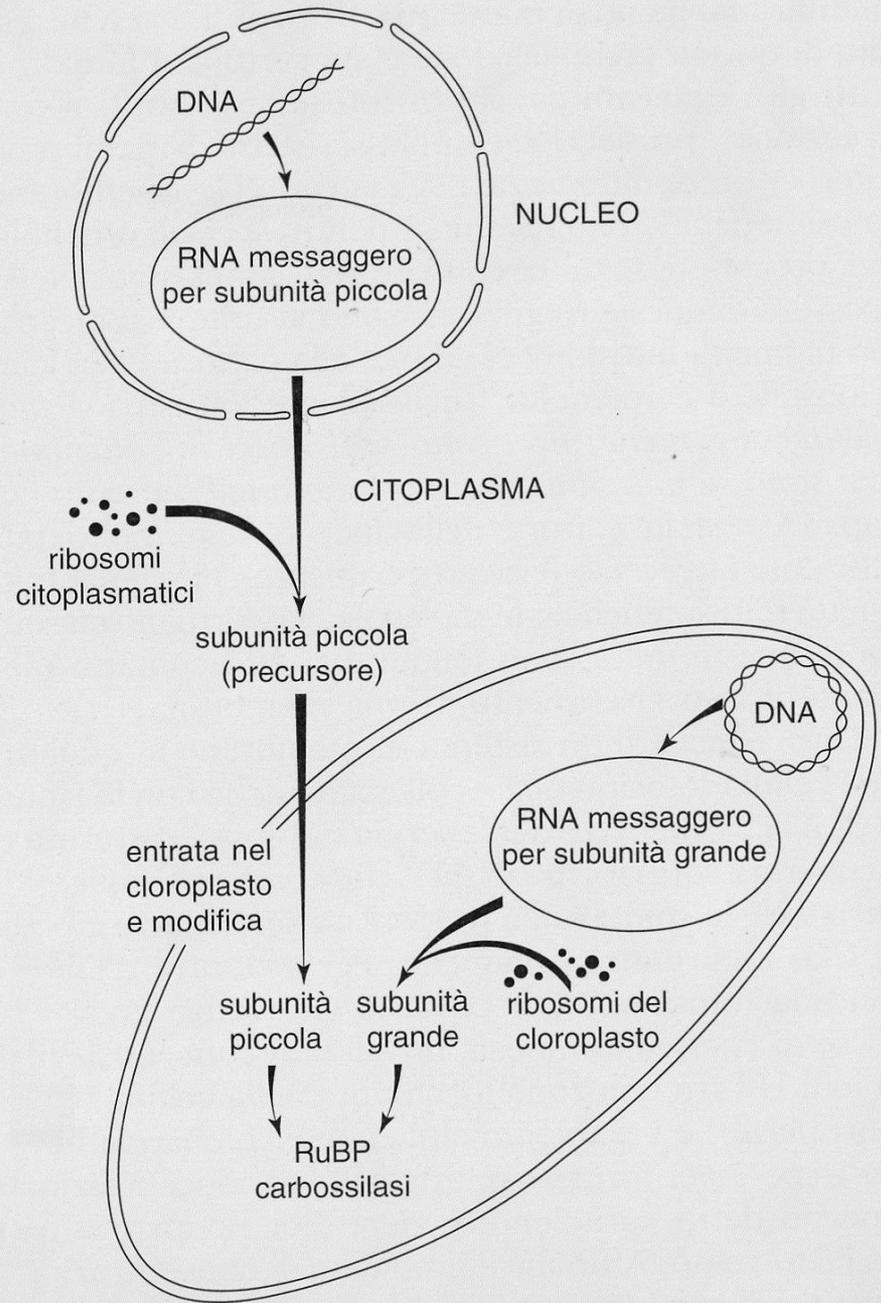


Synechococcus lividus is a photosynthetic freshwater extreme thermophilic Cyanobacteria

RUBISCO

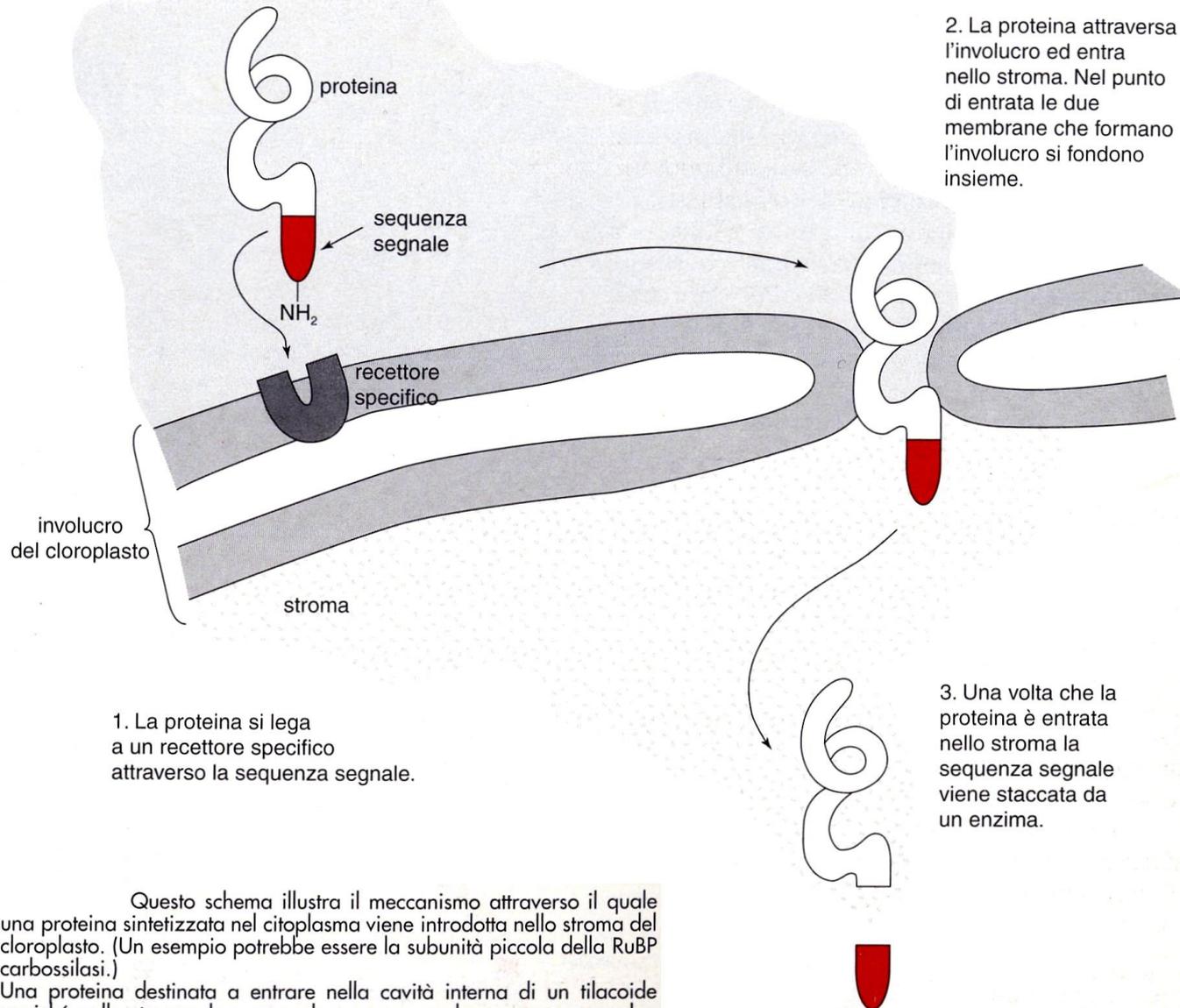


La ribulosibisfosfato carbossilasi (RuBP carbossilasi) dei cloroplasti è fatta da 8 subunità grandi e 8 subunità piccole. L'informazione per costruire la subunità grande è contenuta nel DNA dei cloroplasti, quella per costruire la subunità piccola nel DNA nucleare. Nel citoplasma viene sintetizzato un precursore della subunità piccola, di dimensioni maggiori di quelle definitive: una parte di questa molecola viene idrolizzata nel passaggio attraverso l'involucro del cloroplasto. Lo schema illustra in quali compartimenti cellulari avvengono le diverse fasi del «montaggio» della RuBP carbossilasi.



Trasporto di proteine dal citoplasma allo stroma plastidiale:

CITOPLASMA



Questo schema illustra il meccanismo attraverso il quale una proteina sintetizzata nel citoplasma viene introdotta nello stroma del cloroplasto. (Un esempio potrebbe essere la subunità piccola della RuBP carbossilasi.)

Una proteina destinata a entrare nella cavità interna di un tilacoide anziché nello stroma deve possedere una seconda sequenza segnale.

FOTOSINTESI

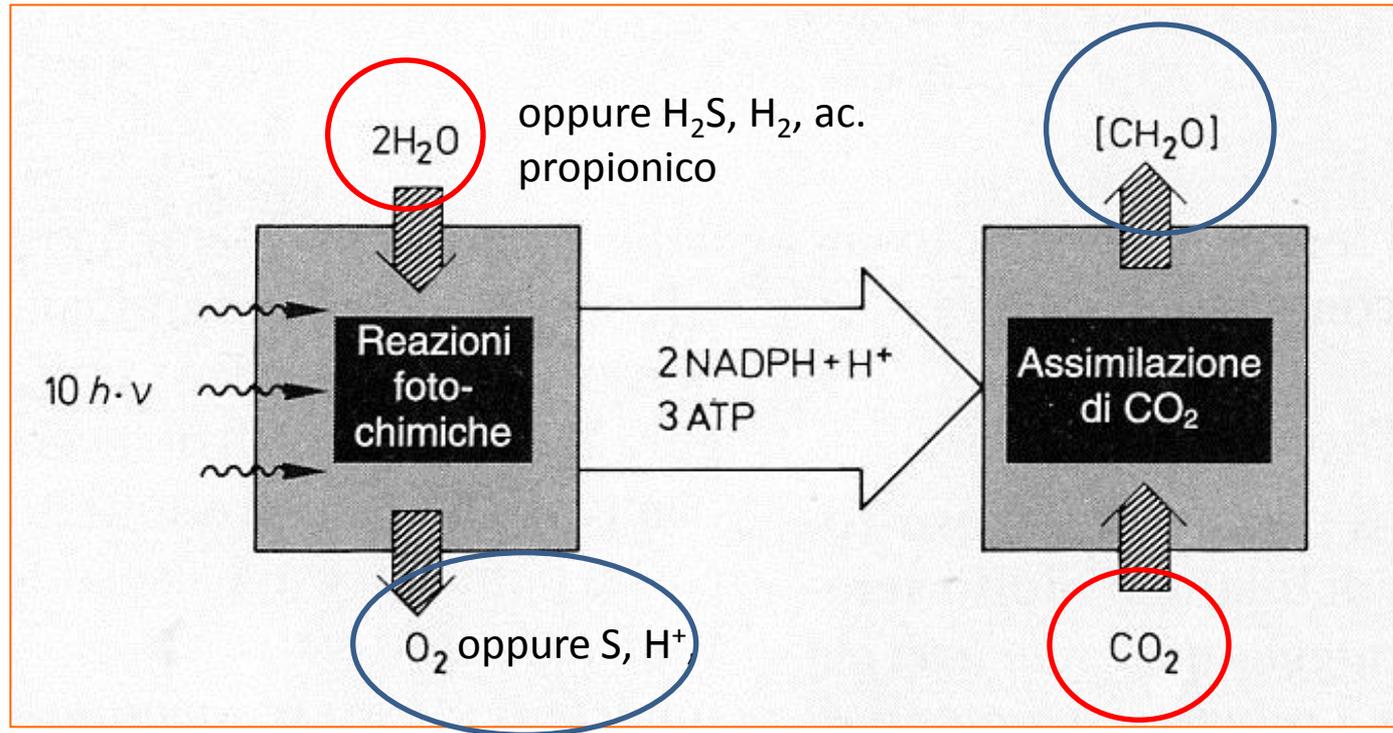
Reazione anabolica (di sintesi)

Il carbonio è stato parzialmente ridotto

Sost. INORGANICA



sost. ORGANICA



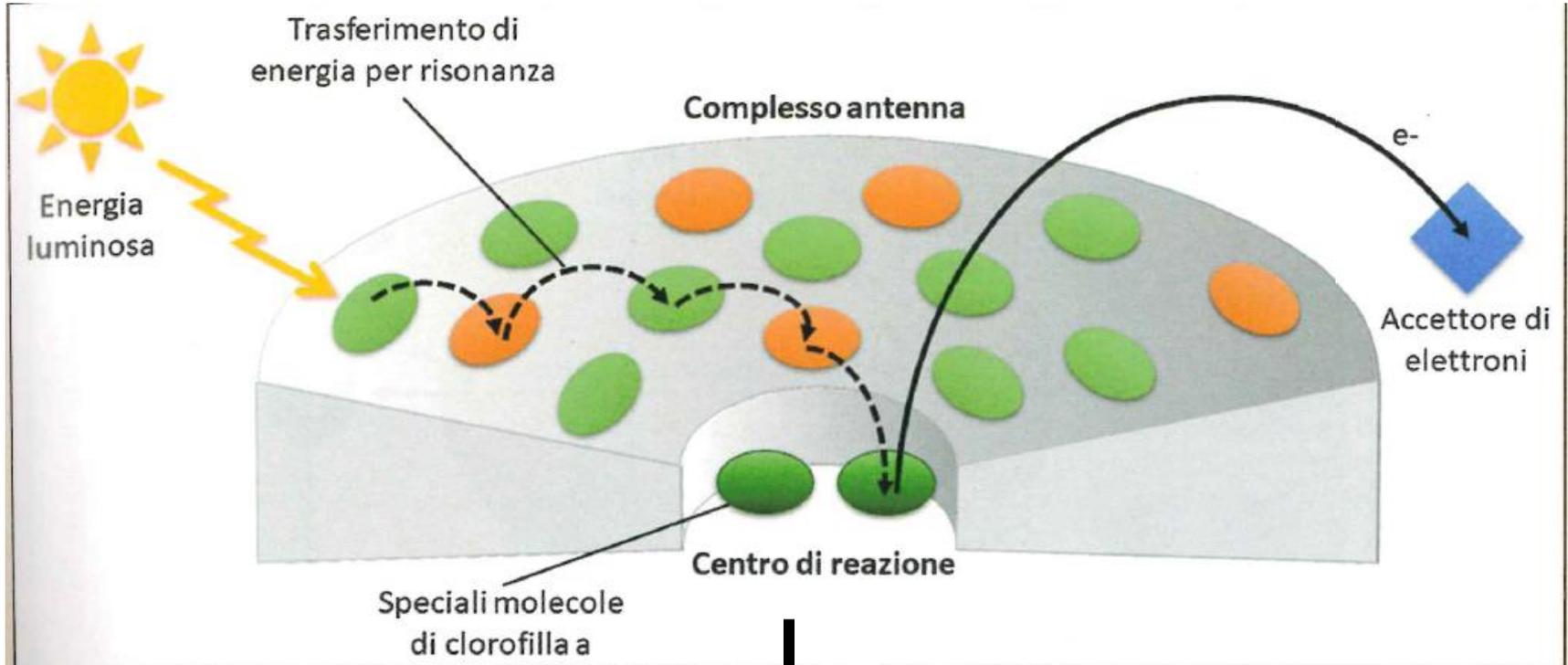
L'ossigeno, lo zolfo o l'idrogeno sono stati ossidati, avendo ceduto elettrone(i)



Processo endoergonico!
anabolico

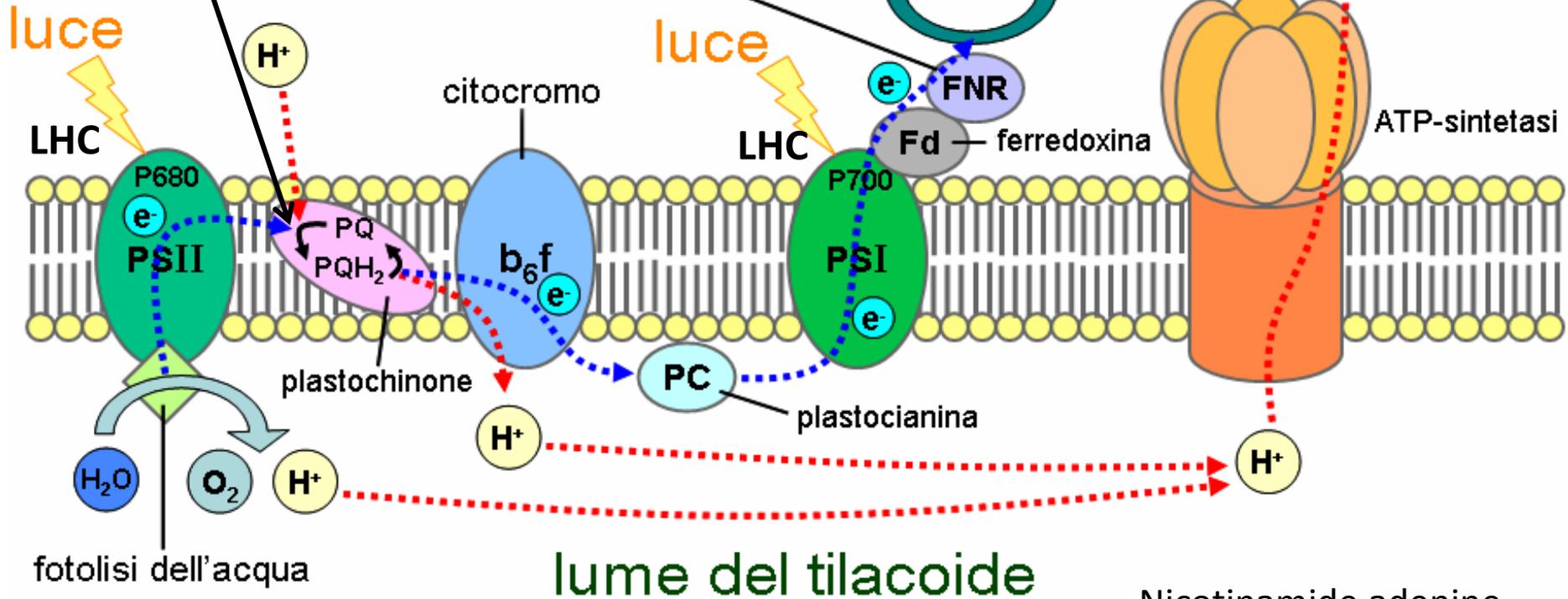


Membrane tilacoidali: fotosistemi + compelssi antenna (cattura della luce)



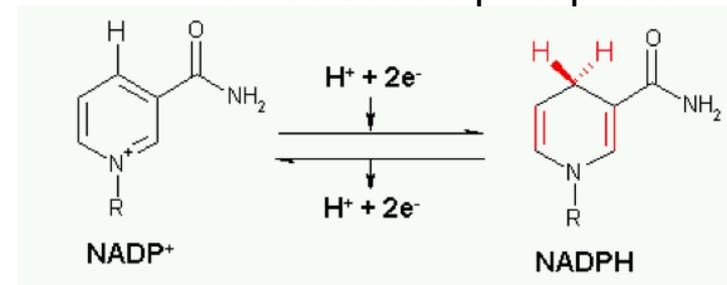
↓
Fotosistema (PSII o PSI)

stroma del cloroplasto

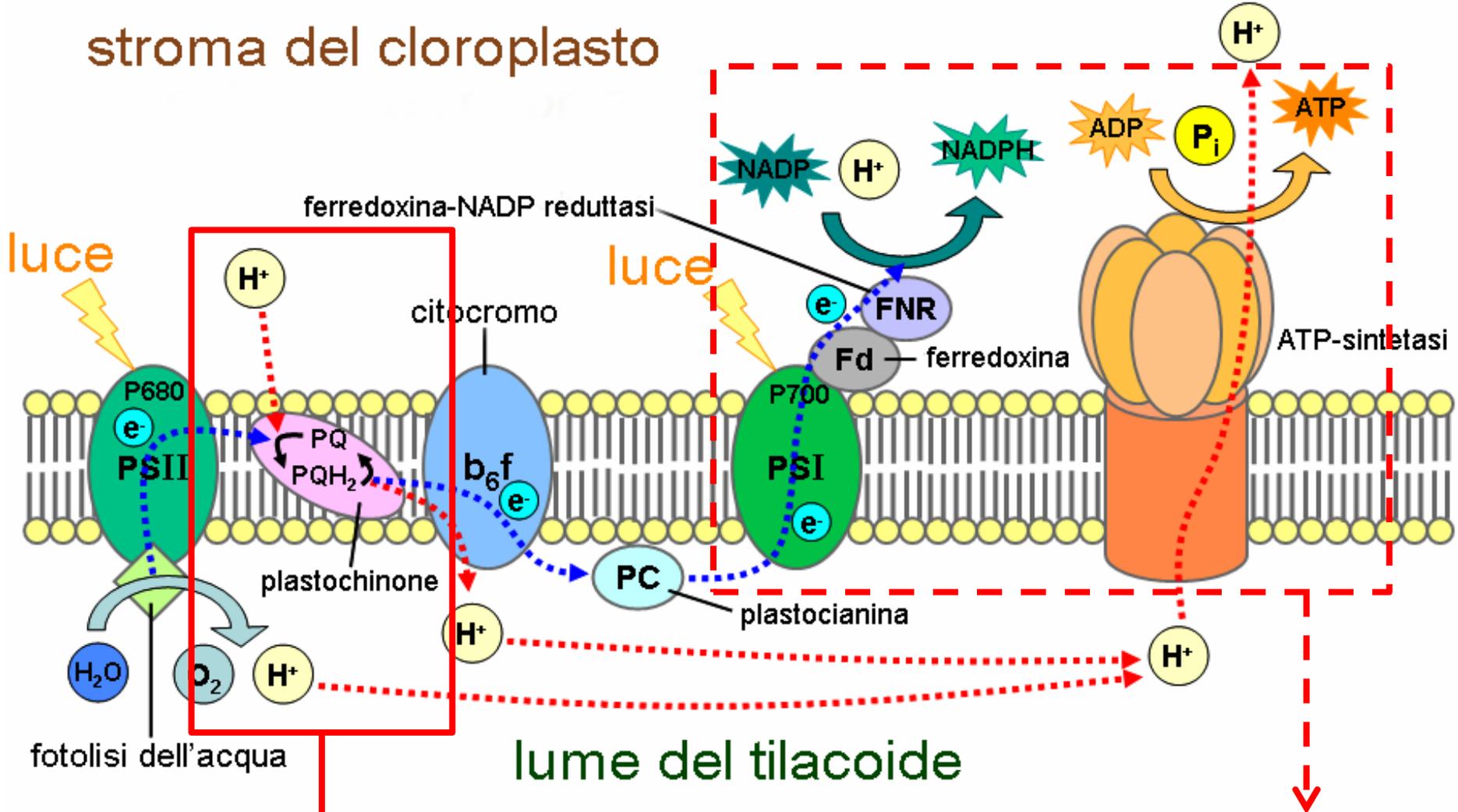


- Molecole antenna (captazione luce)
- Centri di reazione (attivazione Chl-a)

Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate



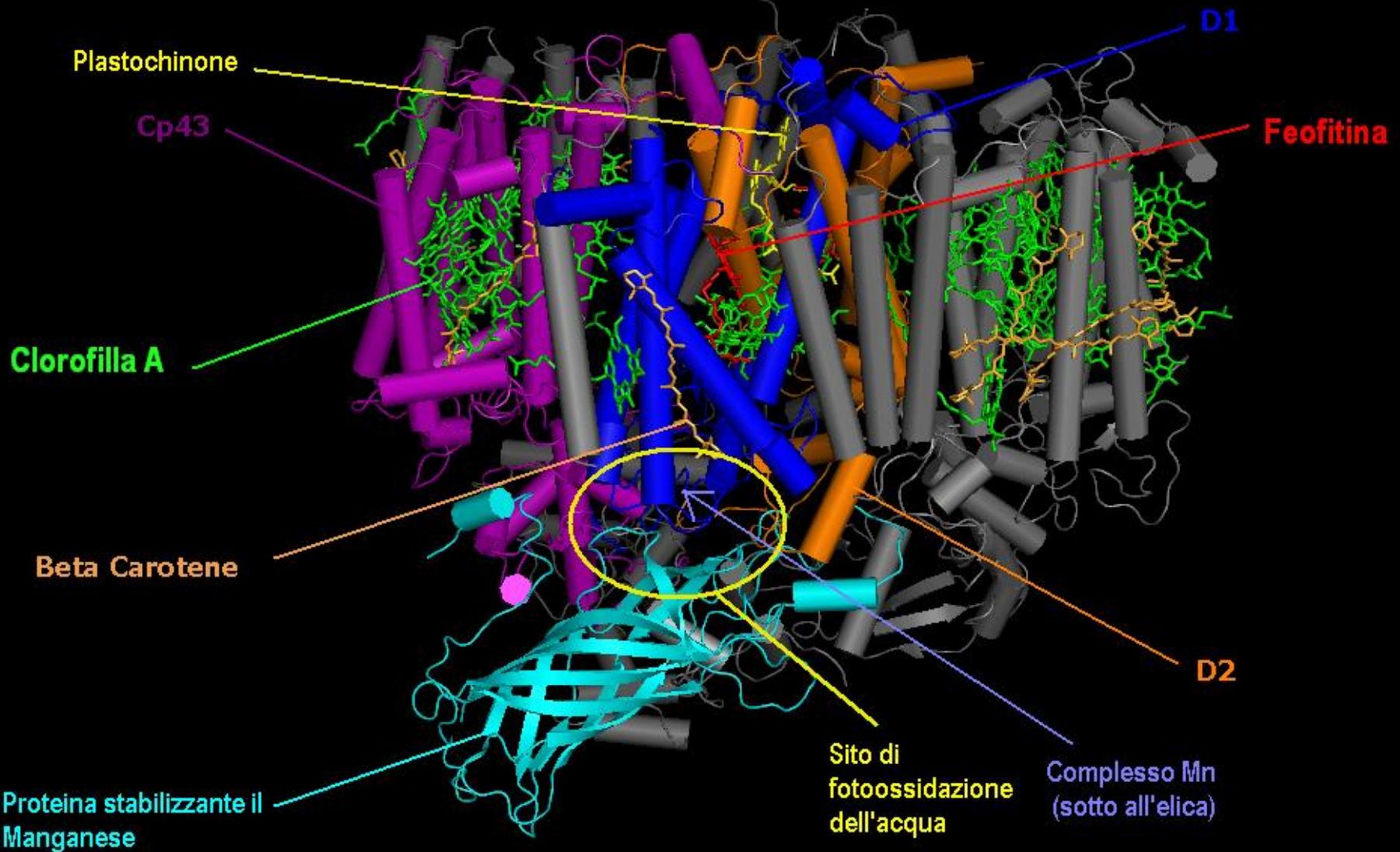
stroma del cloroplasto



Catena di trasporto e^- , perdita di energia \rightarrow livello energetico inferiore
Energia persa \rightarrow pompaggio H^+ da stroma a lume (contro gradiente!) = gradiente H^+

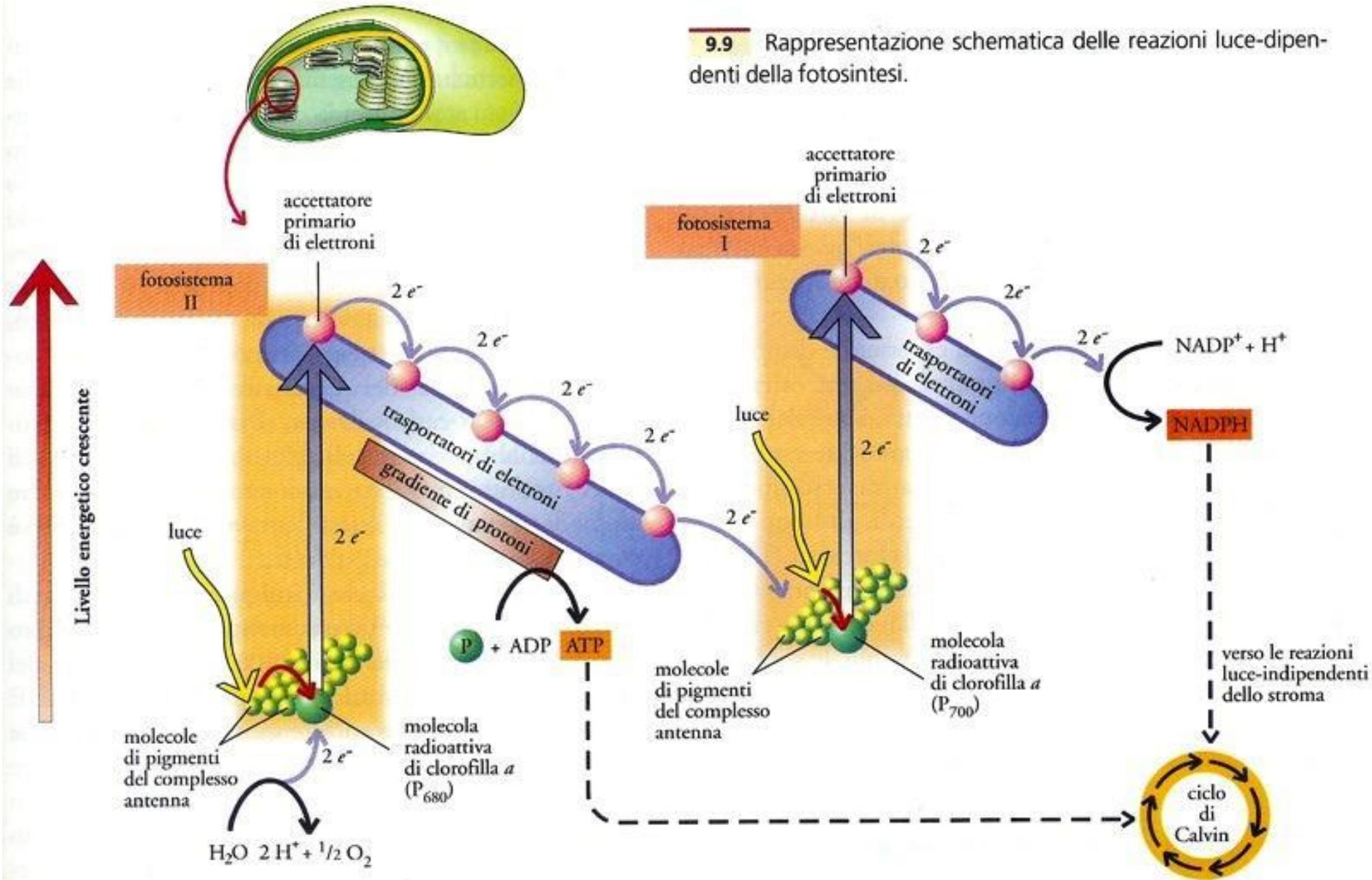
gradiente H^+ sfruttato da ATP-sintetasi ($ADP \rightarrow ATP$, ogni $2 e^-$)

Fotosistema II - P680

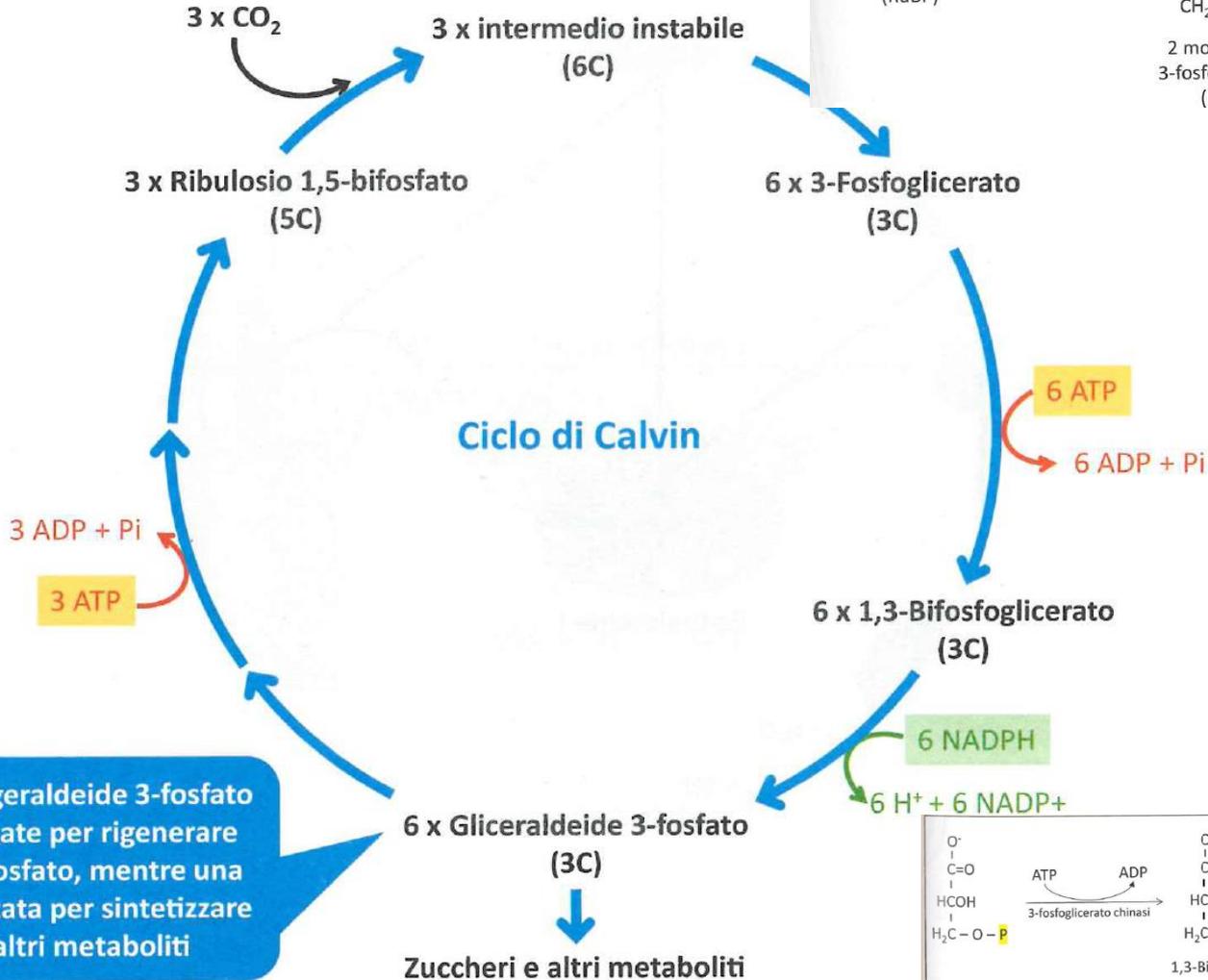
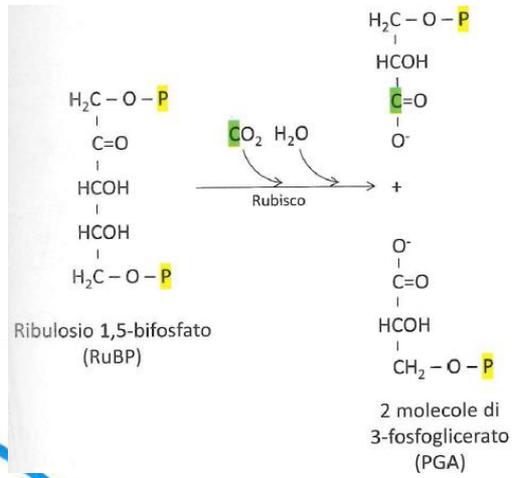


FOTOSINTESI

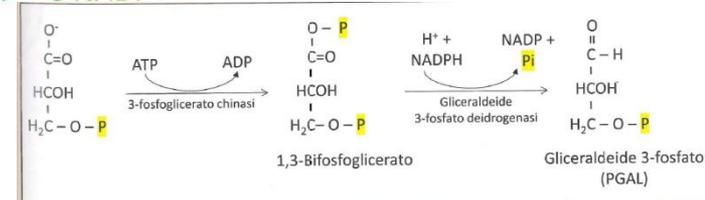
9.9 Rappresentazione schematica delle reazioni luce-dipendenti della fotosintesi.



Ciclo di Calvin – ciclo C3



5 molecole di glicer aldeide 3-fosfato vengono impiegate per rigenerare ribuloso 1,5-bifosfato, mentre una molecola è utilizzata per sintetizzare zuccheri ed altri metaboliti





Tipo di nutrizione	AUTOTROFISMO			CHEMO- LITOTROFIA
	IDROTROFIA	LITOTROFIA	ORGANOTROFIA	
Fonte di energia	luce	luce	luce	ossidazioni
Fonte di carbonio	CO ₂	CO ₂	CO ₂ , sost. org.	CO ₂
Donatore di elettroni	H ₂ O	H ₂ S	sost. org.	H ₂ S, NH ₃ , Fe ²⁺ , H ₂
organismi	piante verdi cianobatteri	Solfobatteri verdi e purpurei	Batteri verdi e purpurei NON a zolfo	vari batteri non fotosintetici
Prodotto di scarto	O₂	S	Altra sot.org., più ossidata	S, NO₃⁻, Fe³⁺, H⁺
	LUCE (ambienti esposti alla luce)			BUIO (anche ambienti profondi)

**FOTOSINTESI
OSSIGENICA**