

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)

**PLASTIDI**

**FOTOSINTESI**

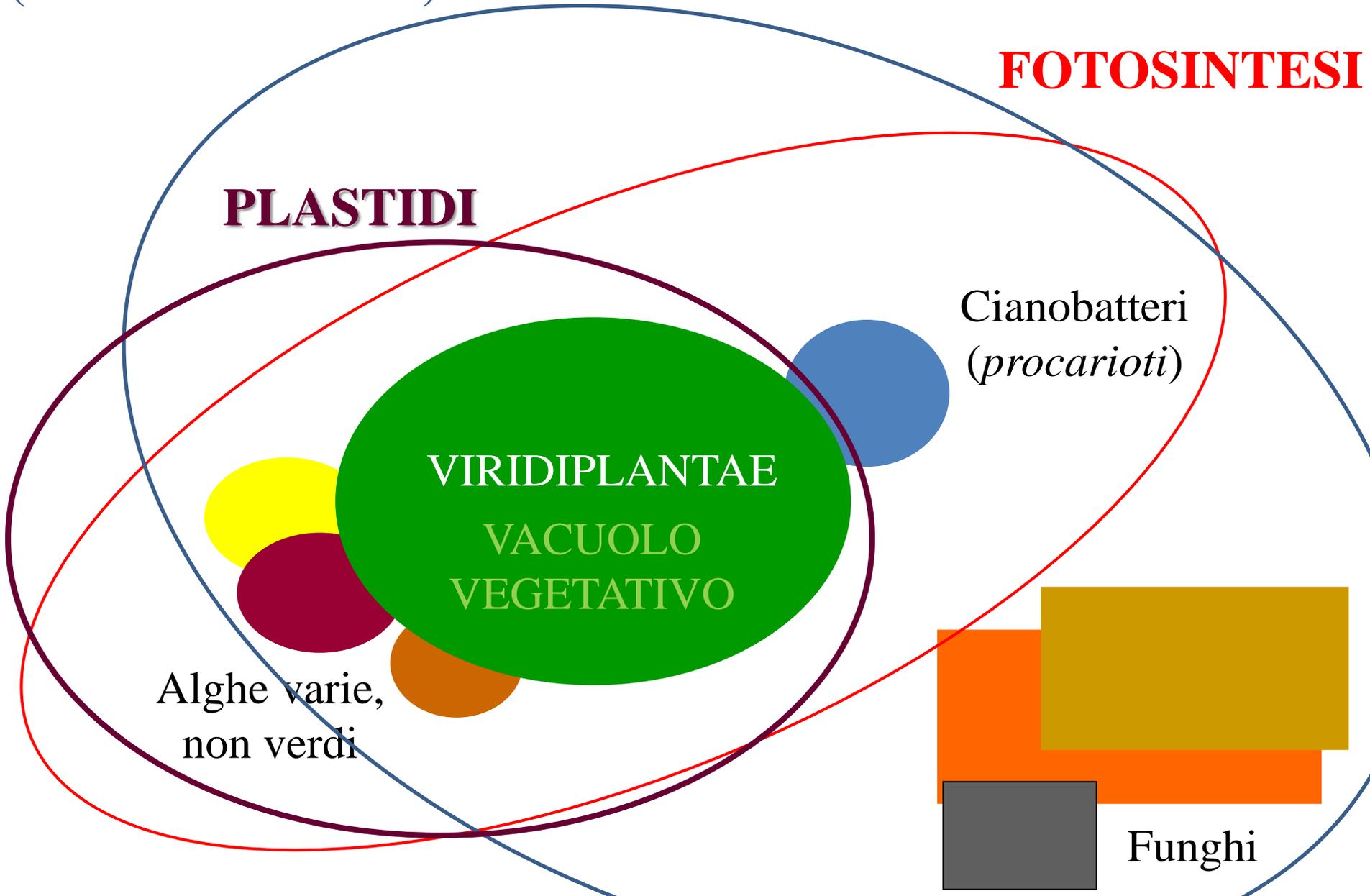
Cianobatteri  
(*procarioti*)

**VIRIDIPLANTAE**

VACUOLO  
VEGETATIVO

Alghie varie,  
non verdi

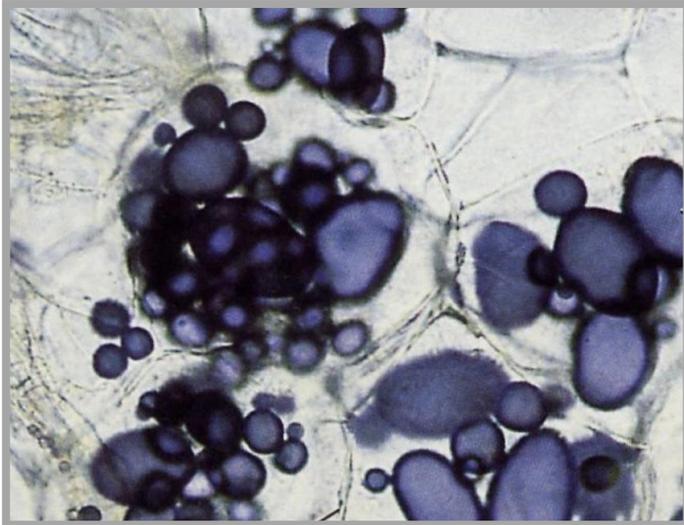
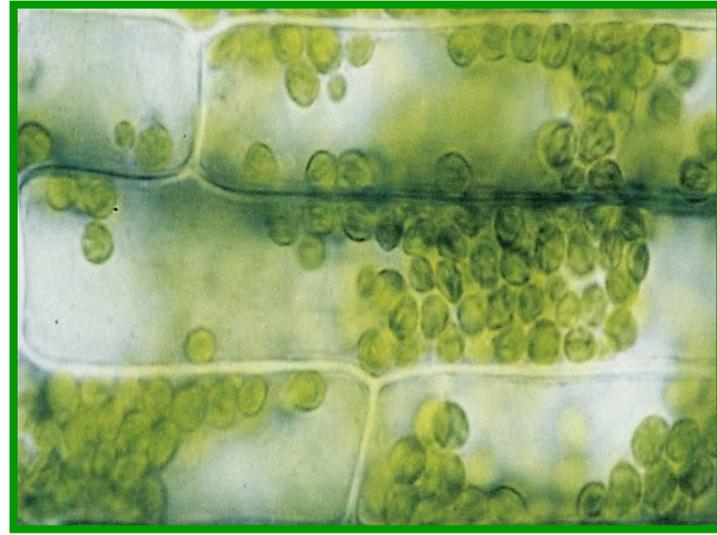
Funghi



Famiglia di organuli propri degli organismi fotoautotrofi ossigenici eucariotici.

Multiple f(x).

**Cloroplasti**: assimilazione della  $\text{CO}_2$  (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)

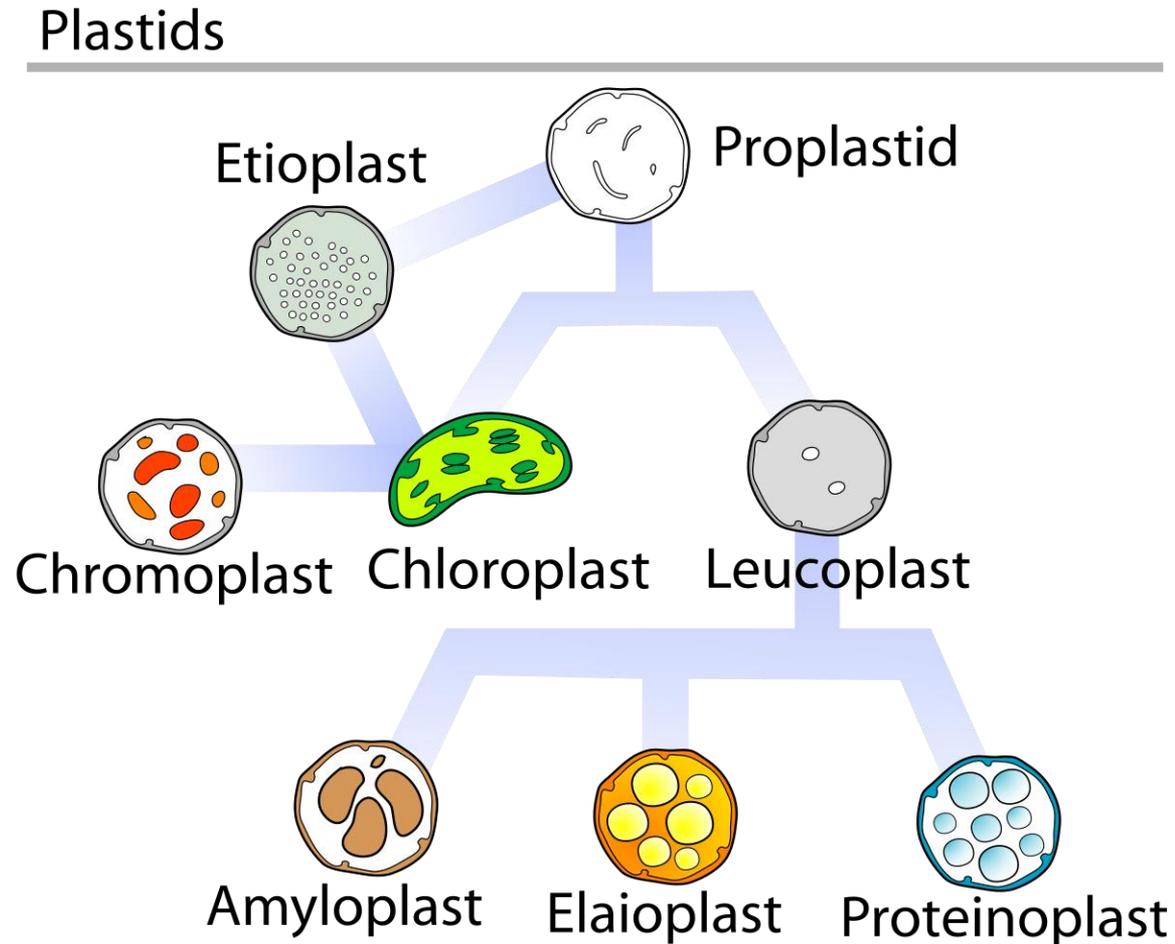


# PROPLASTIDI → → → plastidi

**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

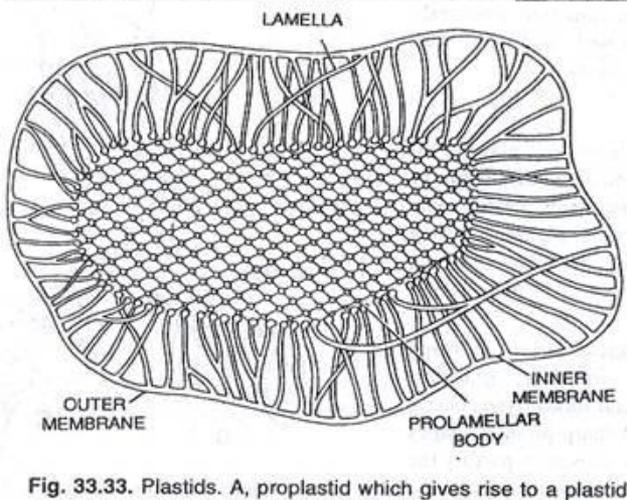
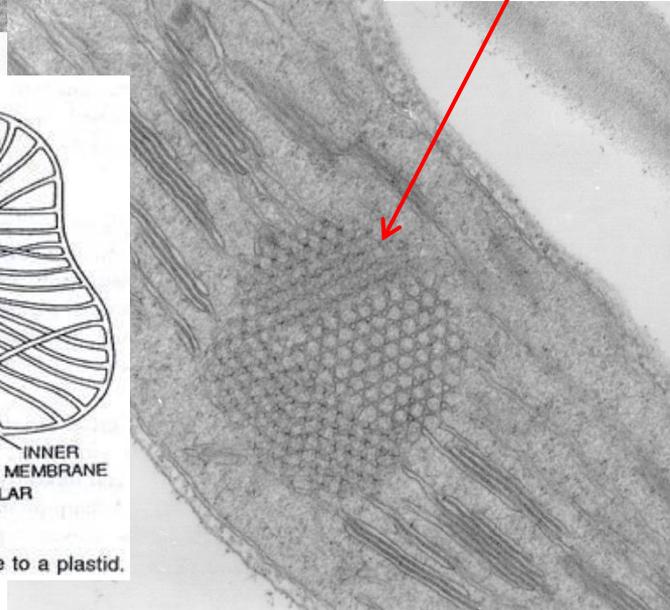
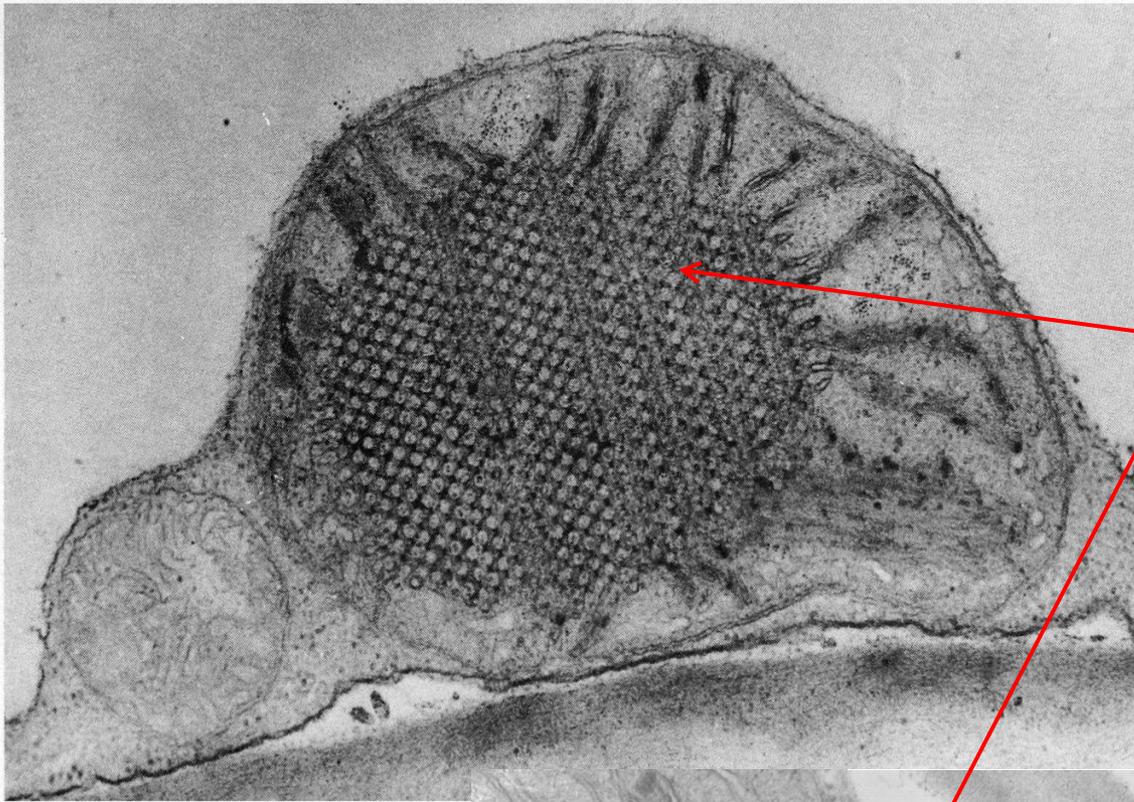
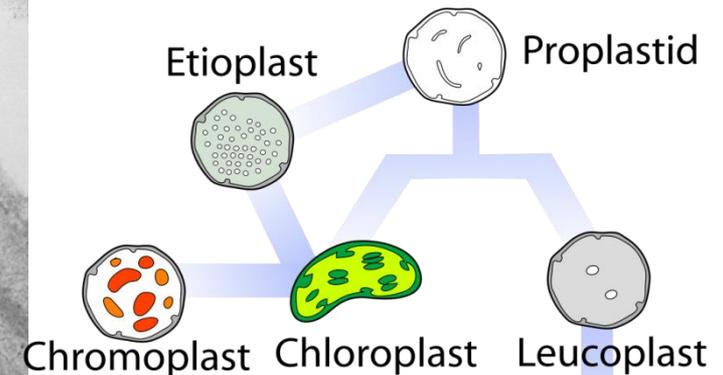


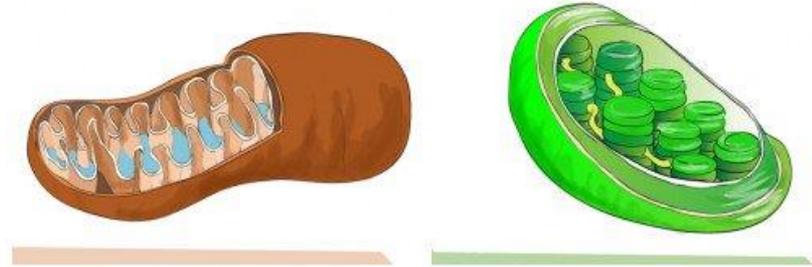
Fig. 33.33. Plastids. A, proplastid which gives rise to a plastid.

Plastids

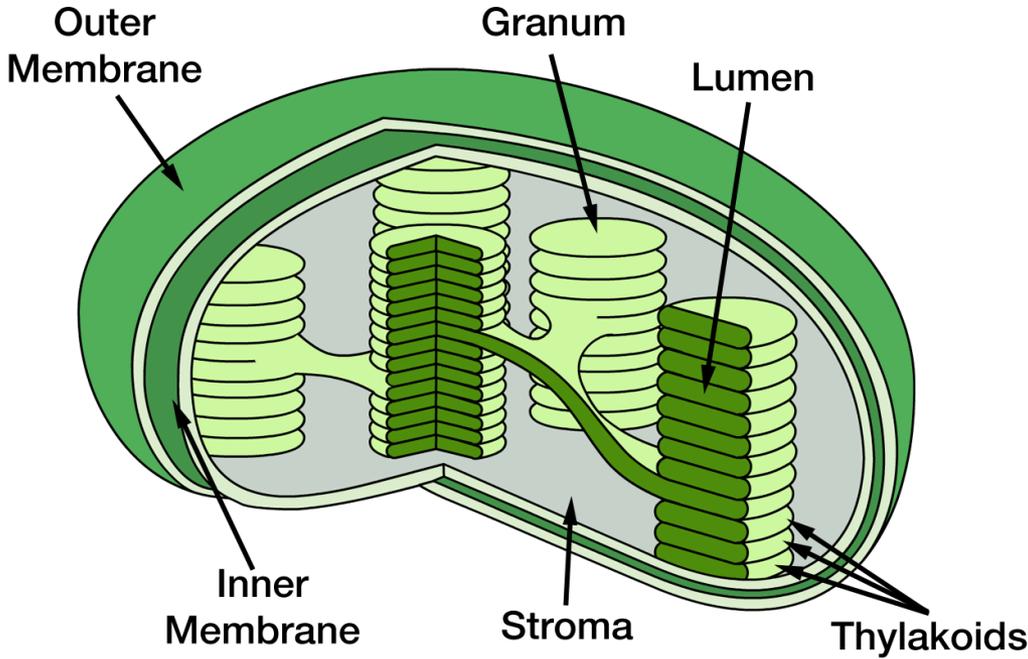


# Mitochondria vs. Chloroplast

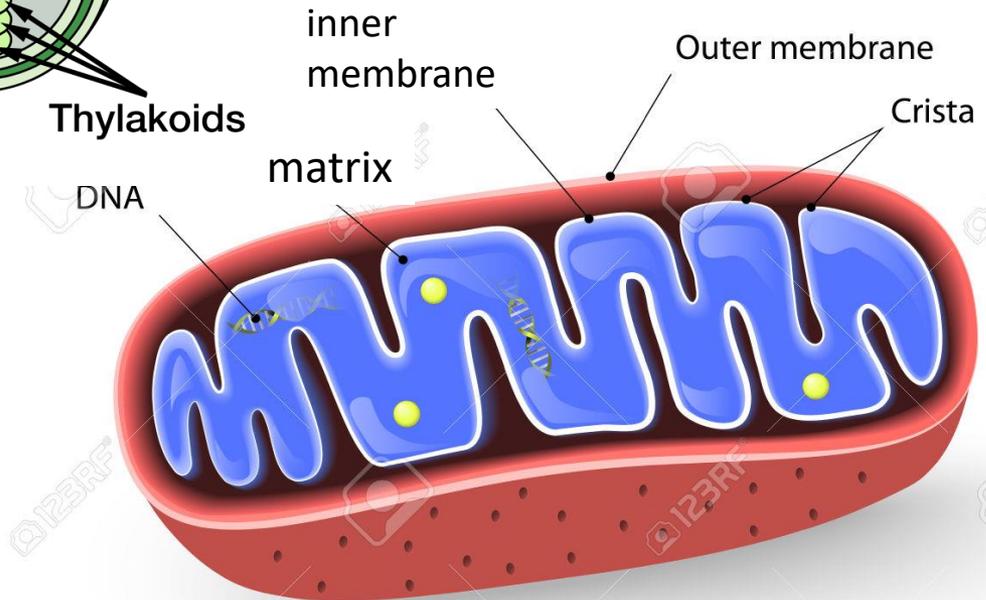
Key Differences and Similarities

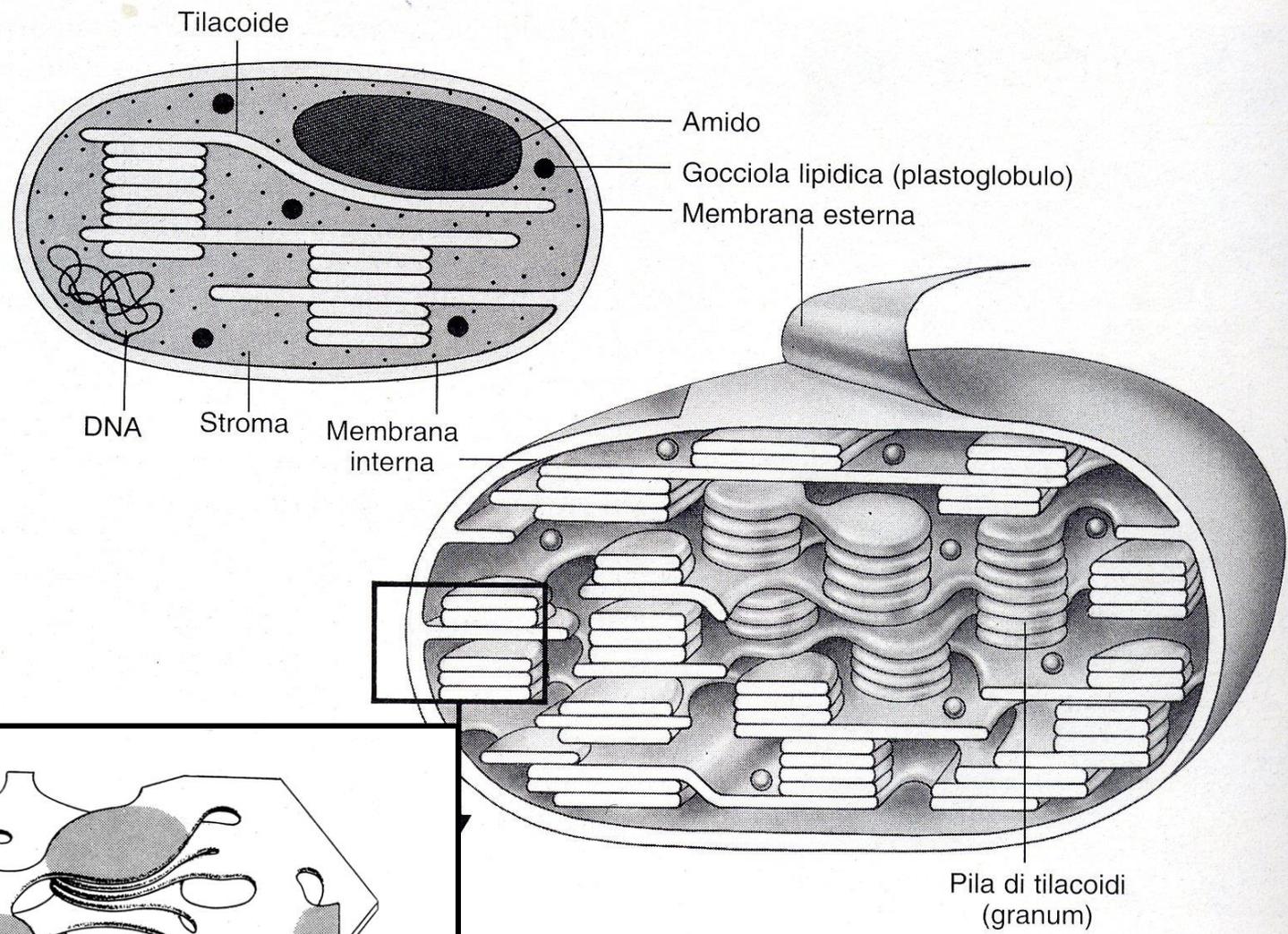


# CLOROPLASTO

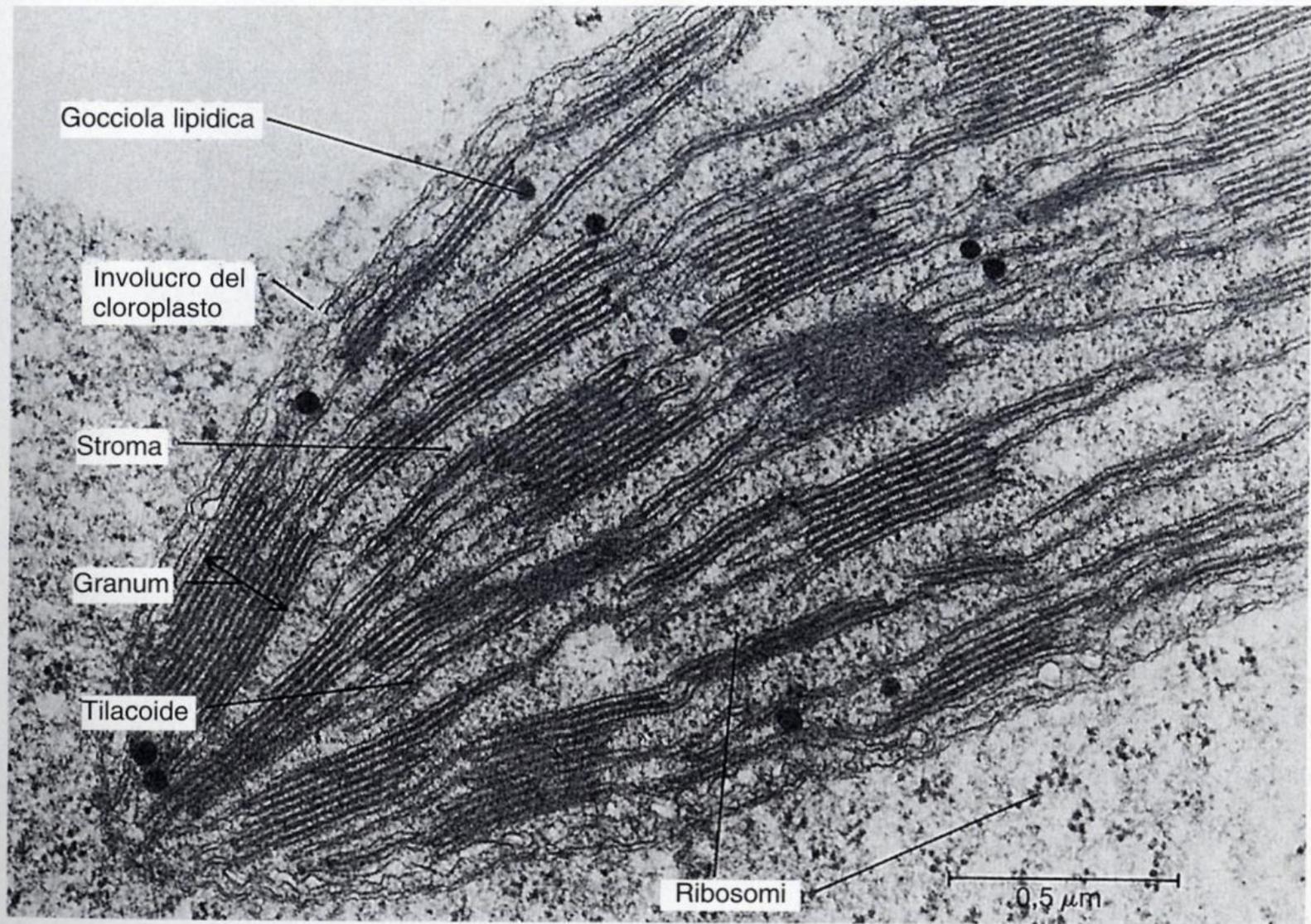


# MITOCONDRIO





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



Ultrastruttura dei cloroplasti. Nella pagina accanto, in alto: sezione schematica, sotto, modello tridimensionale di cloroplasto con un dettaglio

fortemente ingrandito; in basso a destra, modello di formazione dei tilacoide per invaginazione della membrana (da ALBERTS, BRAY, LEWIS, RAFF, RO-

BERTS e WATSON). In questa pagina: sezione trasversale di un cloroplasto di *Noea mucronata* vista al microscopio elettronico (foto: D. KRAMER).

# 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

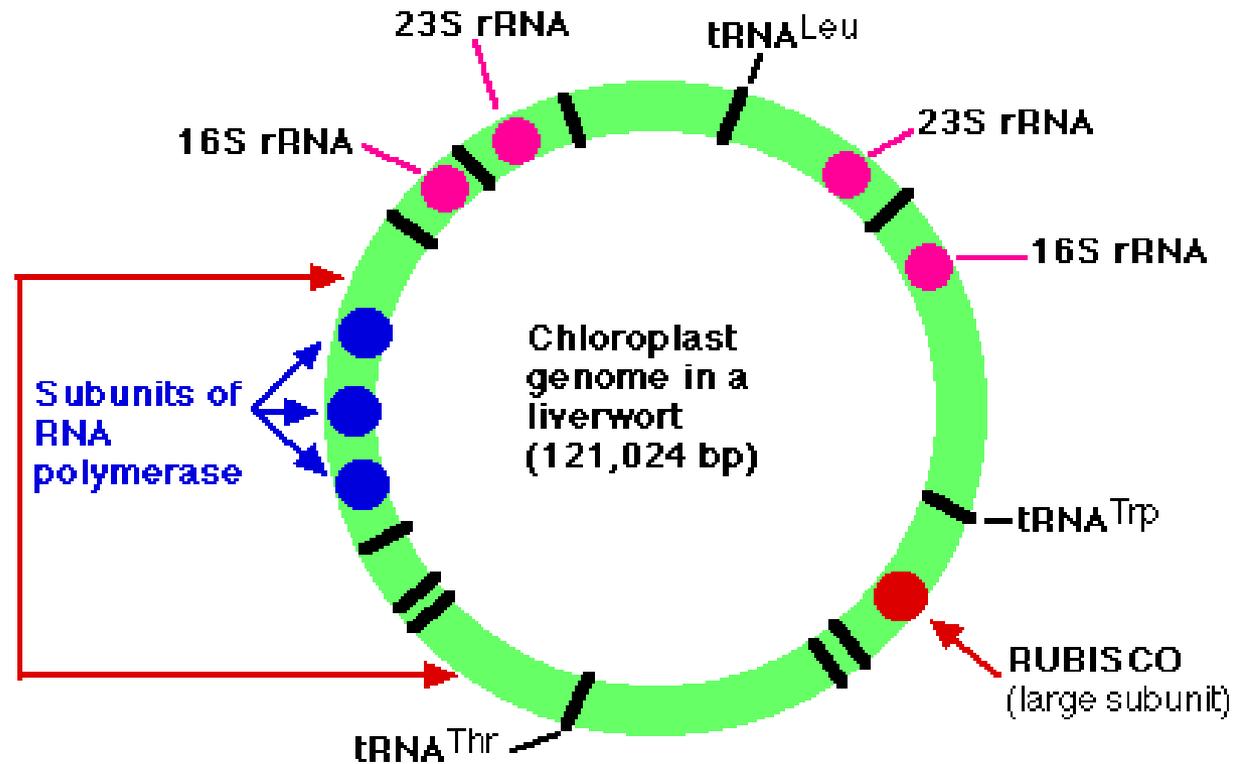
In mais (*Zea mays*, i plastidi più intensamente indagati) il plastoma codifica per circa 100 proteine (= 1/3-1/2 pool totale di proteine presenti nel plastidio). Sono presenti diverse copie per cloroplasto (che può essere considerato "poliploide", con 40-100 copie di ptDNA).

Affinità "**procariotica**":

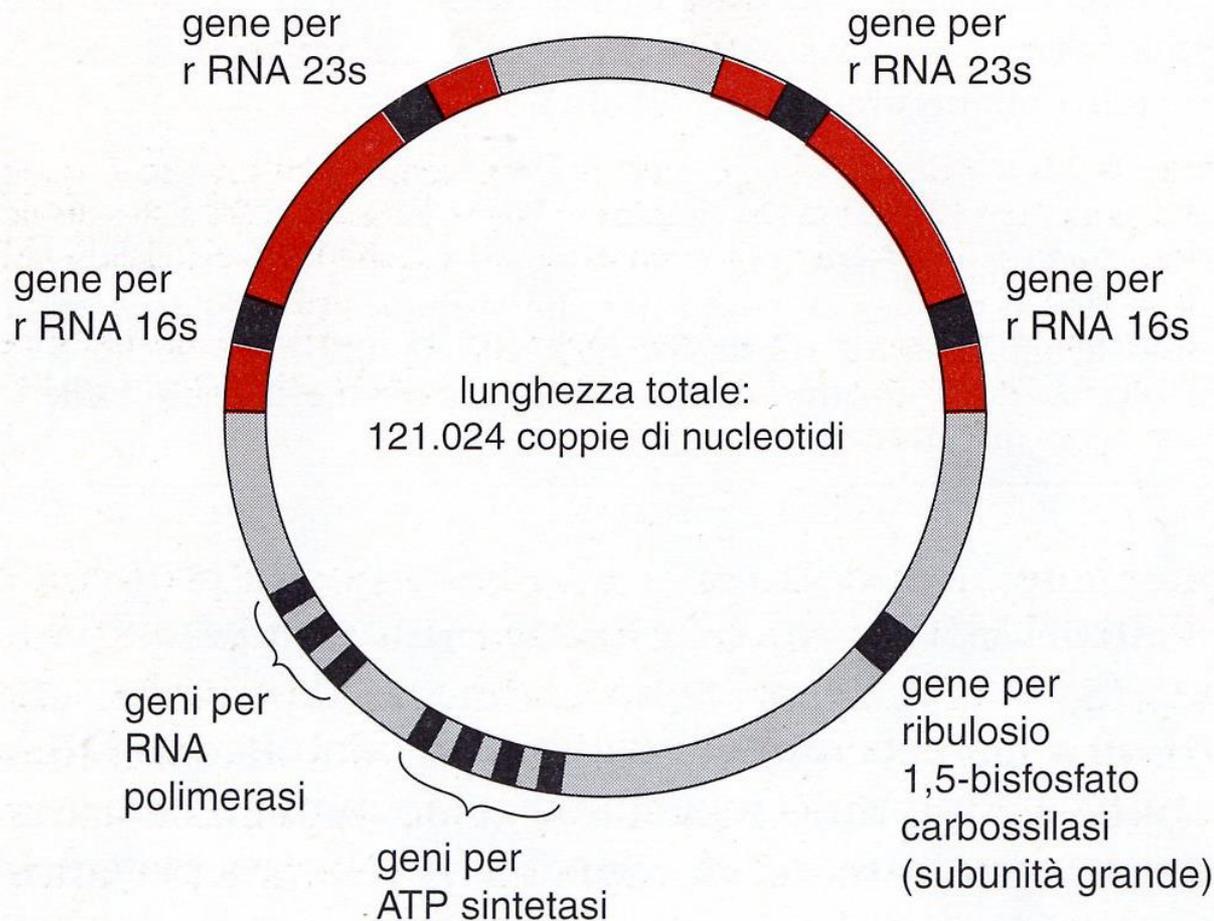
- struttura circolare
- mancano sequenze ripetitive

Affinità "**eucariotica**":

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

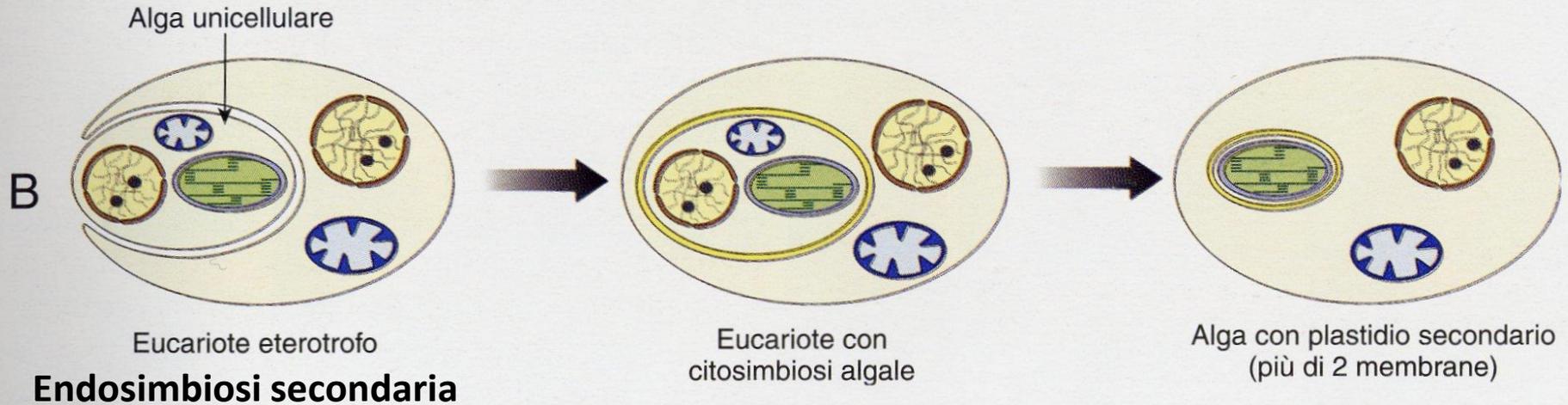
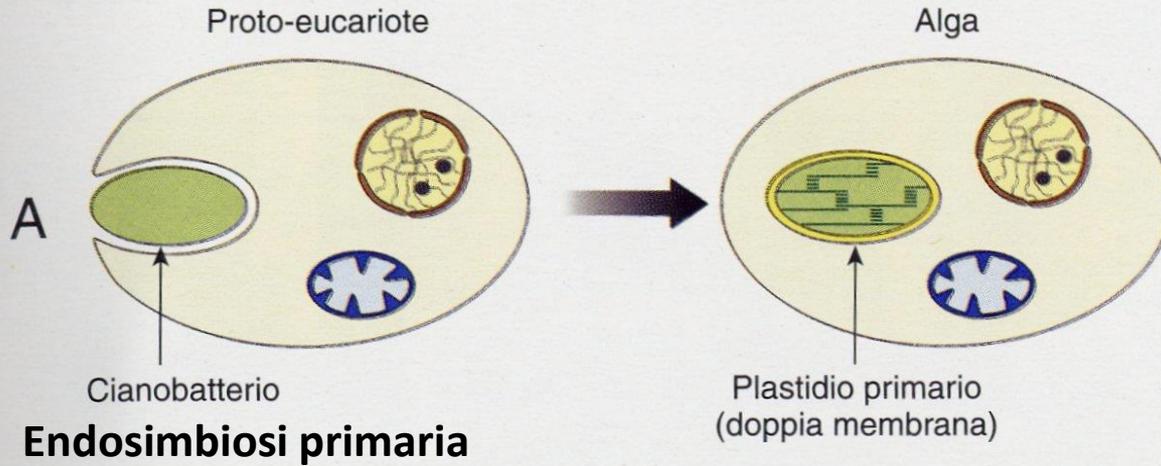


# PLASTOMA



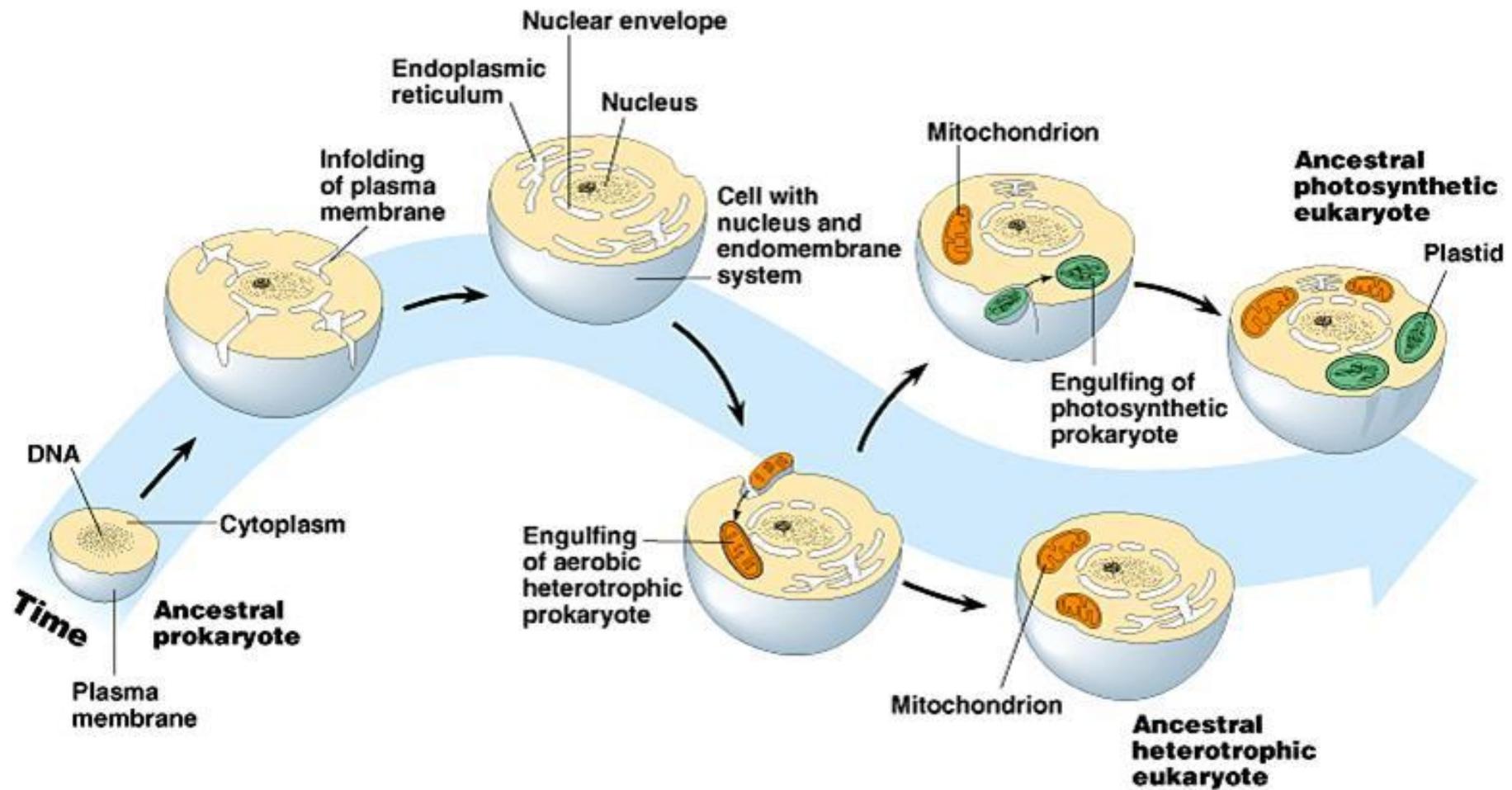
Rappresentazione schematica del DNA dei cloroplasti di un'epatica (una briofita). Il DNA dei cloroplasti delle angiosperme è organizzato nello stesso modo.

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.



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

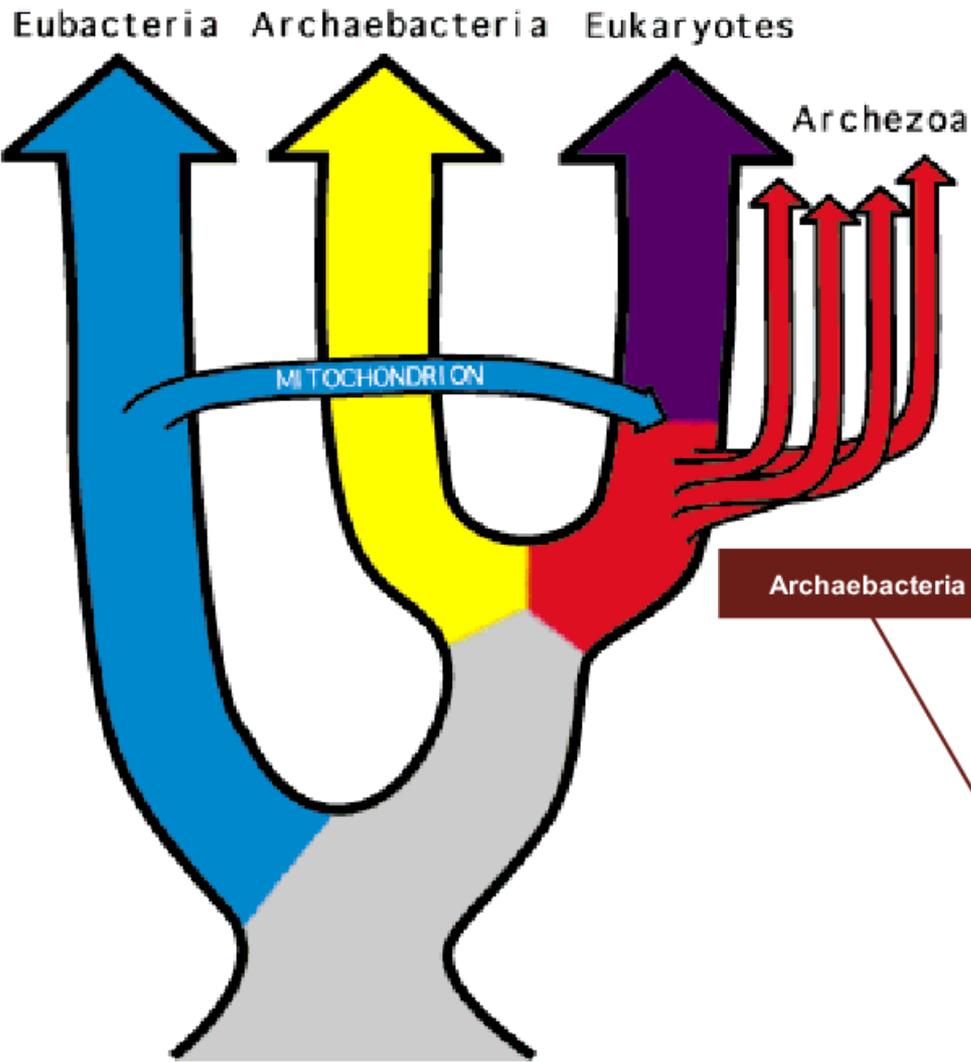
- Sistemi di endomembrane con involucro nucleare;
- Cromosomi lineari;
- Citoscheletro e motomolecole per mitosi e meiosi;
- Motilità ameboide;
- Capacità di fagocitosi.



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

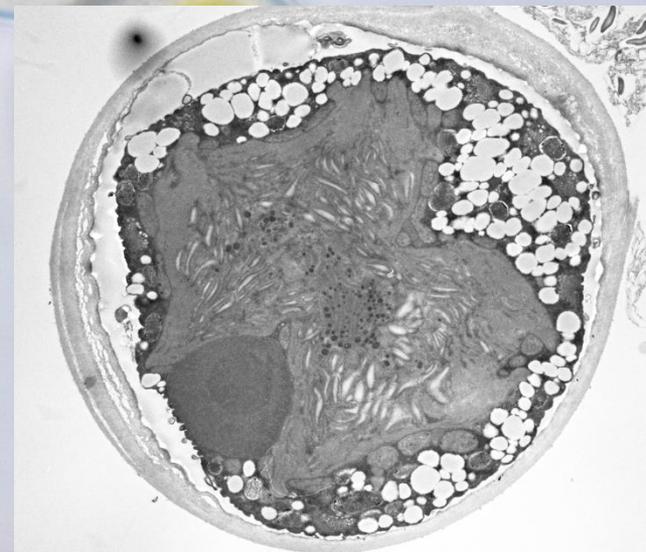
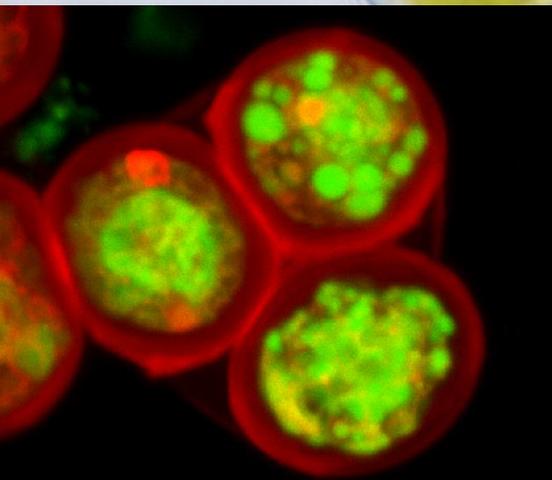
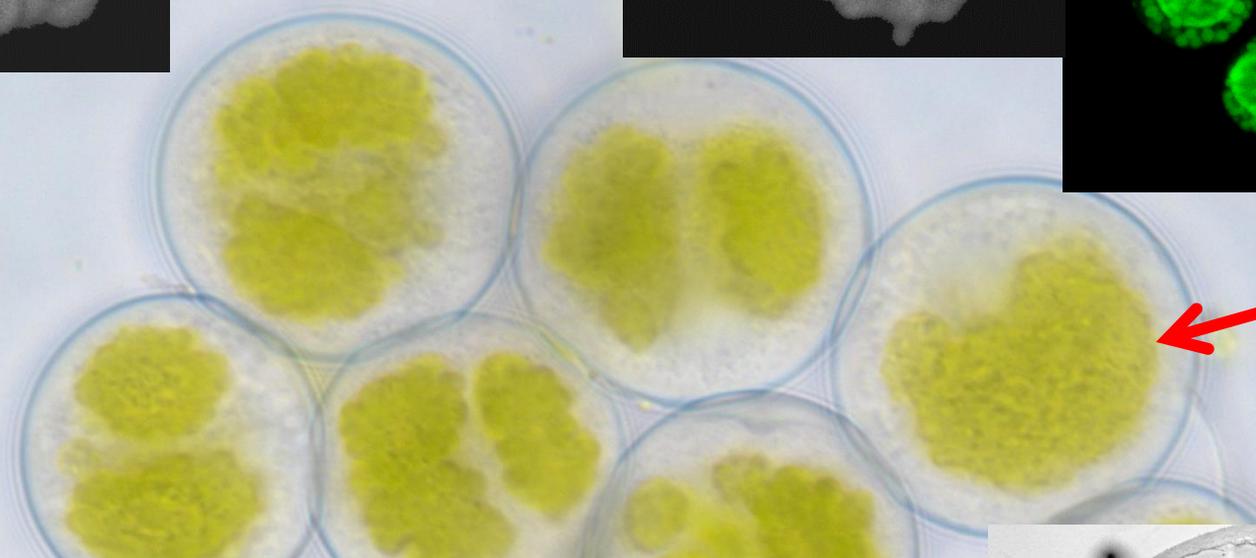
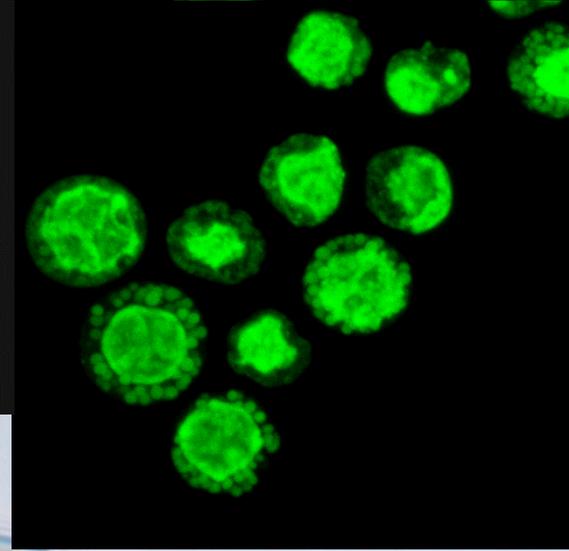
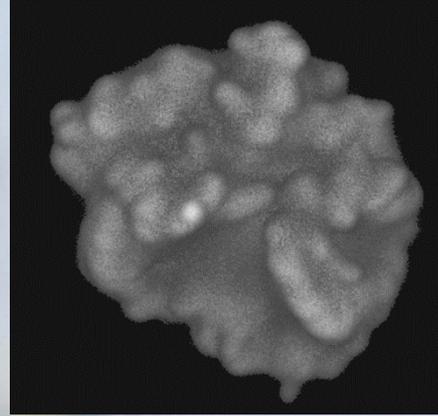
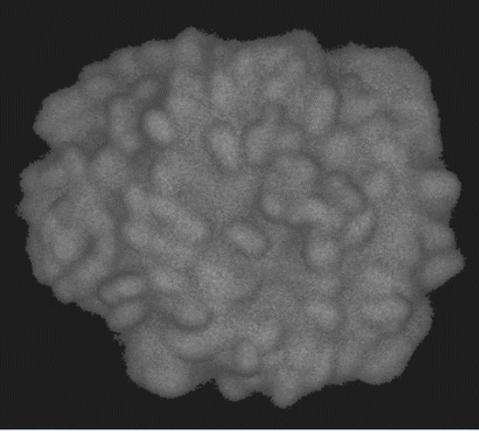
Eukarya

Eubacteria

Endosymbiotic origin of the mitochondrion

ARCHEZOA  
Parabasalia  
Metamonada  
Archamoebae  
Microsporidia



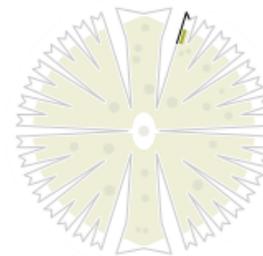
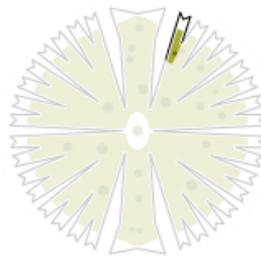
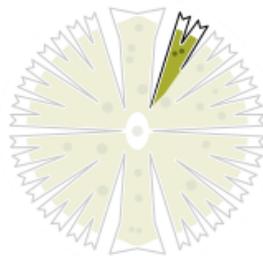
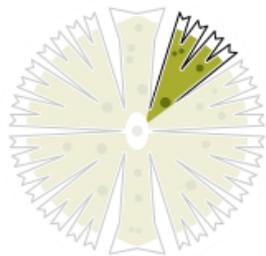
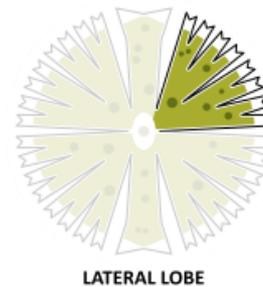
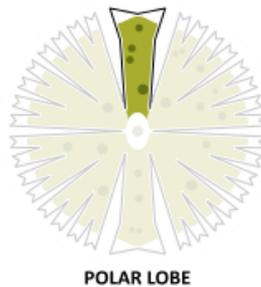
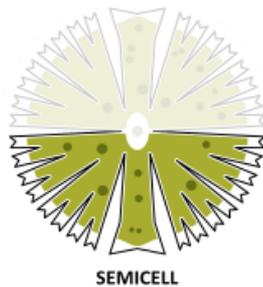
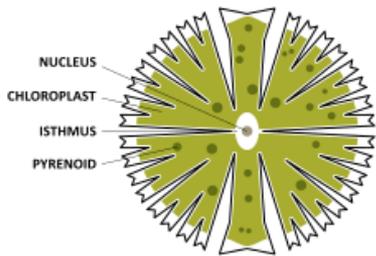


**COLOROPLASTI**

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

**In alghe unicellulari:**

frequente un unico cloroplasto di forma molto variabile .... spesso spettacolare.



FIRST ORDER DIVISION OF THE LATERAL LOBE

SECOND ORDER DIVISION OF THE LATERAL LOBE

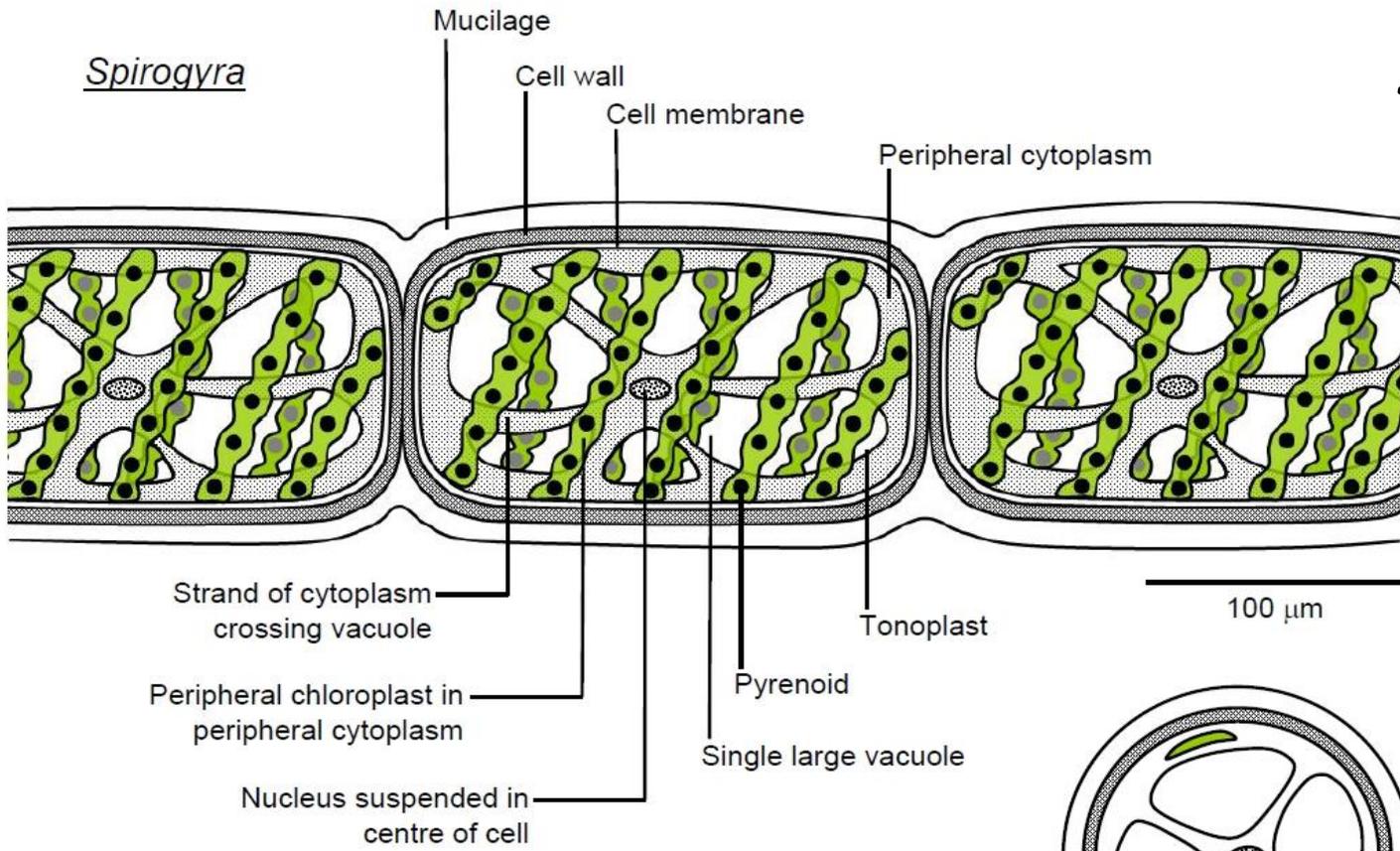
THIRD ORDER DIVISION OF THE LATERAL LOBE

FOURTH ORDER DIVISION OF THE LATERAL LOBE

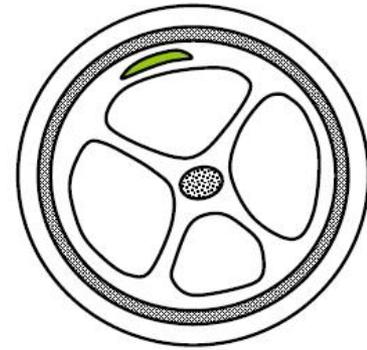
***Micrasteria* sp.**  
(Charophyceae):

2 semi-cellule,  
istmo, 1  
cloroplasto

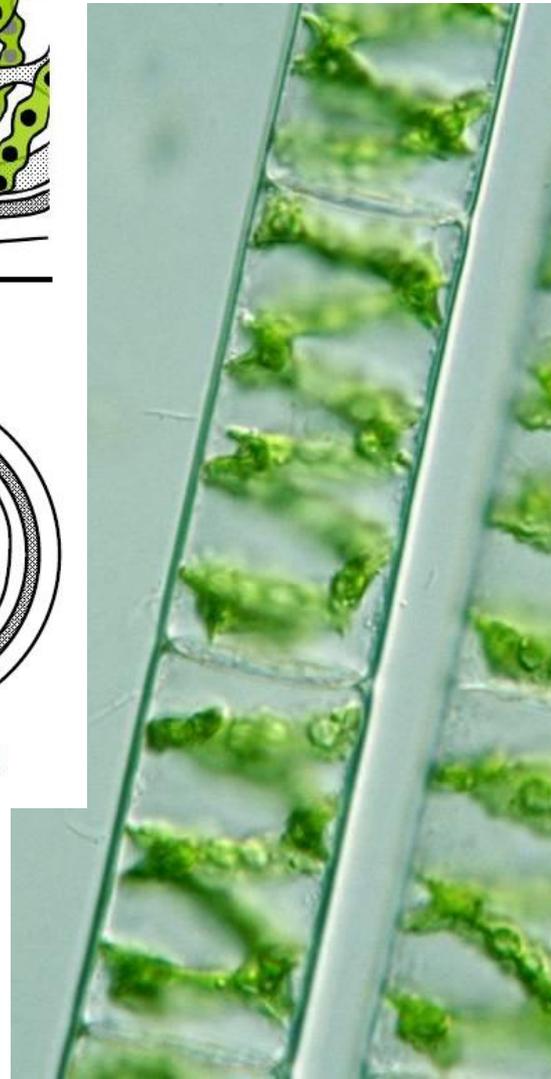
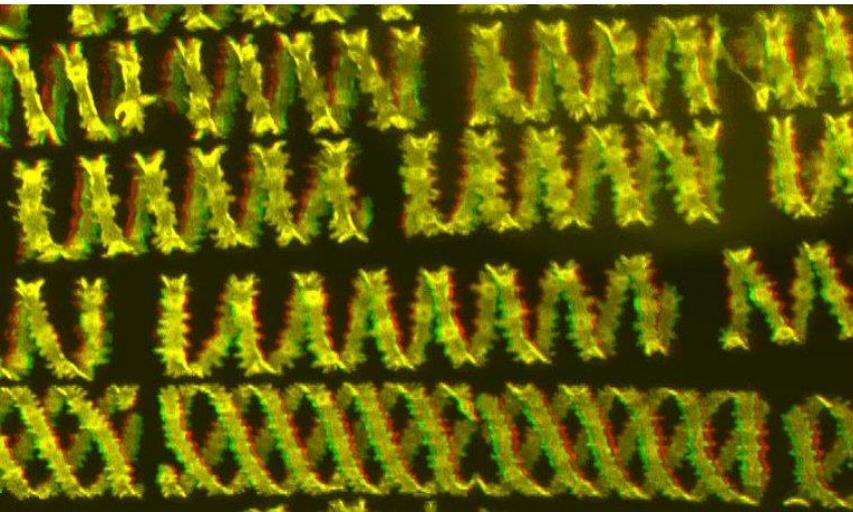
*Spirogyra*



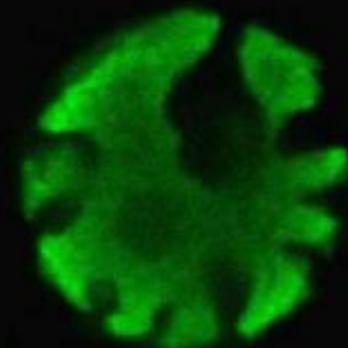
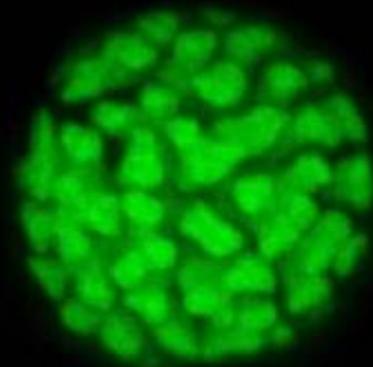
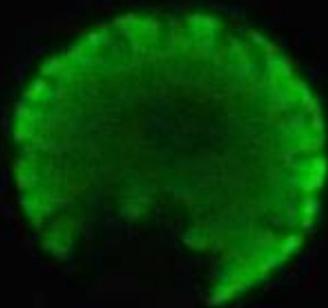
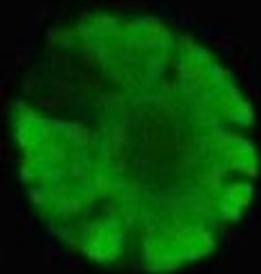
100 μm



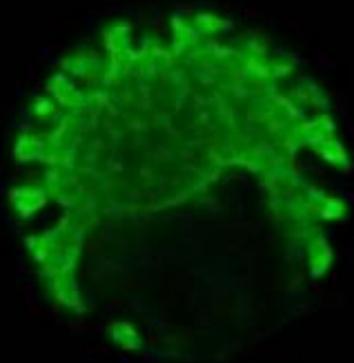
***Spirogyra* sp.**  
(Charophyceae):



Cloroplasti di *Asterochloris* sp. (Trebouxiophyceae)



5



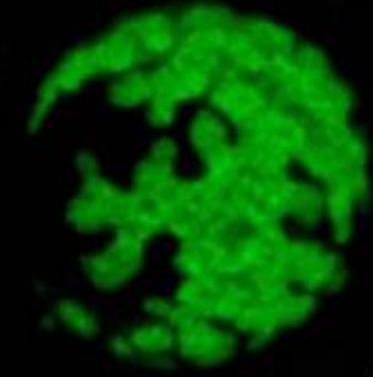
6



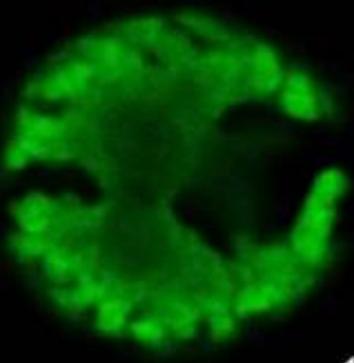
7



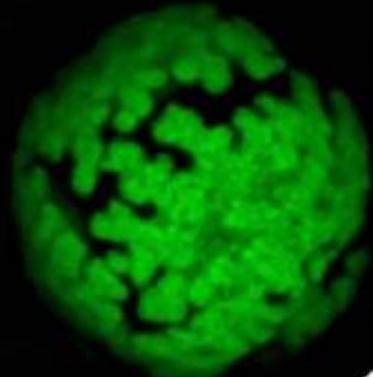
8



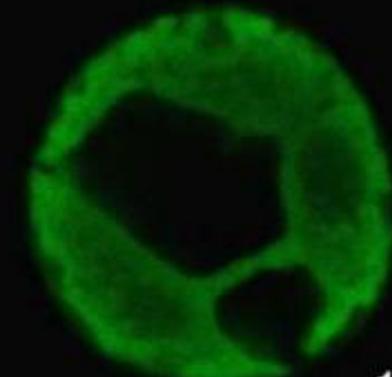
9



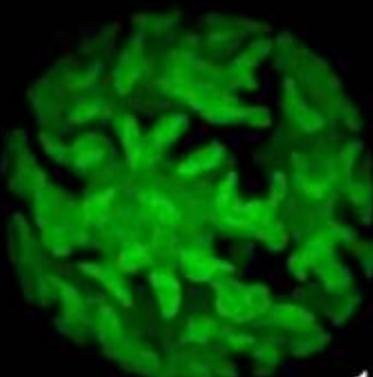
10



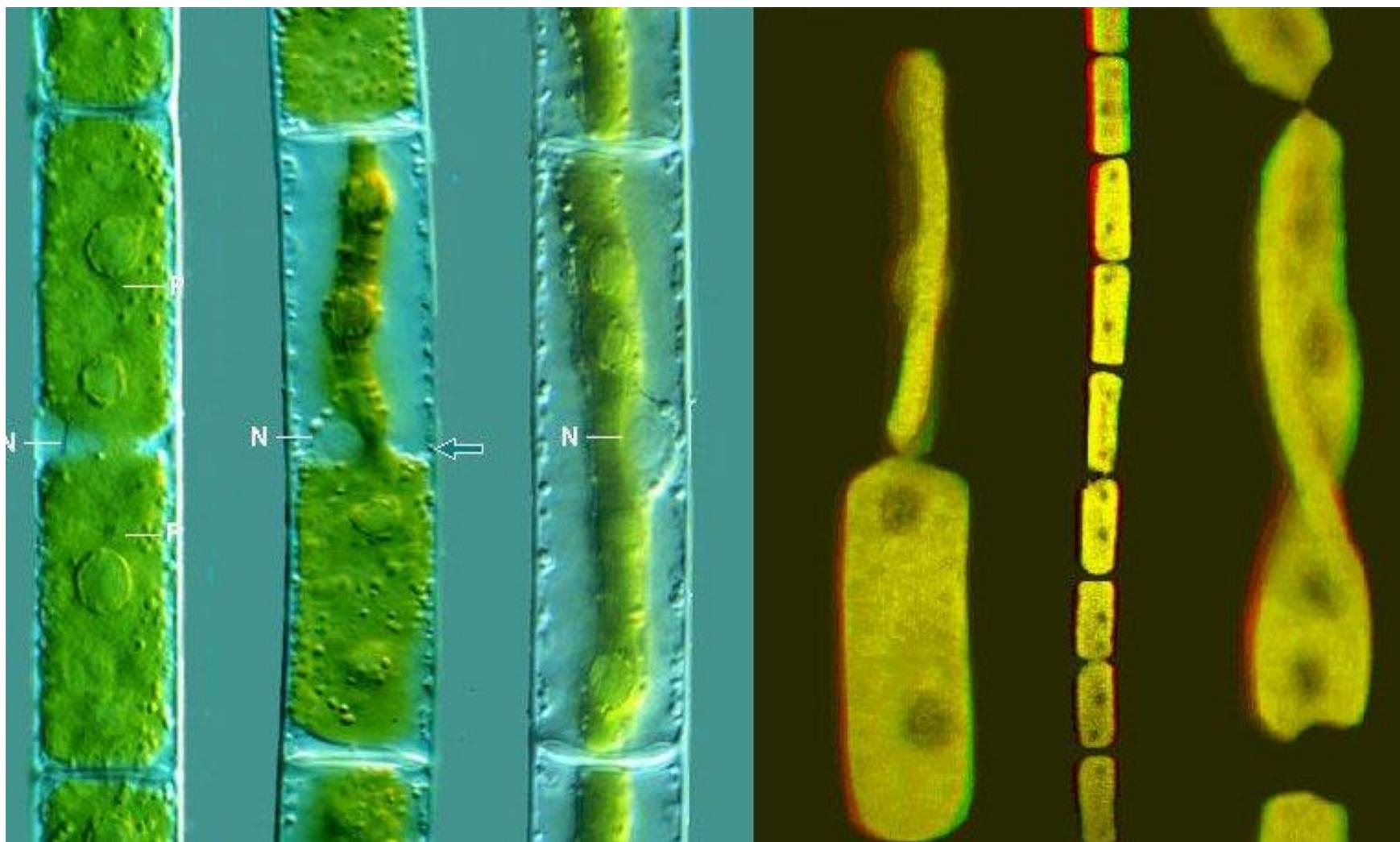
11



12



13

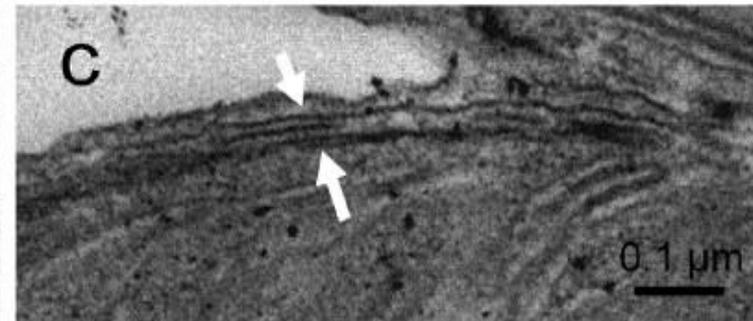
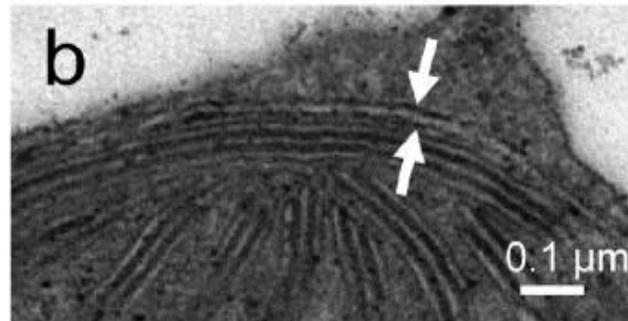
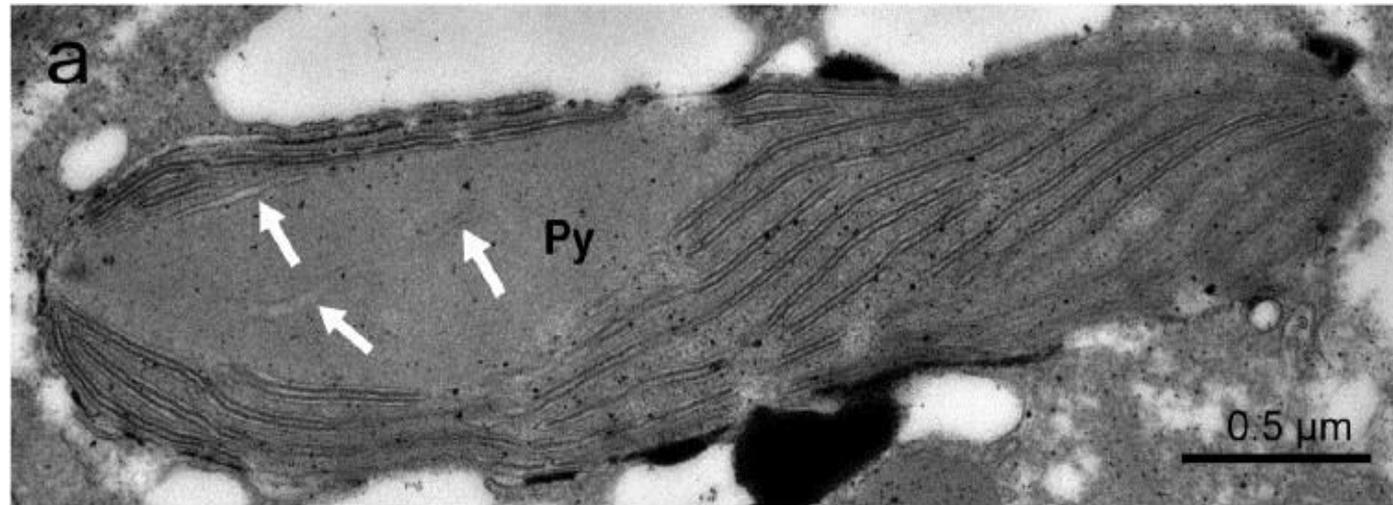


## *Mougeotia* sp.

....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)

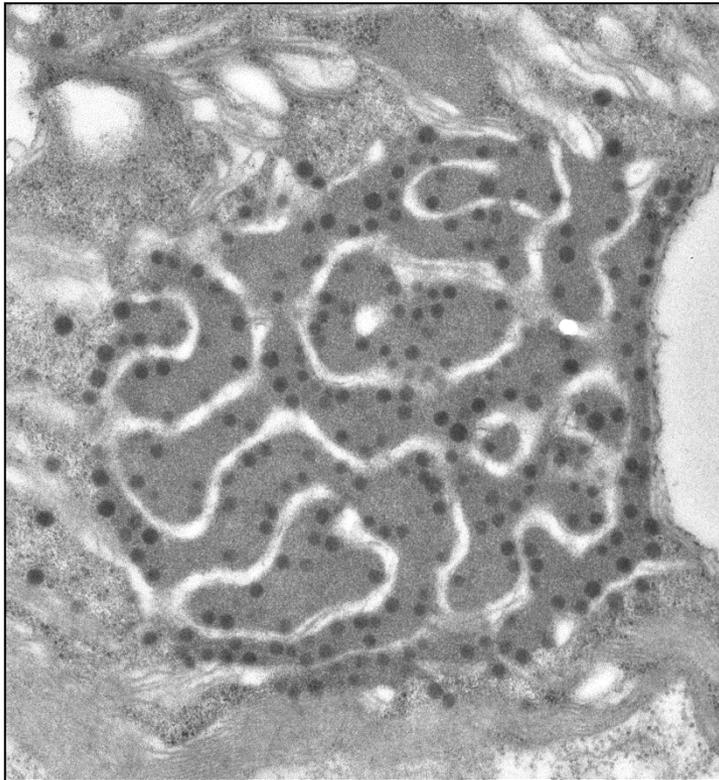
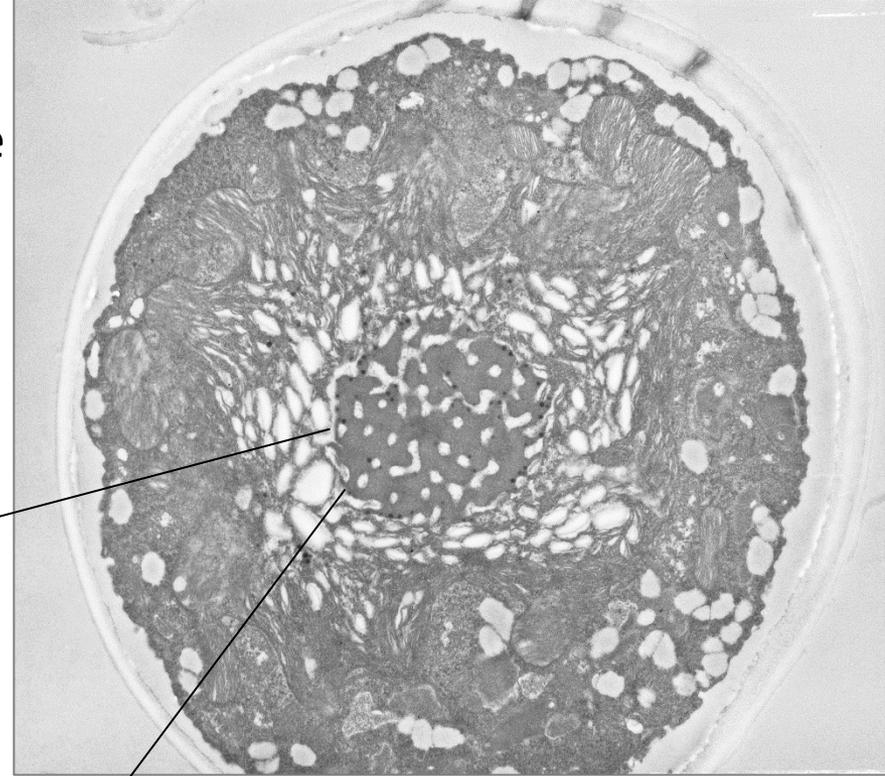


**PIRENOIDE**



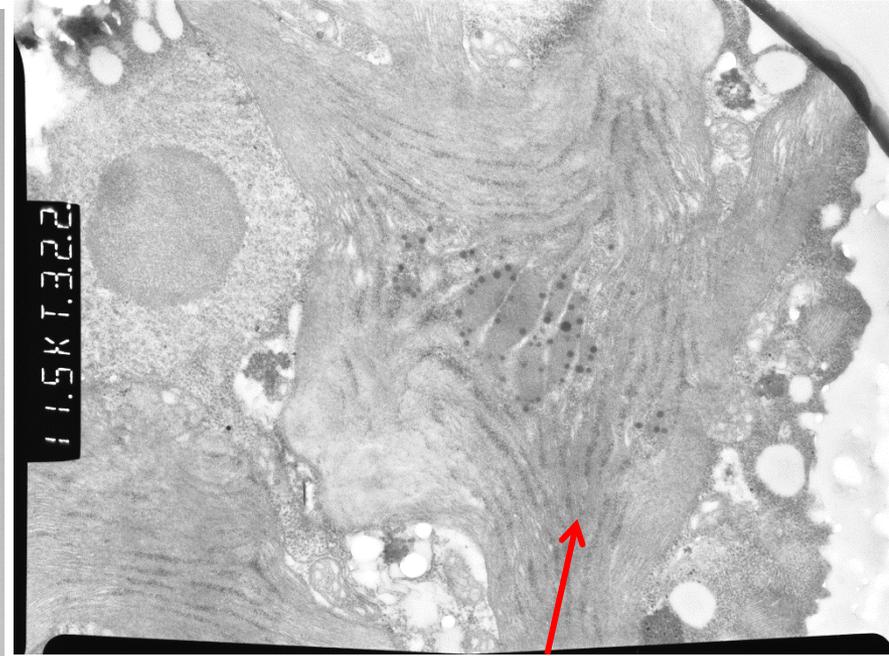
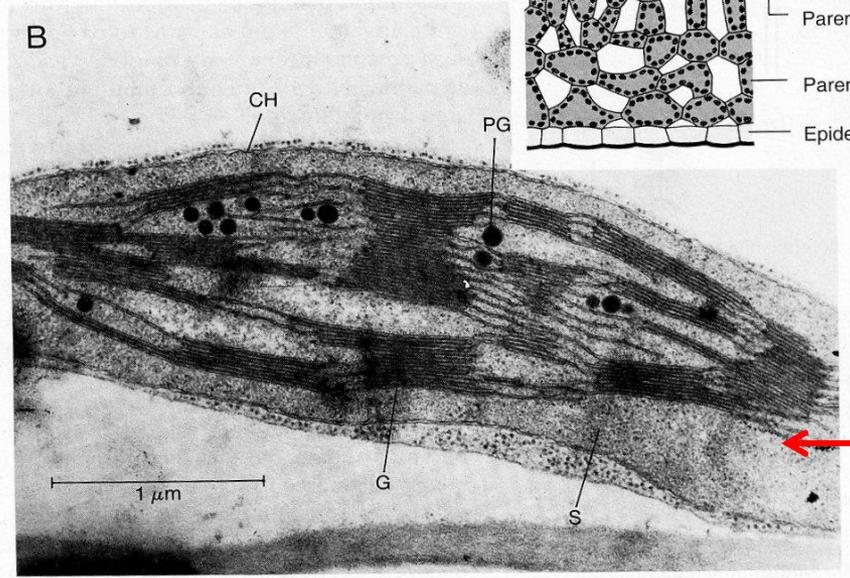
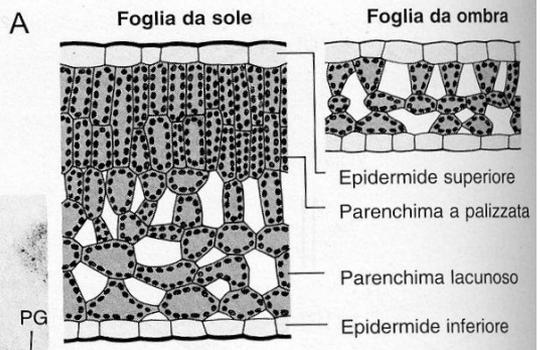
**PIRENOIDE:** presenti anche in epatiche; associati al meccanismo di concentrazione della  $\text{CO}_2$  presso l'aggregato enzimatico della rubisco.

**RUBISCO:** enzima che lega  $\text{CO}_2$  ad un pentoso (zucchero 5 atomi di C), primo step dell'**organizzazione** della  $\text{CO}_2$ .

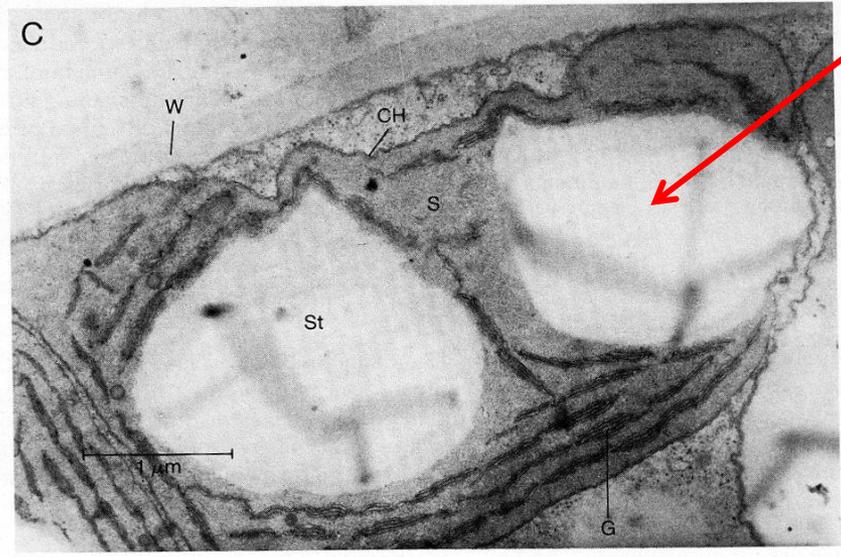


Pirenoide coinvolto nella formazione di amido??? → NO!

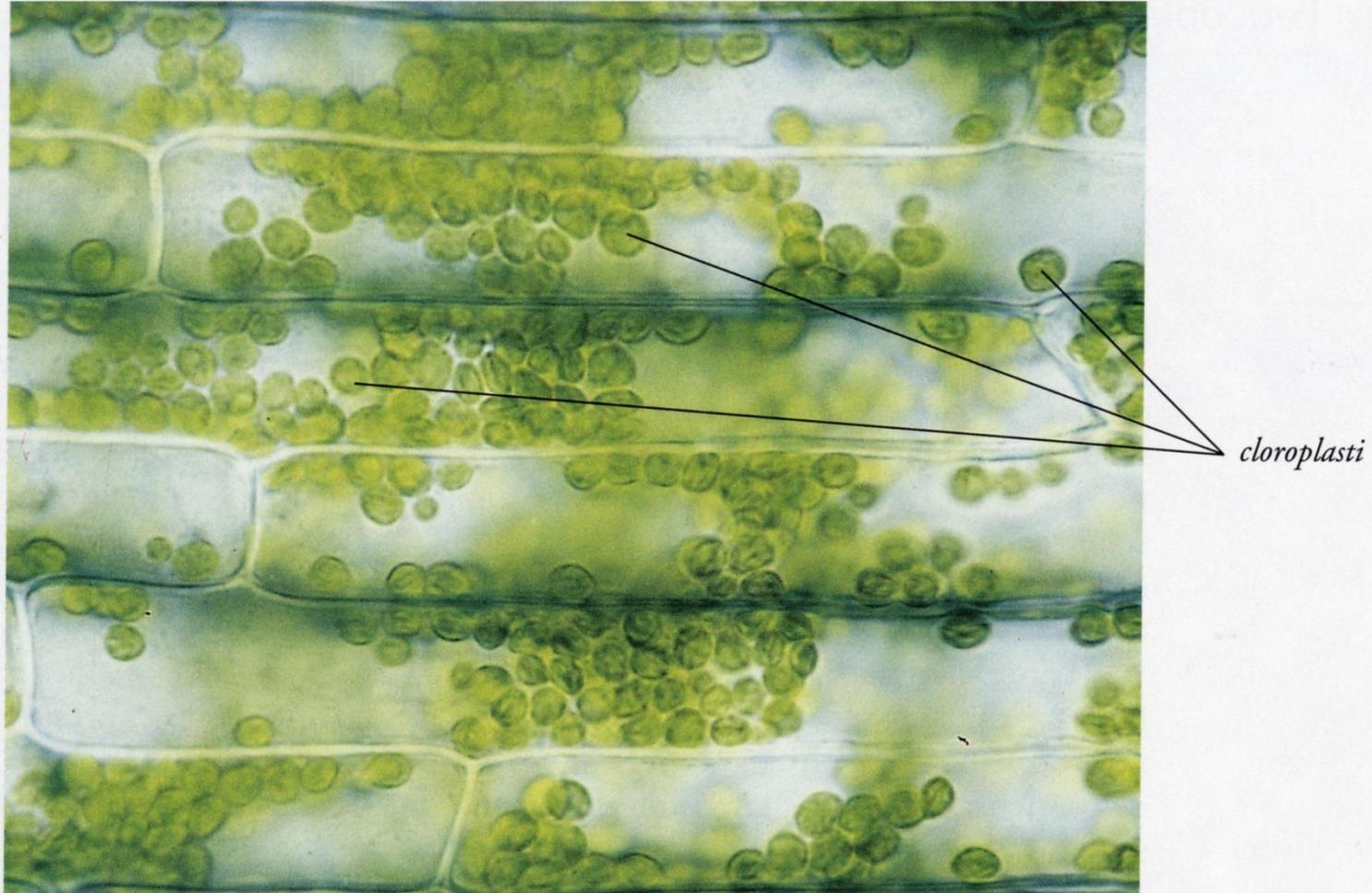
- mutanti privi di pirenoidi in cui si ha la formazione di depositi di amido,
- mutanti che hanno pirenoidi *non* (!!!) associati alla formazione di depositi di amido.



**Membrane fotosintetiche**  
**Granulo di amido primario**



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)

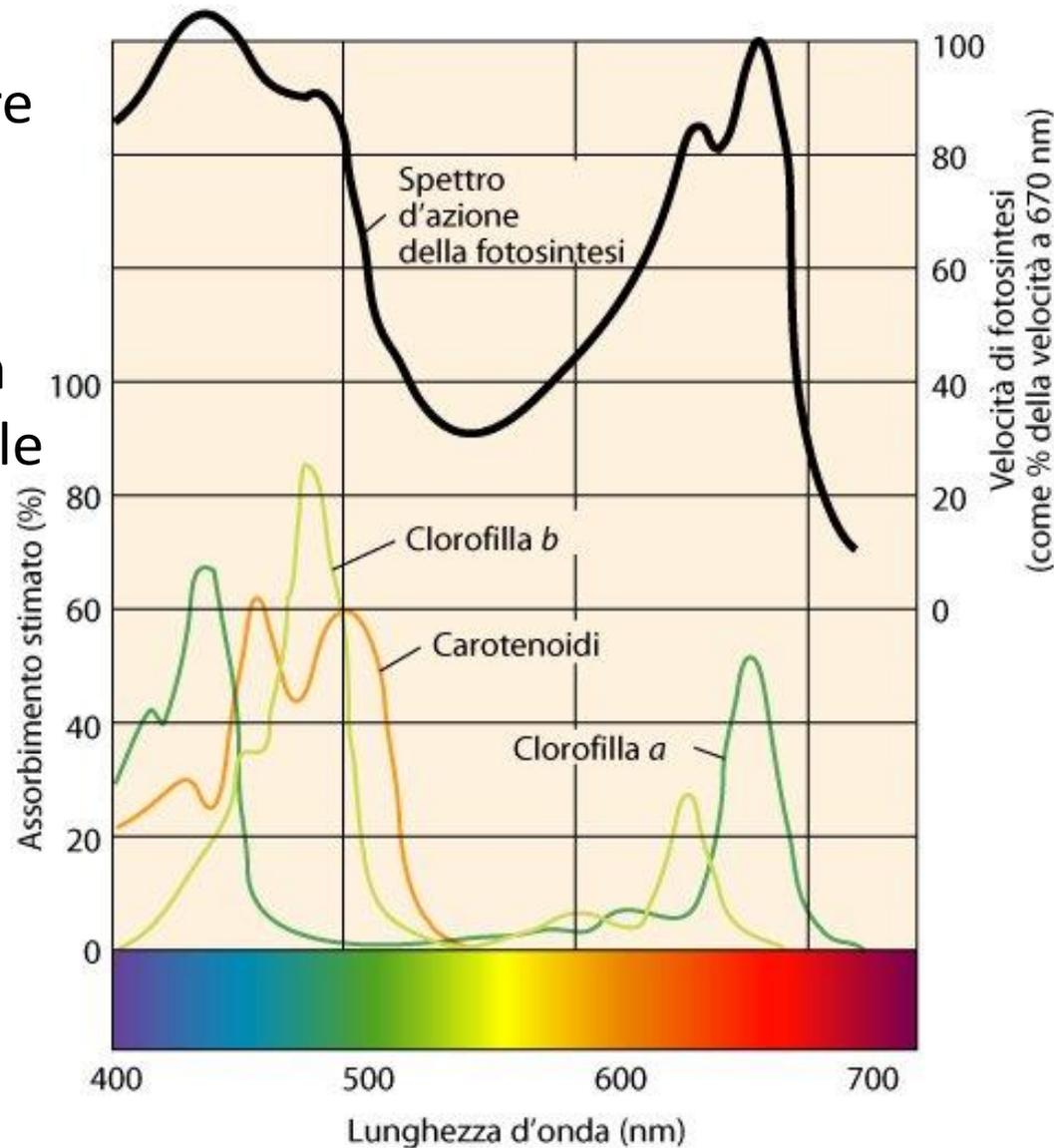
## Pigmenti dei chloroplasti:

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

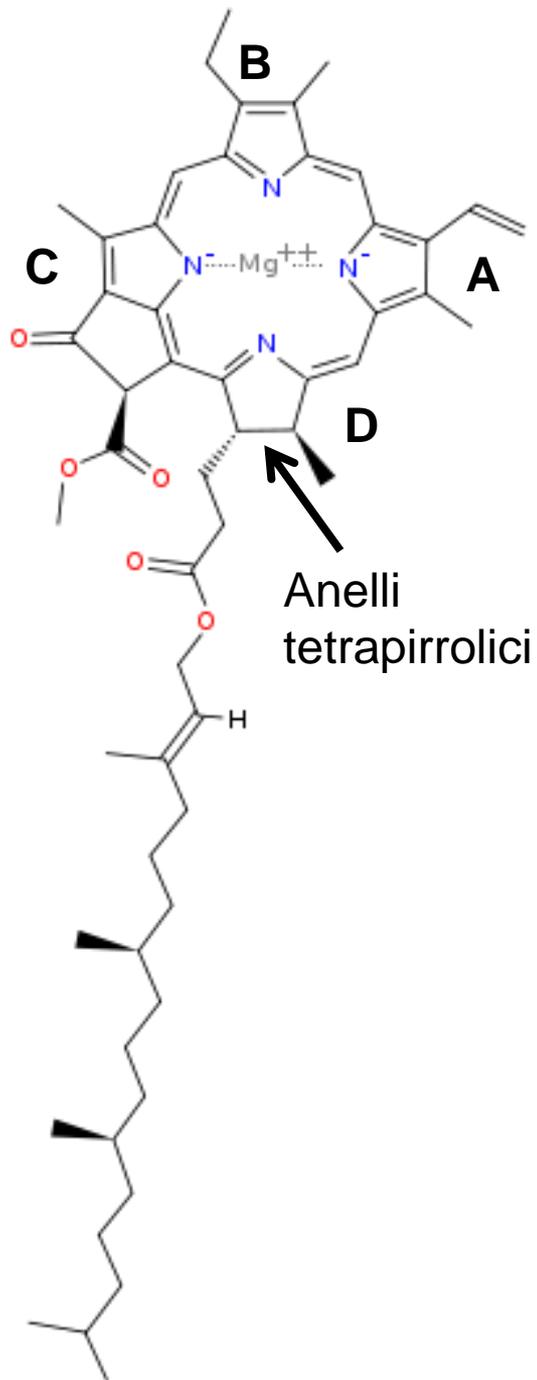
**clorofilla b:** dalle alghe verdi in  
su, associata a clorofilla a, simile  
nella struttura molecolare, ma  
diverse proprietà.

**carotenoidi, beta carotene**  
(sempre presente)

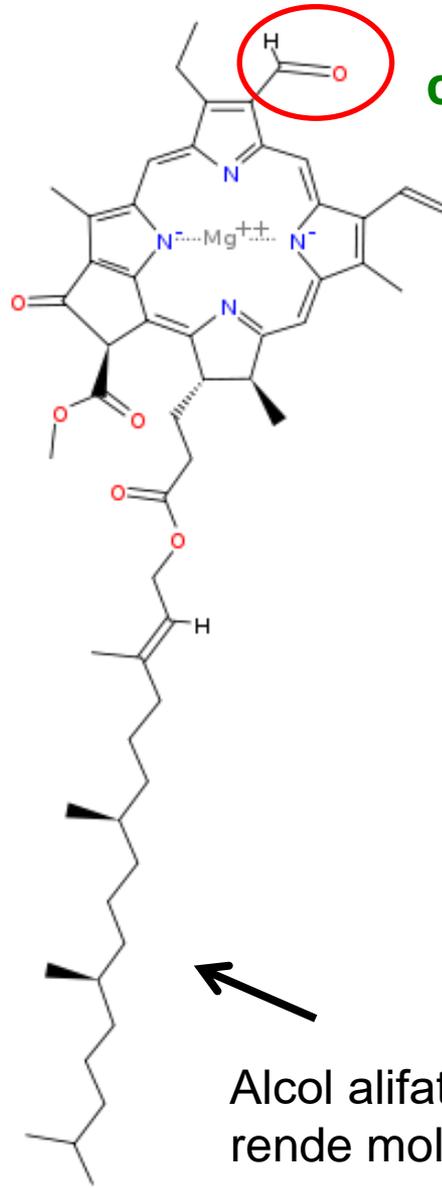
**Xantofille:** f(x) assorbimento  
dell'energia luminosa &  
“fotoprotezione”.



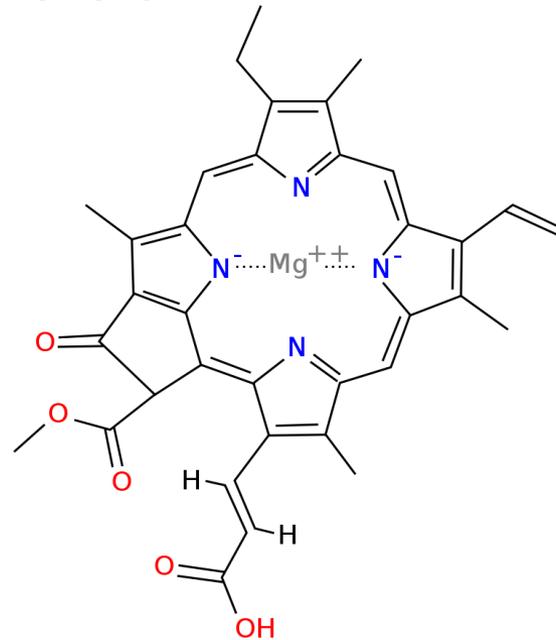
**clorofilla a:** anello porfirinico, catena idrofoba per ancoraggio ai tilacoidi



**clorofilla b:** gruppo aldeidico

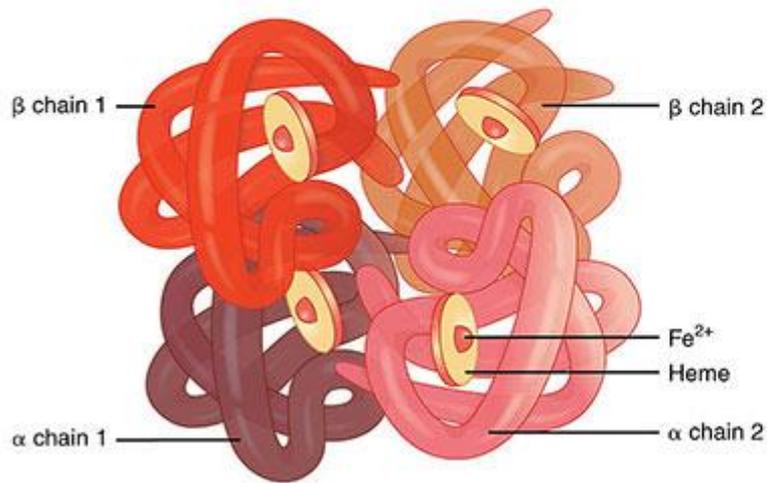


**clorofilla c:** mancanza fitolo anello D

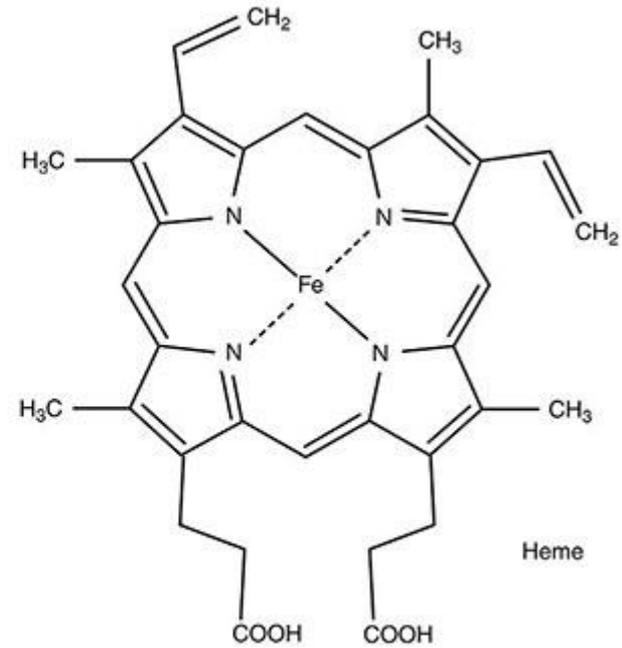


Alcol alifatico (fitolo) esterificato all'anello D -> rende molecola idrofobica

.... analogia con emoglobina negli animali!



(a)



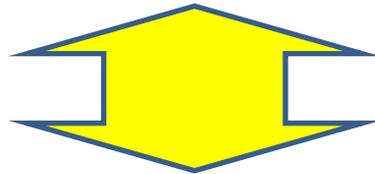
(b)



## **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 !!!

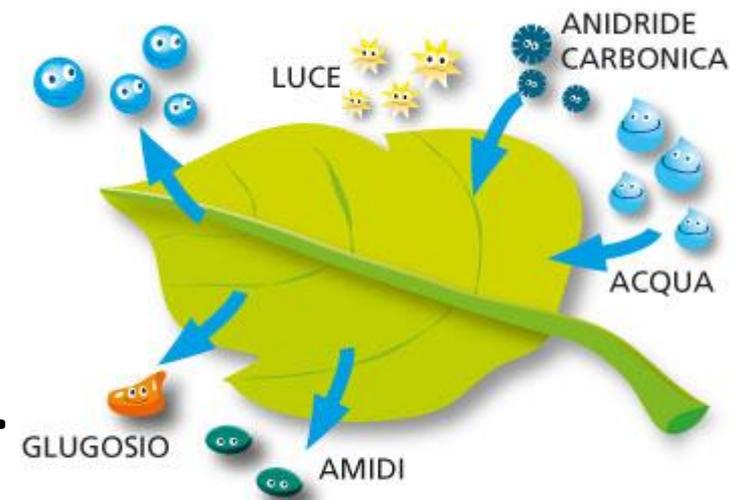


elevate concentrazioni di ATP e potere riducente a livello stromatico.

## 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:

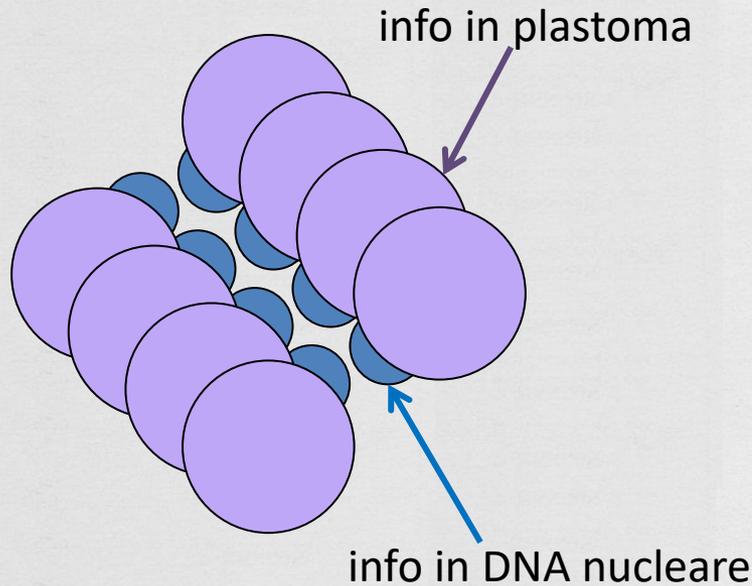
- **In stroma**: DNA, ribosomi, prodotti, substrati... enzimi coinvolti in processi metabolici,

**RUBISCO**: Ribulosio 1,5 bifosfato carbossilasi-ossigenasi, enzima chiave della fissazione di CO<sub>2</sub> su substrato organico (pentoso = zucchero a 5 atomi di C attivato da due gruppi fosforici).

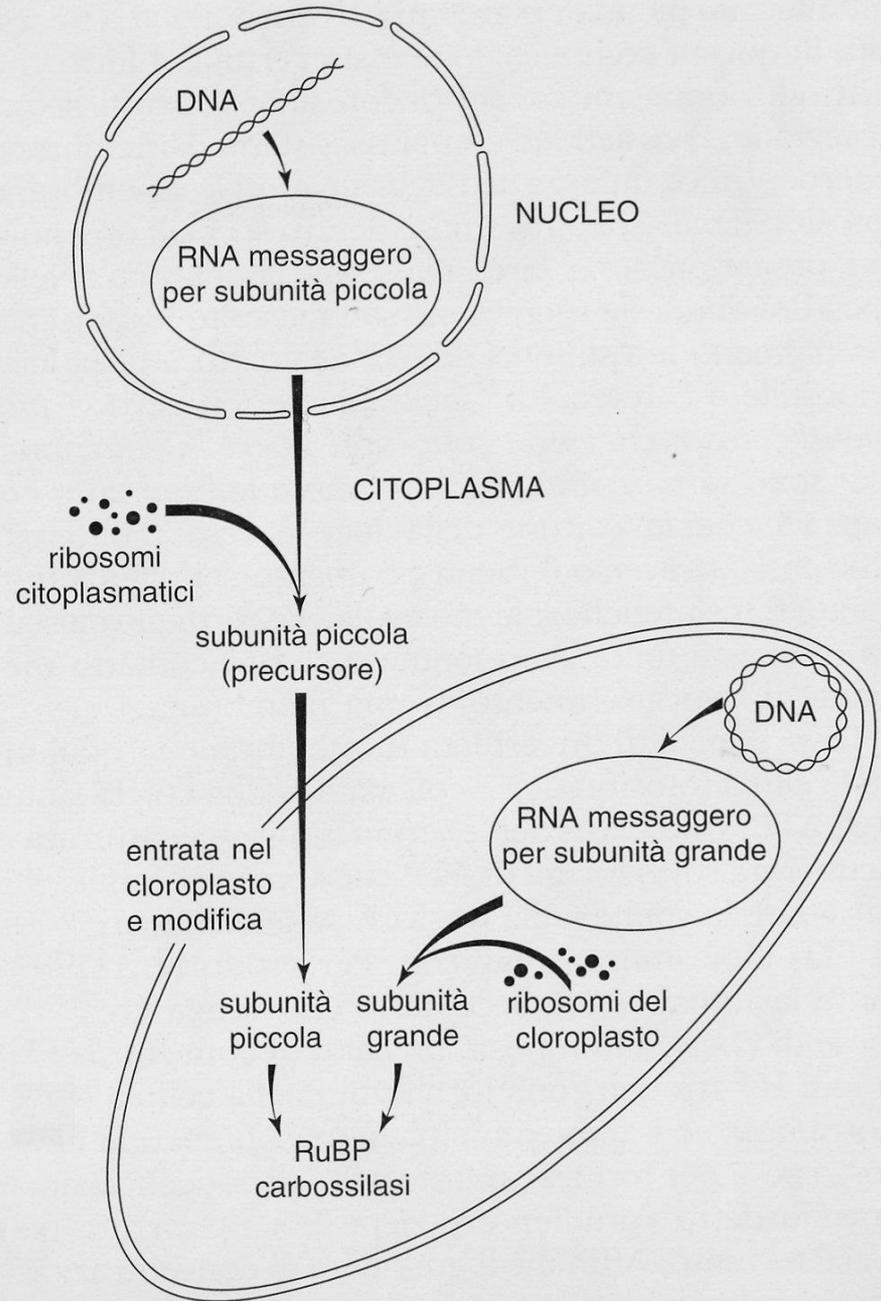
- **Sulle membrane tilacoidali**: pigmenti per assorbimento della luce, organizzati in **fotosistemi** (in unità funzionali), **catene ossidoriduttive** formate da molte molecole diverse per natura e struttura.

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

# RUBISCO

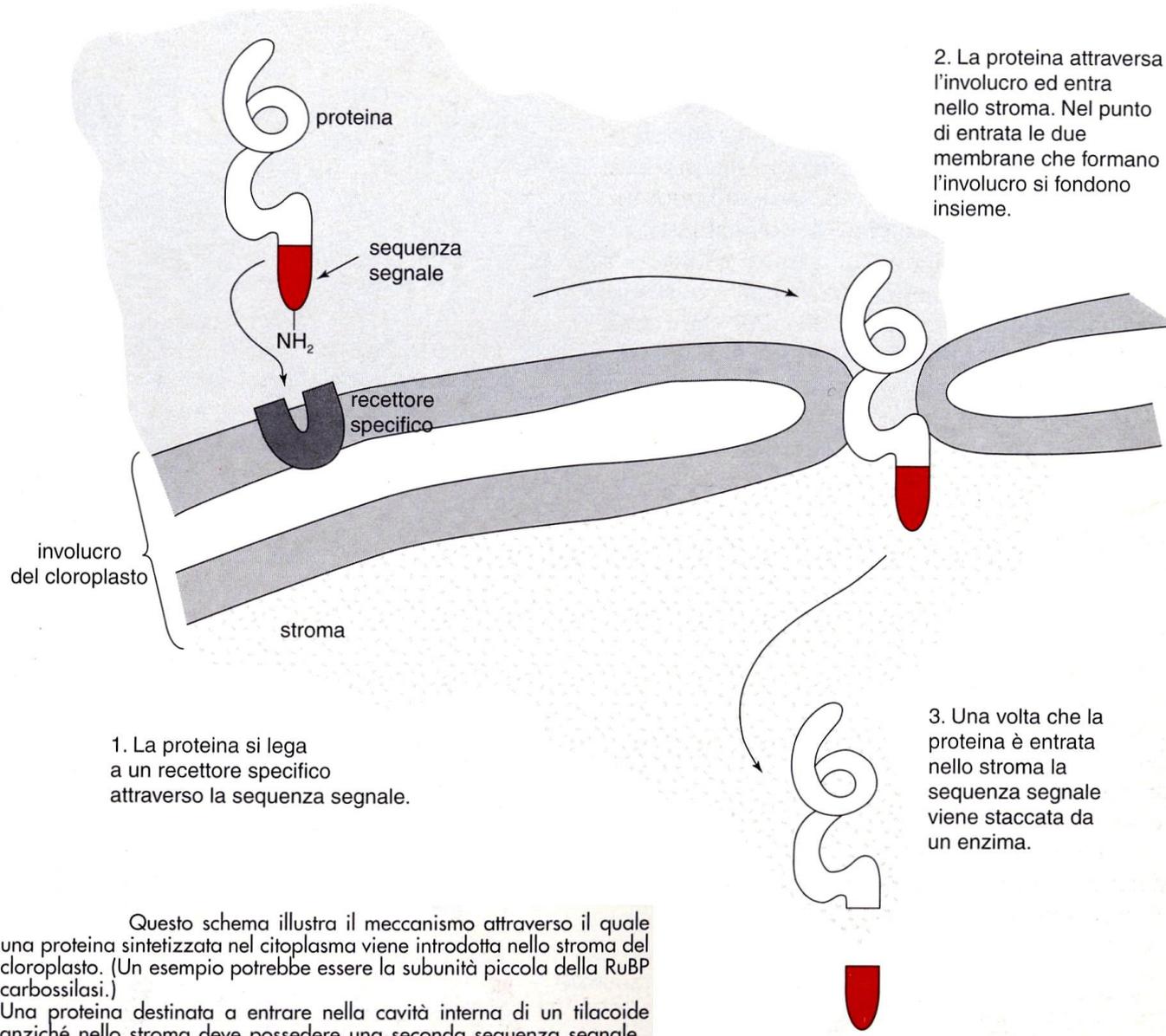


La ribulosibisfosfato carbossilasi (RuBP carbossilasi) dei cloroplasti è fatta da 8 subunità grandi e 8 subunità piccole. L'informazione per costruire la subunità grande è contenuta nel DNA dei cloroplasti, quella per costruire la subunità piccola nel DNA nucleare. Nel citoplasma viene sintetizzato un 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

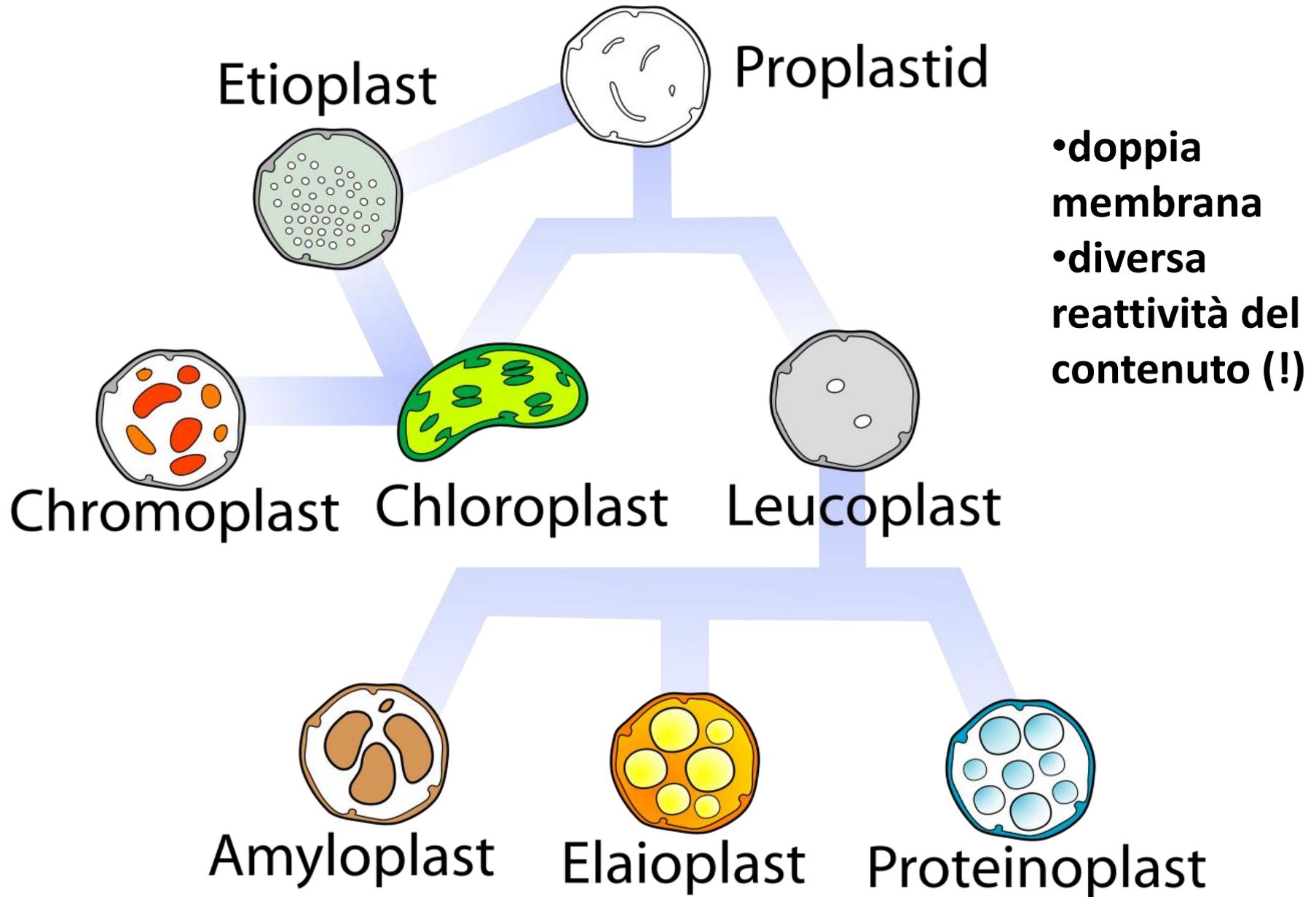


Questo schema illustra il meccanismo attraverso il quale una proteina sintetizzata nel citoplasma viene introdotta nello stroma del cloroplasto. (Un esempio potrebbe essere la subunità piccola della RuBP carbossilasi.)

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

# Plastids

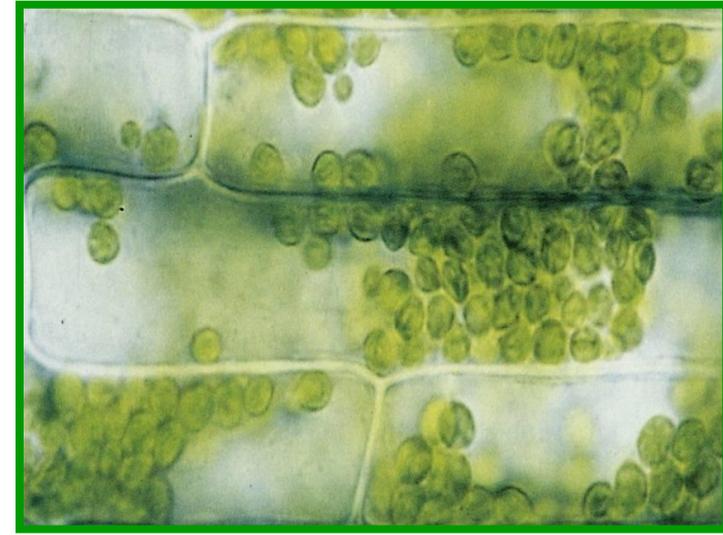
---



Famiglia di organuli propri degli organismi fotoautotrofi ossigenici eucariotici.

Multiple f(x).

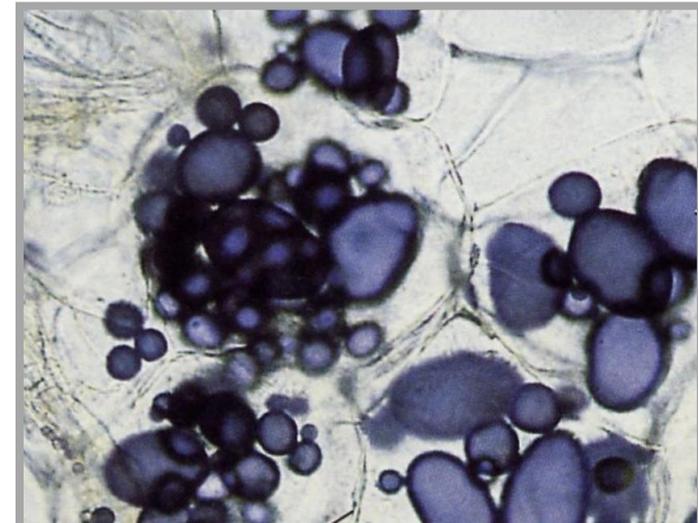
**Cloroplasti**: assimilazione della  $\text{CO}_2$  (fotosintesi) e molto altro...



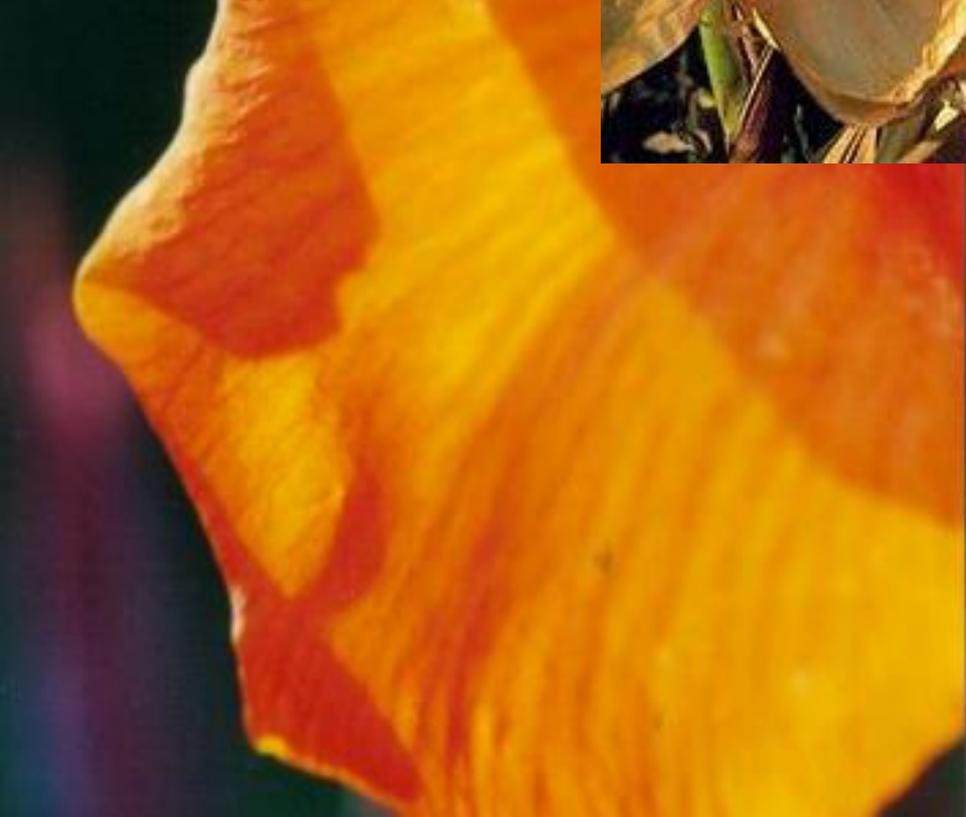
**Cromoplasti**: accumulo di pigmenti lipofili (per colorare i tessuti, ma talvolta anche come sostanze di riserva)



**Leucoplasti**: accumulo di sostanze di riserva

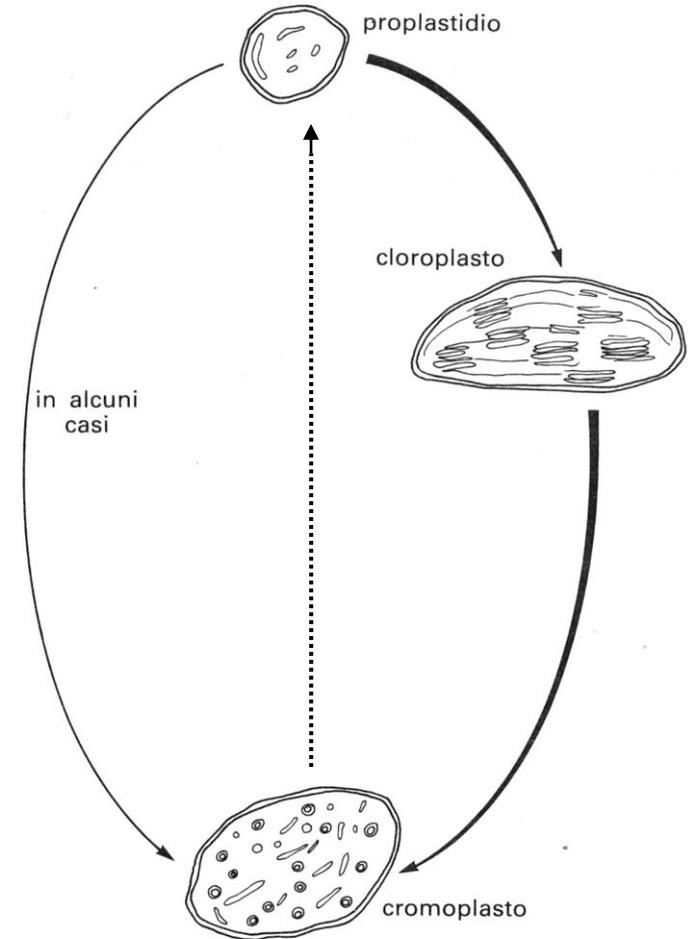


# CROMOPLASTI



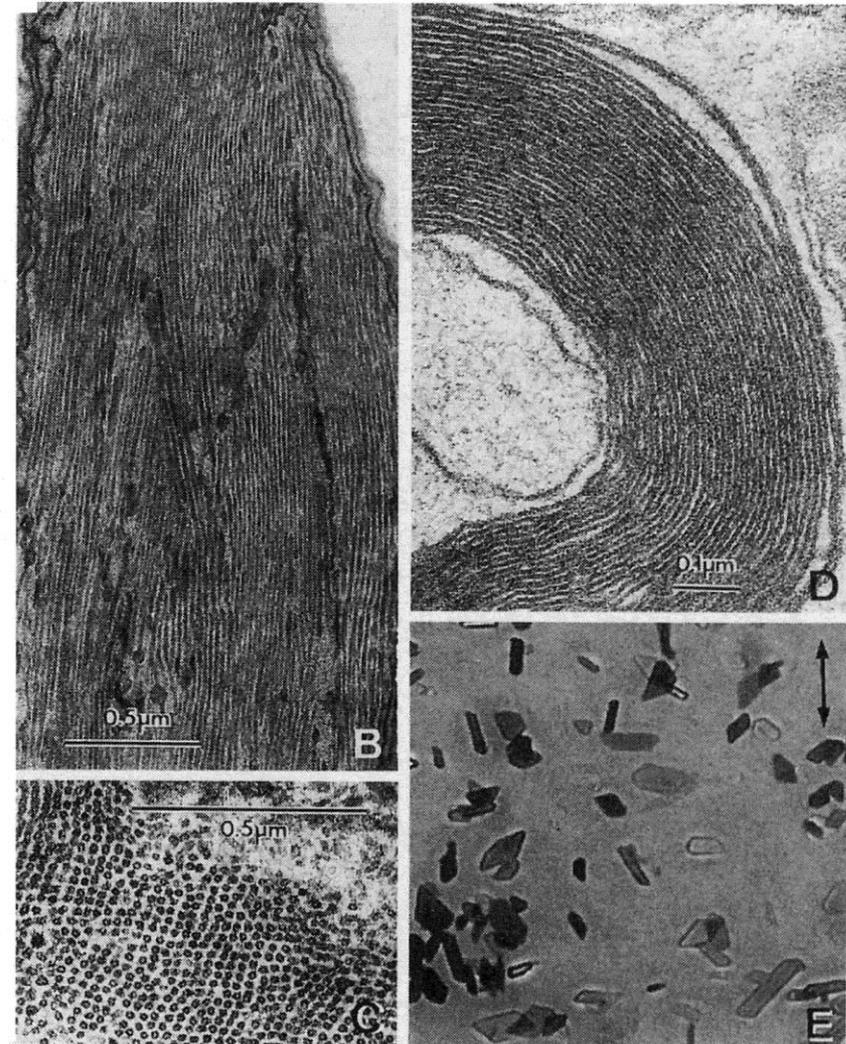
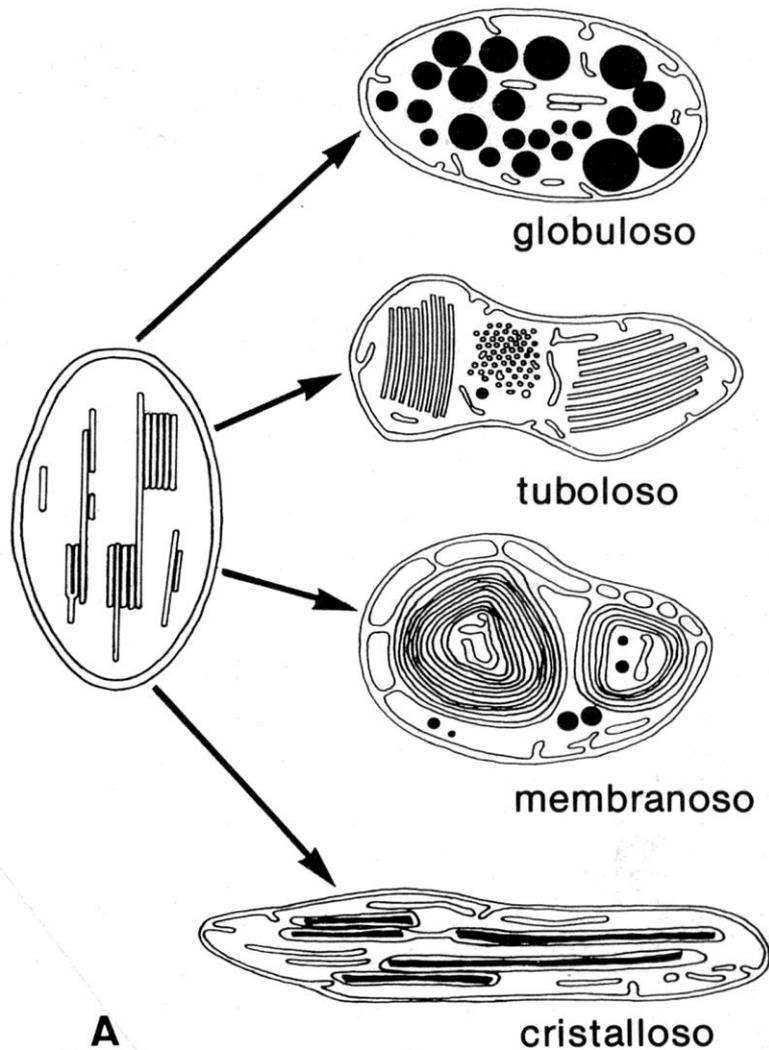
# CROMOPLASTI

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



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.

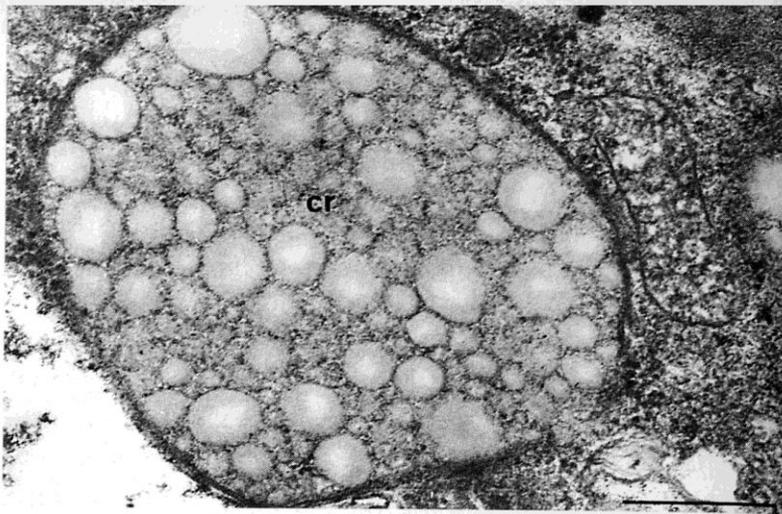
# CROMOPLASTI



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 cristallinosi dalla

radice di carota in luce polarizzata; i cristalli di  $\beta$ -carotene sono dicroici, l'assorbimento della luce dipende dalla direzione di oscillazione della radiazione luminosa (freccia) (A da H. Mohr e P. Schopfer, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Springer-Verlag, Berlin, 4a edizione 1991. B-D originali. E 750:1, preparato di D. Kuhnen).

# CROMOPLASTI



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  $\mu\text{m}$ )

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).



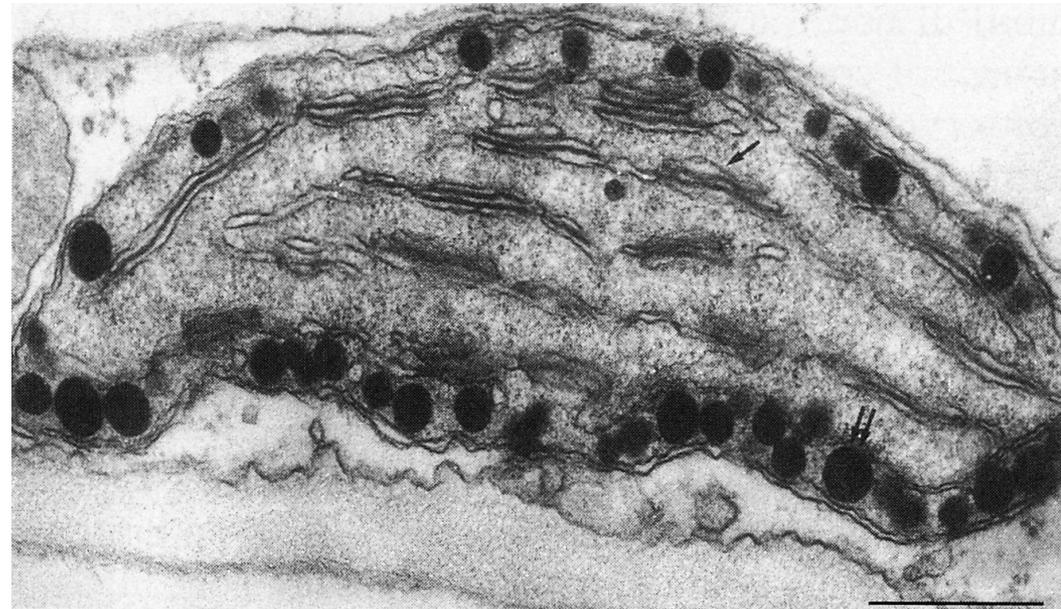


## GERONTOPLASTI

## (i falsi) CROMOPLASTI

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) → degenerazione dei cloroplasti con degradazione delle clorofille e dei tilacoidi → formazione di plastoglobuli, “scoprendo” i carotenoidi già presenti, senza che si verifichi un loro aumento → plastidi senescenti = **gerontoplasti**

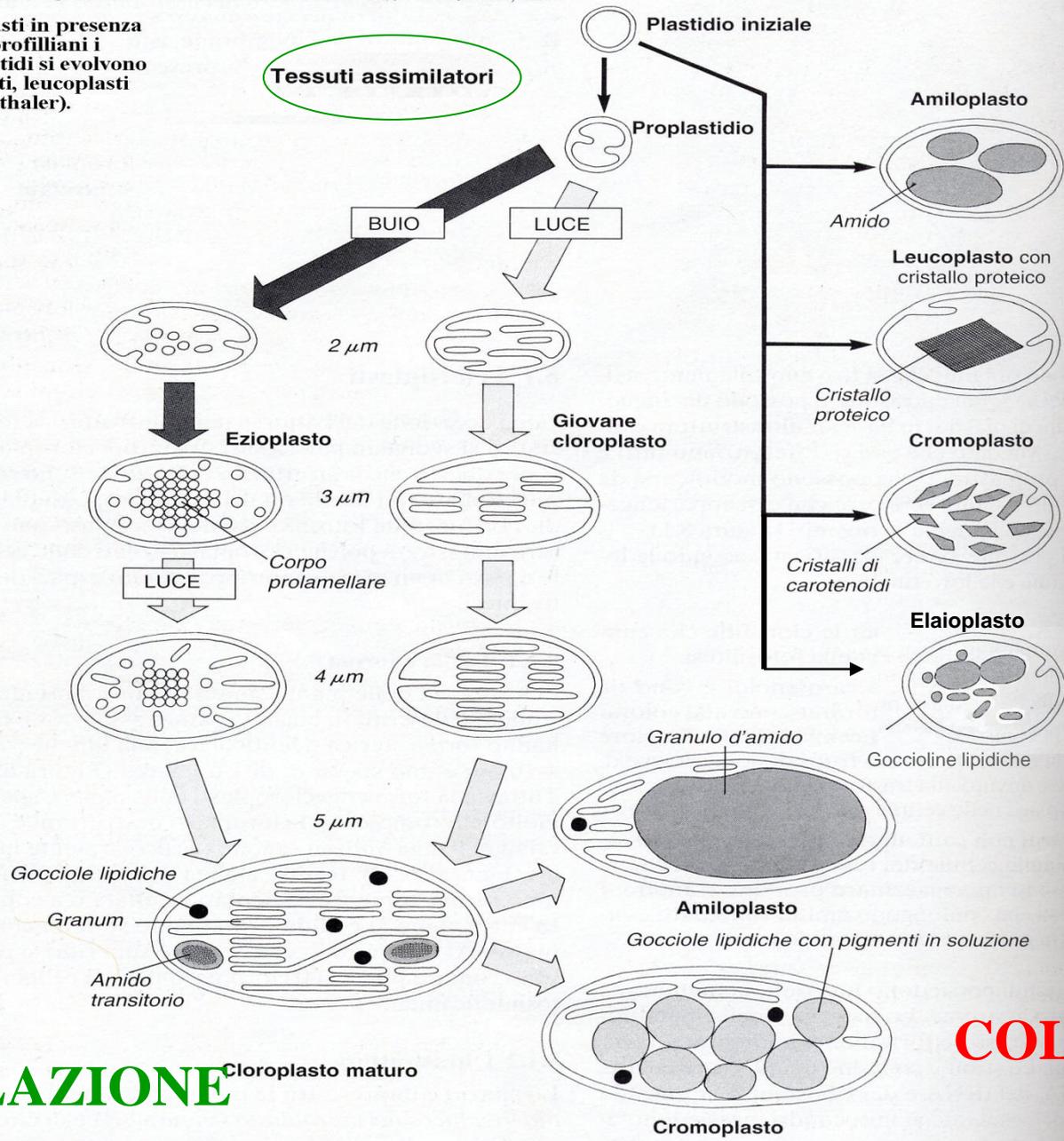


**Tessuti non clorofilliani**

**Tessuti assimilatori**

Schema dello sviluppo dei diversi tipi di plastidi. La via principale corrisponde allo sviluppo di un proplastidio e del plastidio iniziale in un plastidio fotosinteticamente attivo. Quest'ultimo si trasformano in cloroplasti in presenza di luce. Nei tessuti non clorofilliani i plastidi iniziali e i proplastidi si evolvono direttamente in amiloplasti, leucoplasti o cromoplasti (da Lichtenthaler).

timo si può trasformare in un amiloplasto con funzione di riserva di amido. Può anche degenerare, trasformandosi in cromoplasto (frutti in maturazione). Al buio si formano degli ezioplasti, che



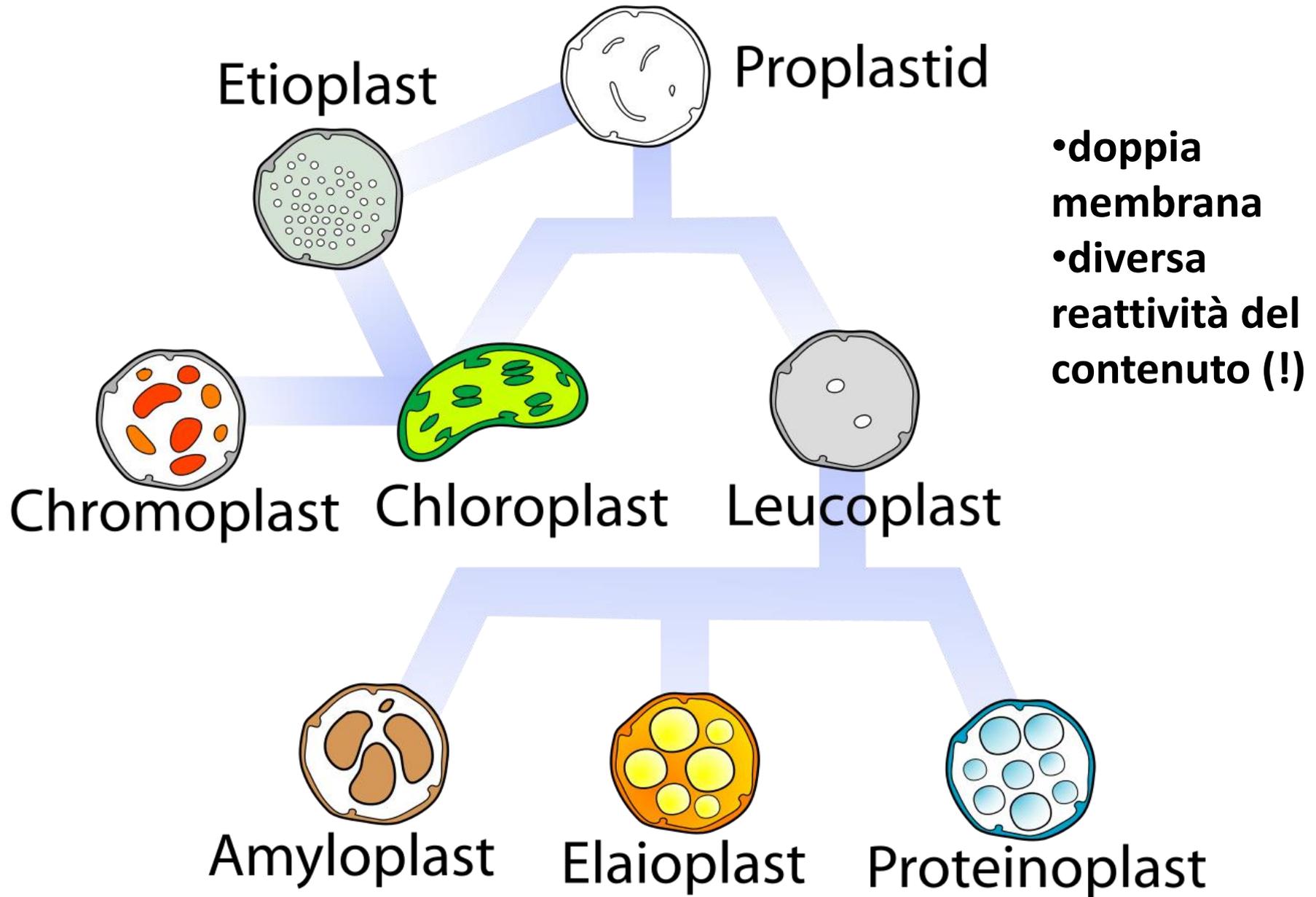
R  
I  
S  
E  
R  
V  
A

**ASSIMILAZIONE** Cloroplasto maturo

**COLORAZIONE**

# Plastids

---



# PLASTIDI DI RISERVA

Numerosi in *i*) tessuti di riserva degli organi di riserva (tuberi, bulbi, bulbotuberi, radici tuberizzate), *ii*) parte corticale di alcuni cauli (subito sotto lo strato verde più esterno), *iii*) radici.

- granuli di amido

→ **AMILOPLASTI**

- cristalli di  
proteine →

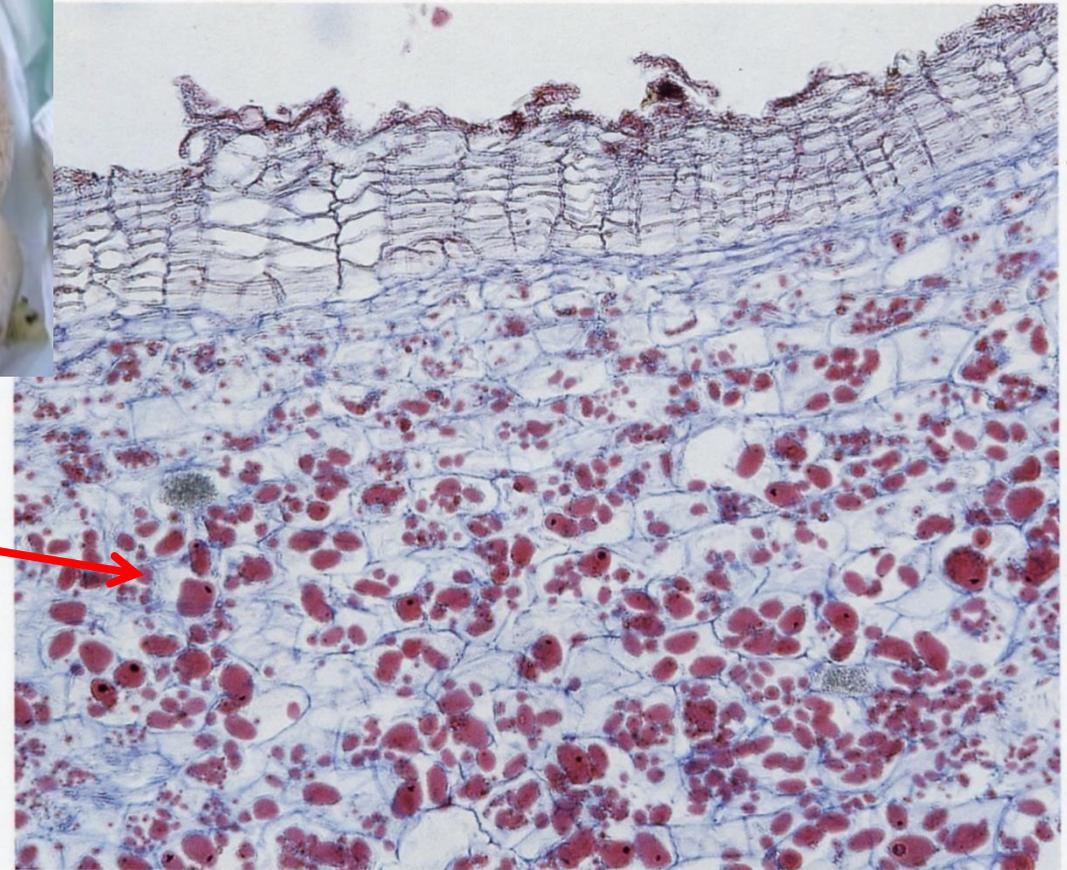
**PROTEOPLASTI**

- olii o grassi →

**ELAIOPLASTI**



# TUBERO DI PATATA

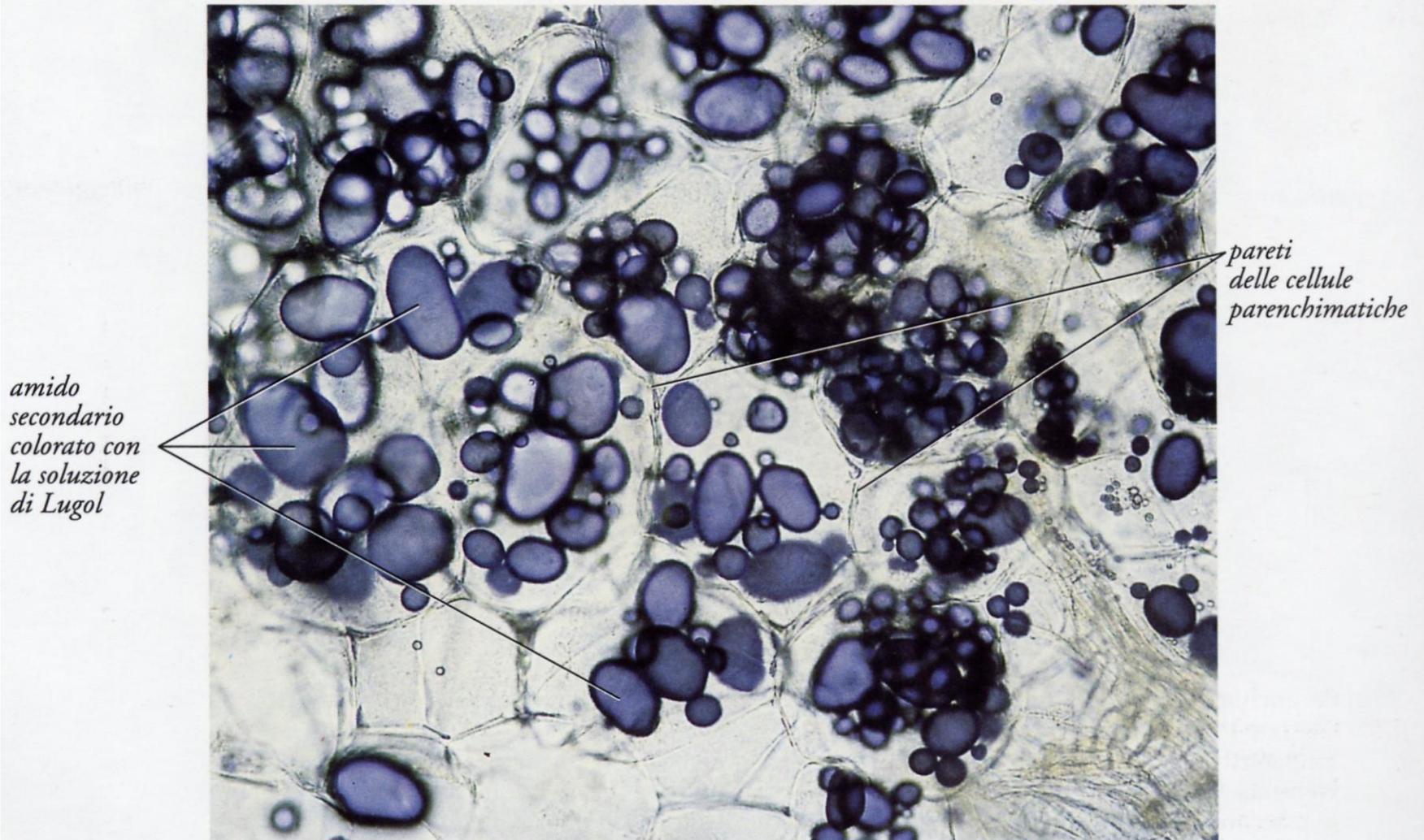


**Parenchima amilifero  
con amido secondario**



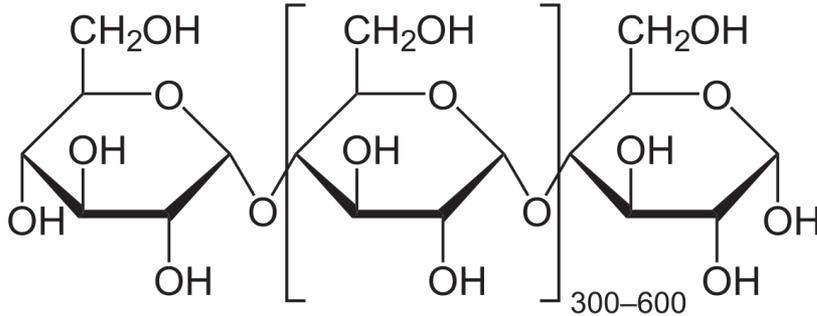
**Parenchima di riserva amilifero nel tubero di patata** (*Solanum tuberosum* L., fam. Solanaceae)  
Sezione trasversale. x 100 (100)  
Il caso più comune è quello del parenchima cosiddetto amilifero, in cui la sostanza immagazzinata è amido (secondario), contenuto nei leucoplasti.

# AMILOPLASTI

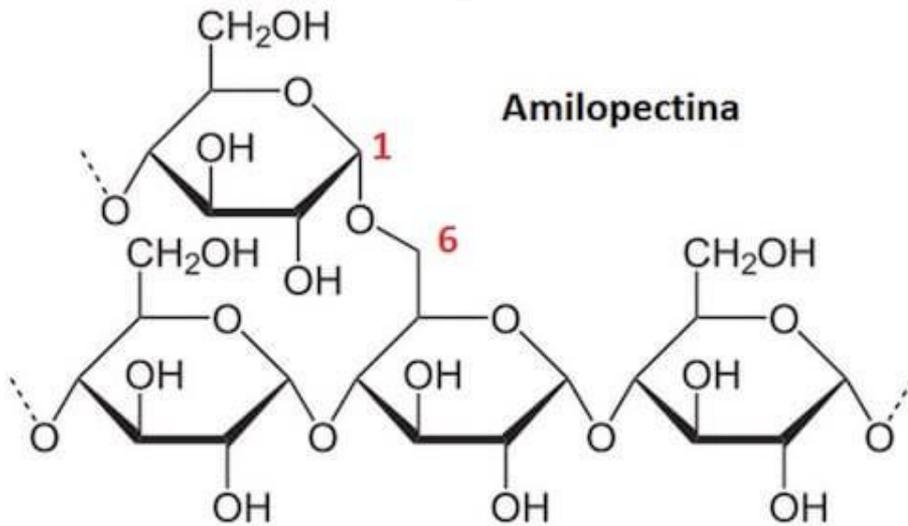
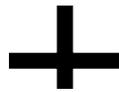


**Parenchima di riserva amilifero nel tubero di patata (*Solanum tuberosum* L., fam. Solanaceae).**  
Sezione trasversale. x 200 (200)

# Amido secondario: funzione di riserva



**Amylose** = catene **lineari** di molecole di  $\alpha$ -D(+)-glucosio unite da legami  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  (da 300 a 3000)

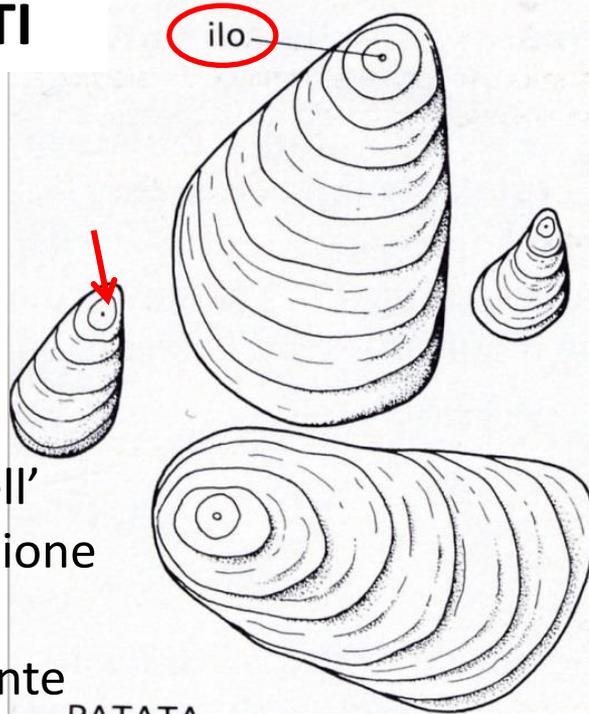


**Amylopectina** = catene **ramificate** di molecole di  $\alpha$ -D(+)-glucosio unite da legami  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  e  $\alpha(1 \rightarrow 6)$  (ogni 24-30 unità). Da 20.000 a 200.000 unità totali

Amylose e Amylopectina si possono colorare con lo iodio = colorazione più intensa dell'amylose. Amylopectina = **rosso-viola**; amylose = **azzurro - viola**

# AMILOPLASTI

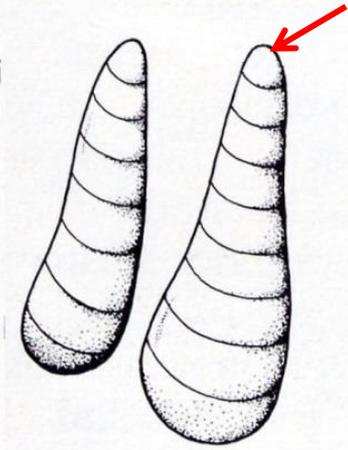
**ilo:** centro di  
aggregazione dell'  
amido; deposizione  
dell' amido  
concentricamente  
attorno



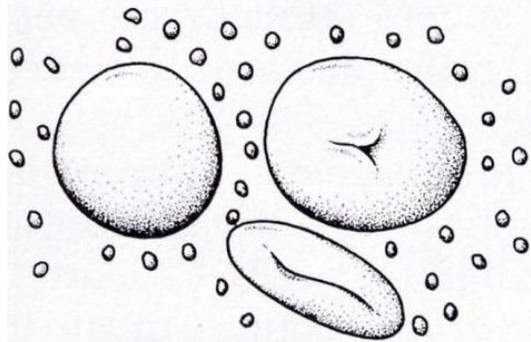
PATATA



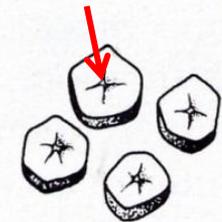
FAGIOLO



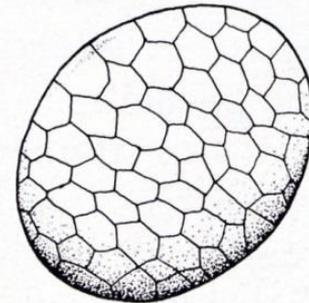
BANANA



FRUMENTO



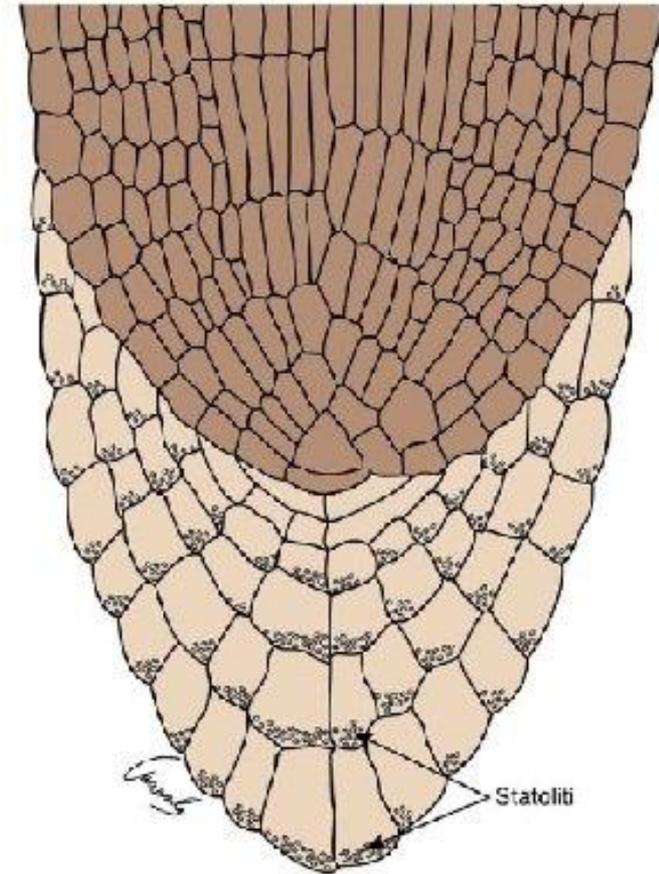
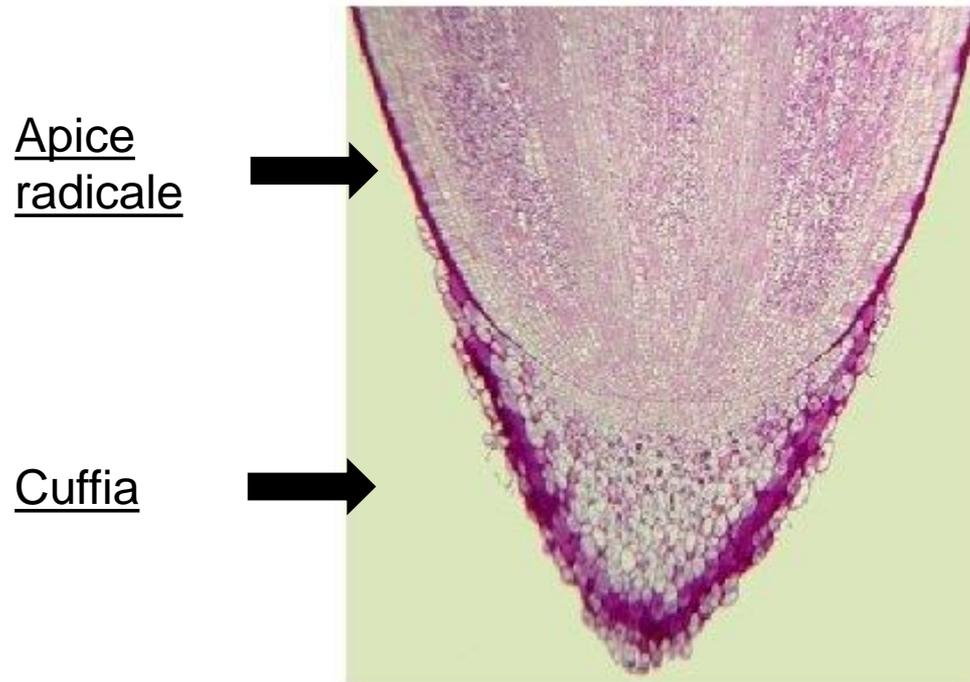
GRANTURCO



AVENA

**Granuli composti:** formati da tanti granuletti primari  
(e.g. in avena, riso, grano saraceno)

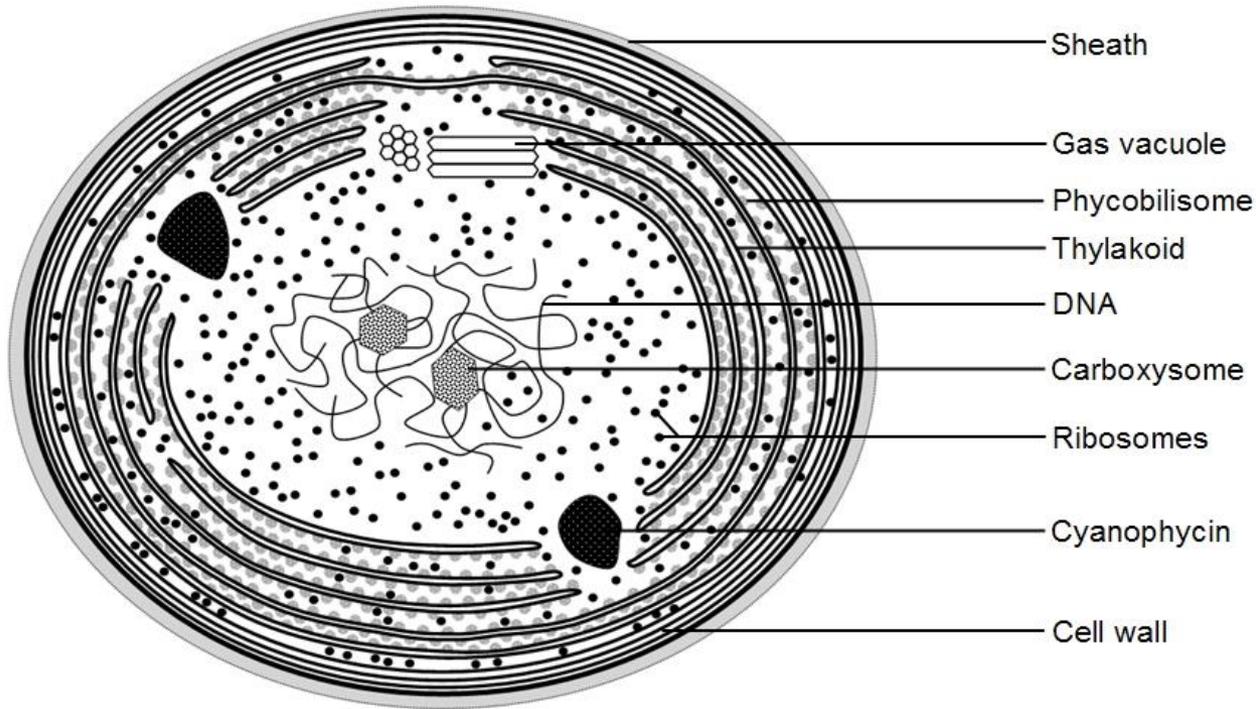
# AMILOPLASTI: presenza nelle cellule della cuffia di apici radicali -> GRAVITROPISMO



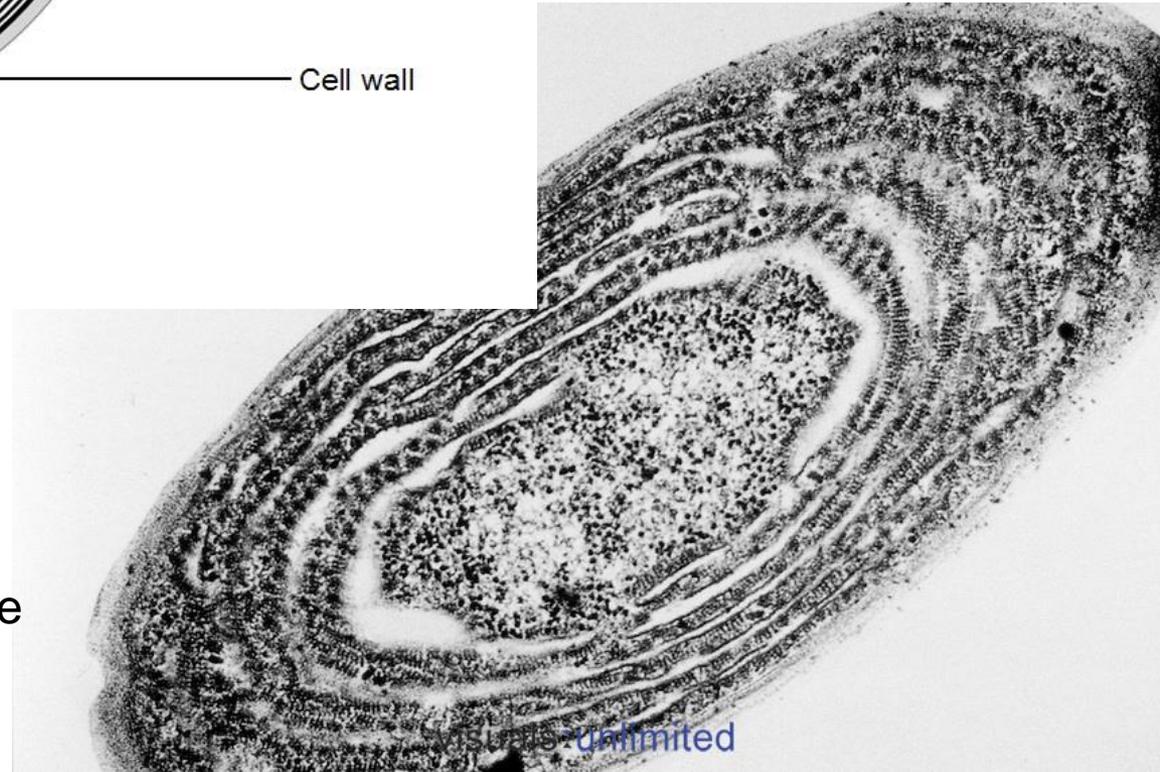
**Figura 6.11**  
Statoliti (freccie) nella cuffia di un apice radicale.



# Cross-section through a cyanobacterial cell



500 nm  
0.5  $\mu\text{m}$



*Synechococcus lividus* is a photosynthetic freshwater extreme thermophilic Cyanobacteria

# FOTOSINTESI

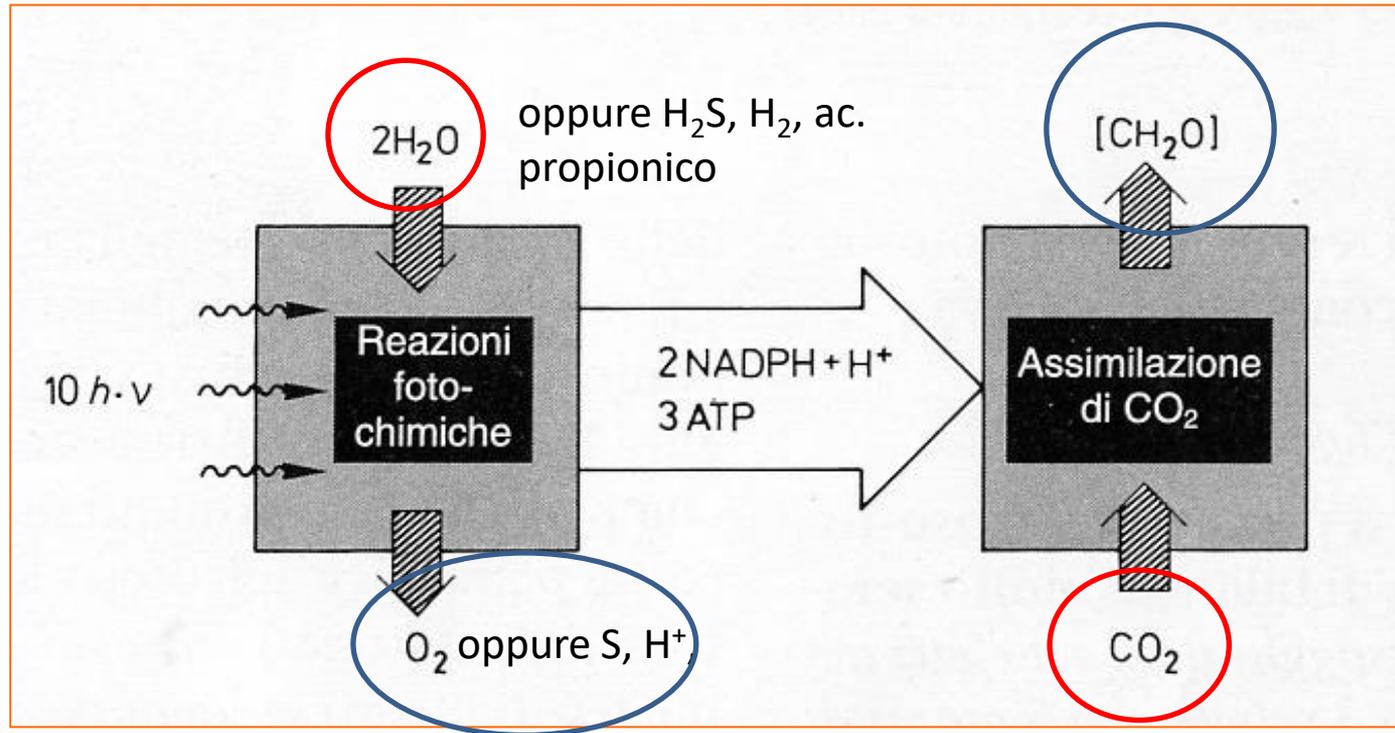
Reazione anabolica (di sintesi)

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 + complessi antenna (cattura della luce)

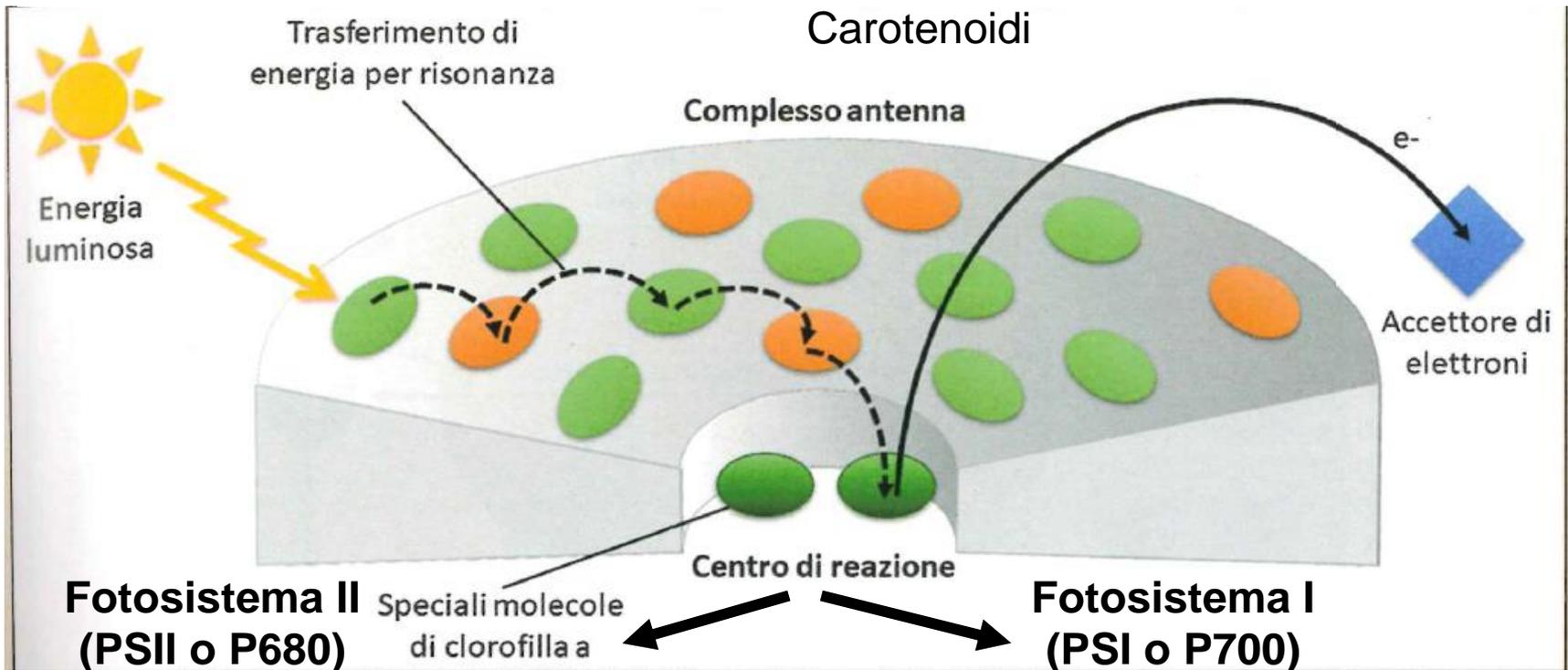


Pigmenti =

clorofilla a (ass.  $\lambda_{max}$  = 670 nm)

clorofilla b (ass.  $\lambda_{max}$  = 650 nm)

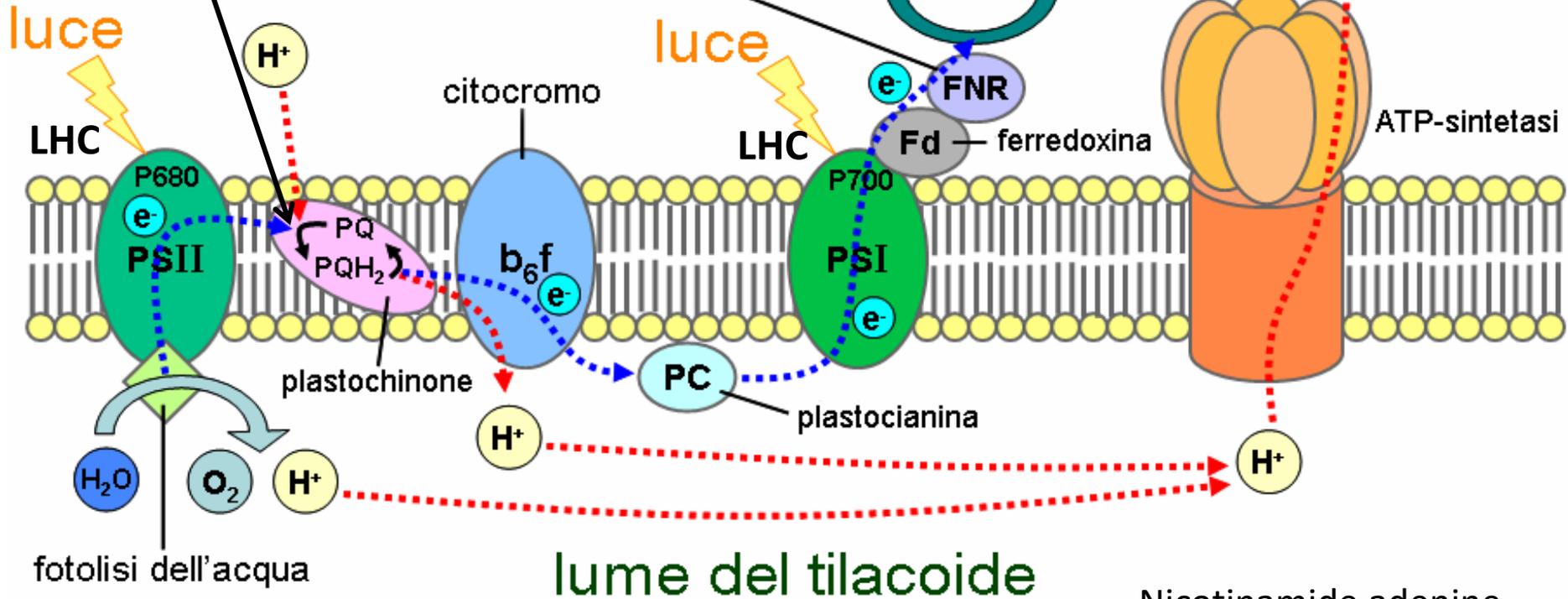
Carotenoidi



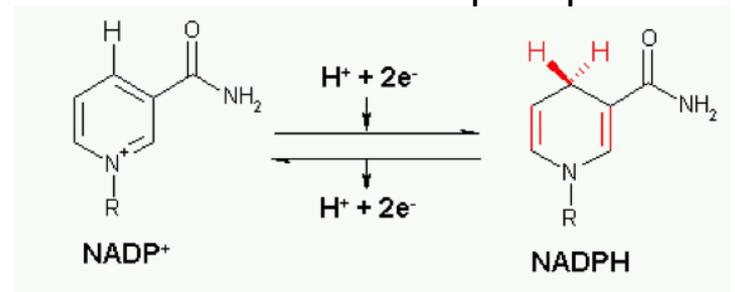
$\lambda_{max}$  = 680 nm (rosso)

$\lambda_{max}$  = 700 nm (rosso lontano)

# stroma del cloroplasto

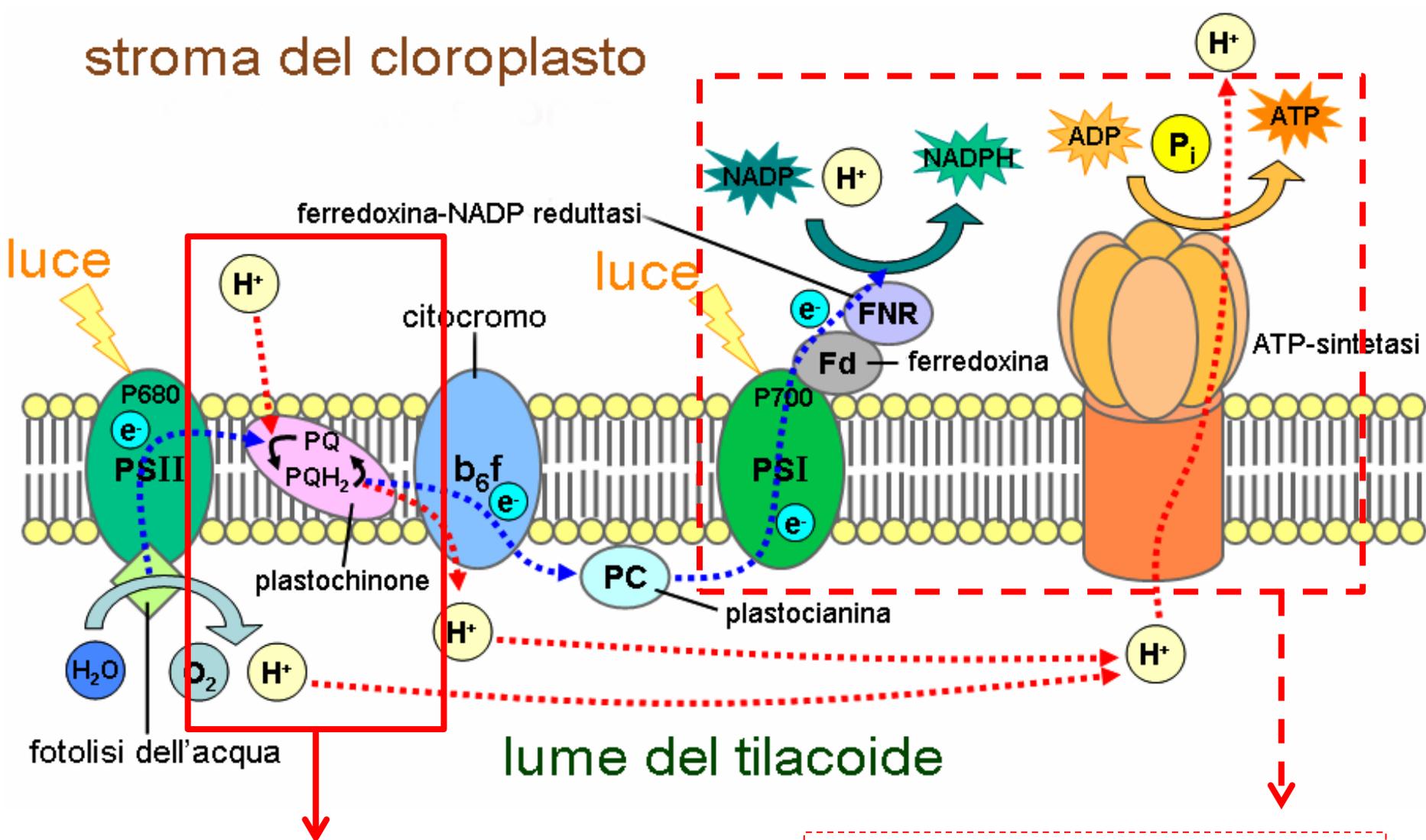


Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate



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

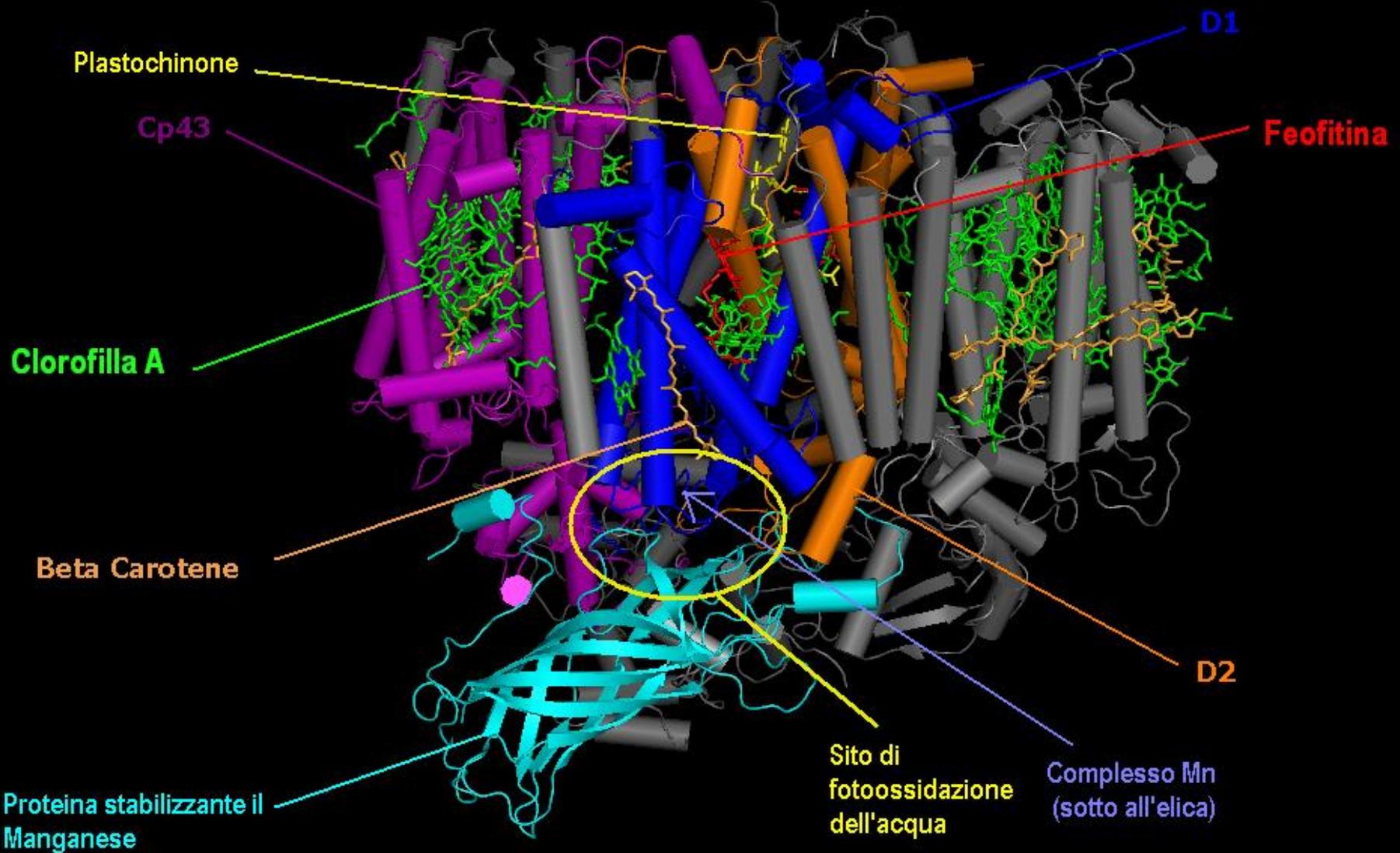
# stroma del cloroplasto



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

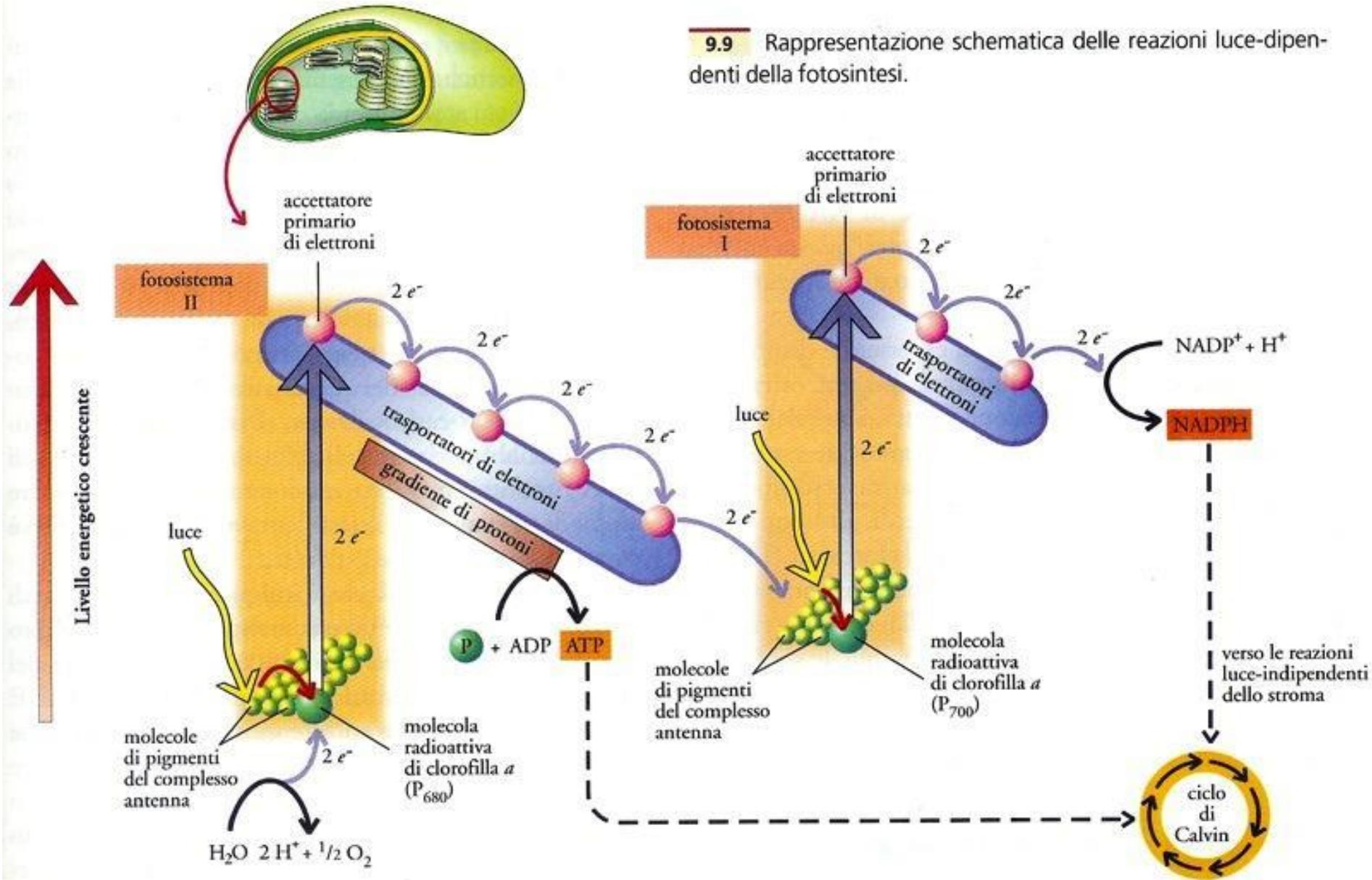
gradiente  $H^+$  sfruttato da ATP-sintetasi ( $ADP \rightarrow ATP$ , ogni 2  $e^-$ )

# Fotosistema II - P680



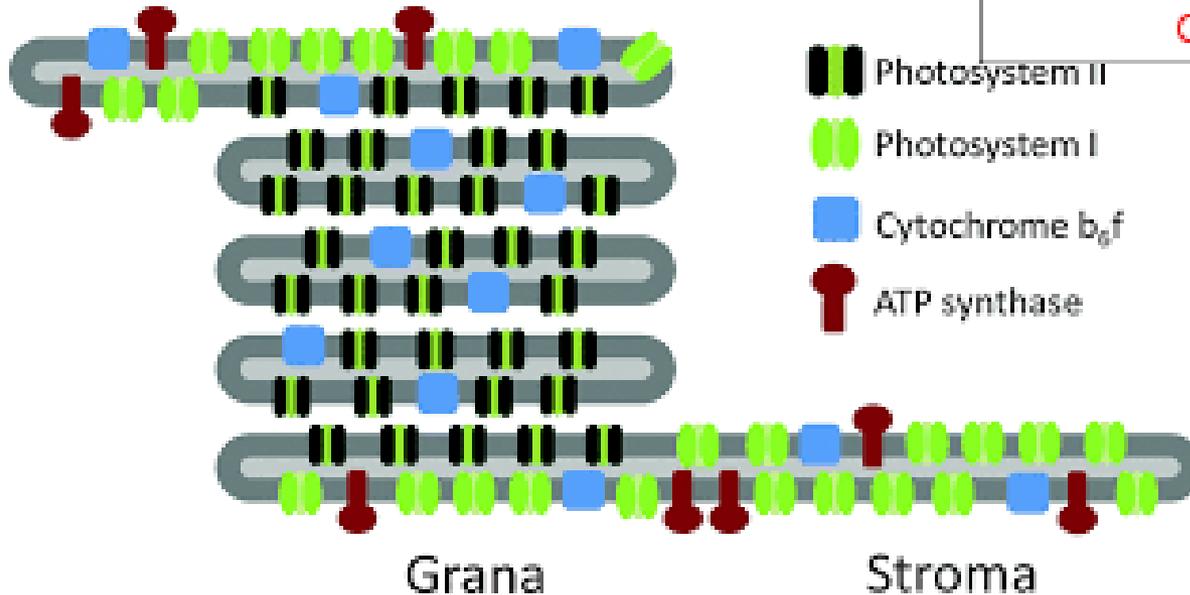
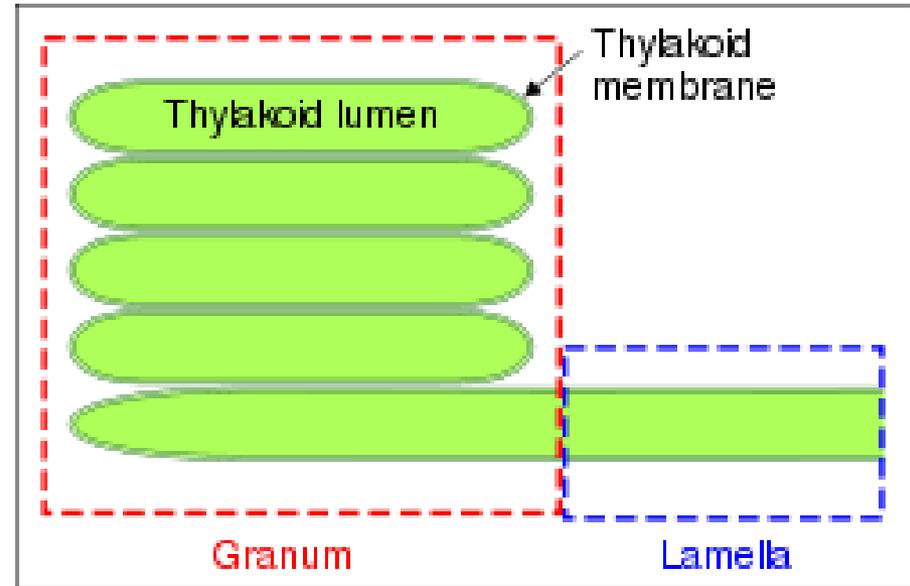
# FOTOSINTESI

9.9 Rappresentazione schematica delle reazioni luce-dipendenti della fotosintesi.



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

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



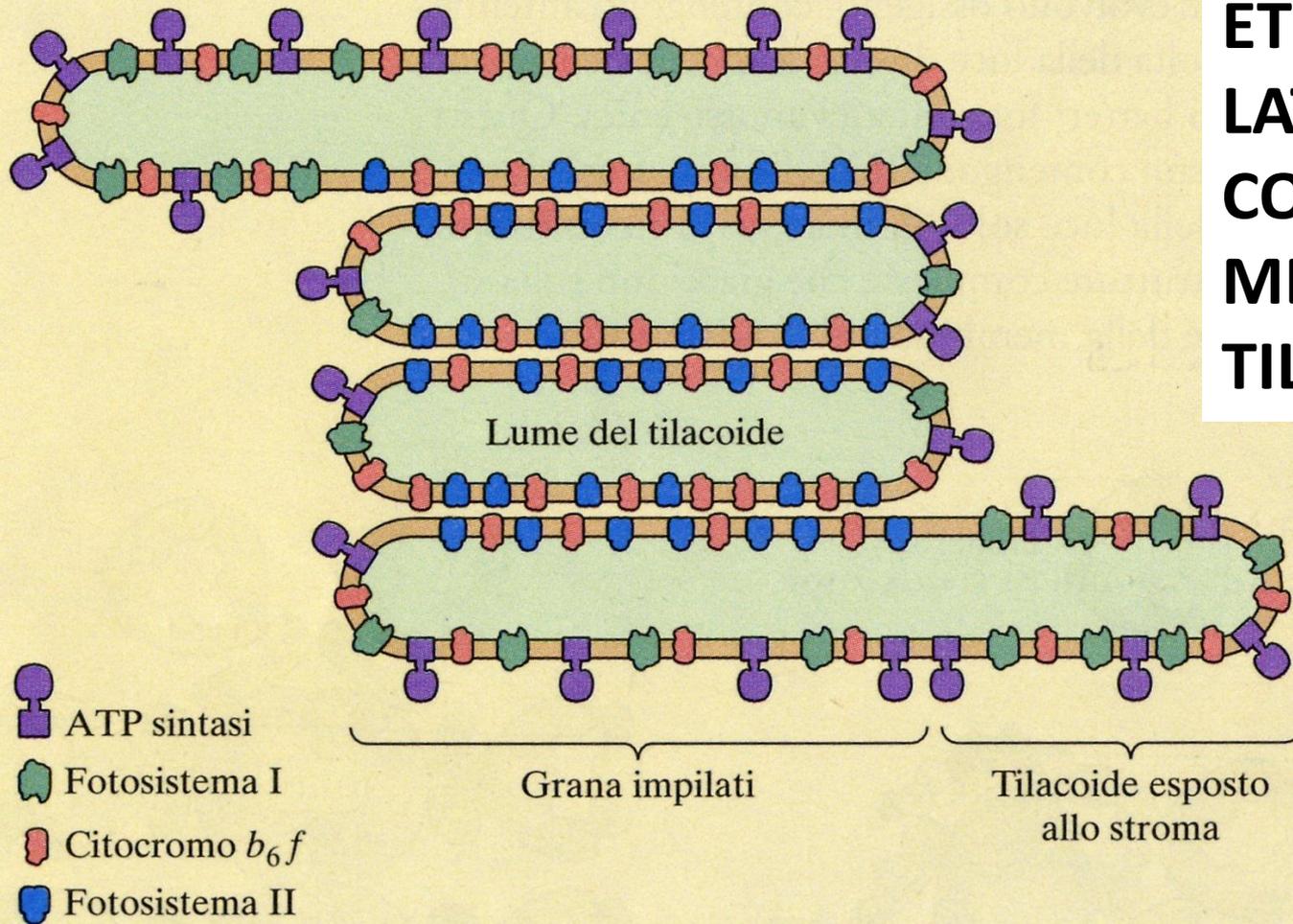
Photosystem II

Photosystem I

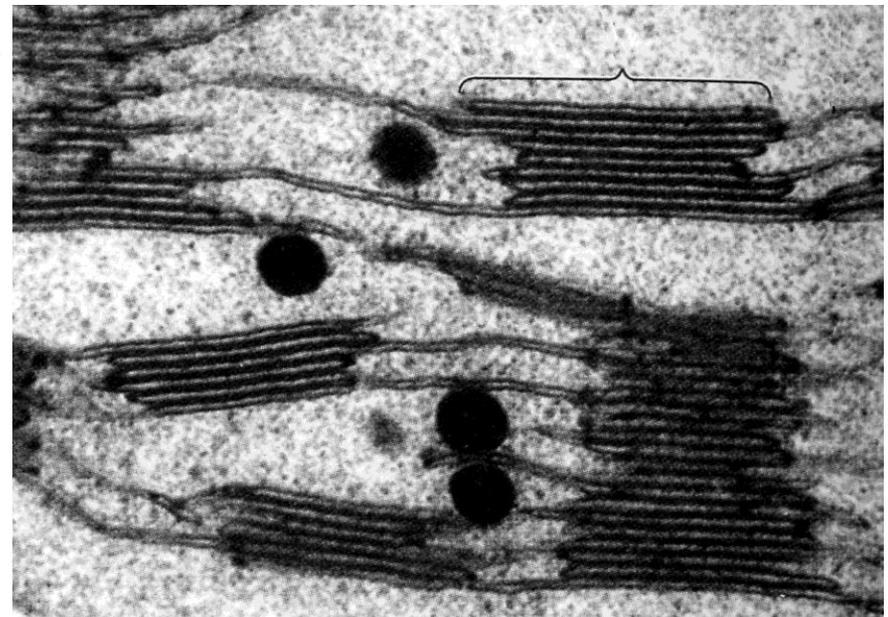
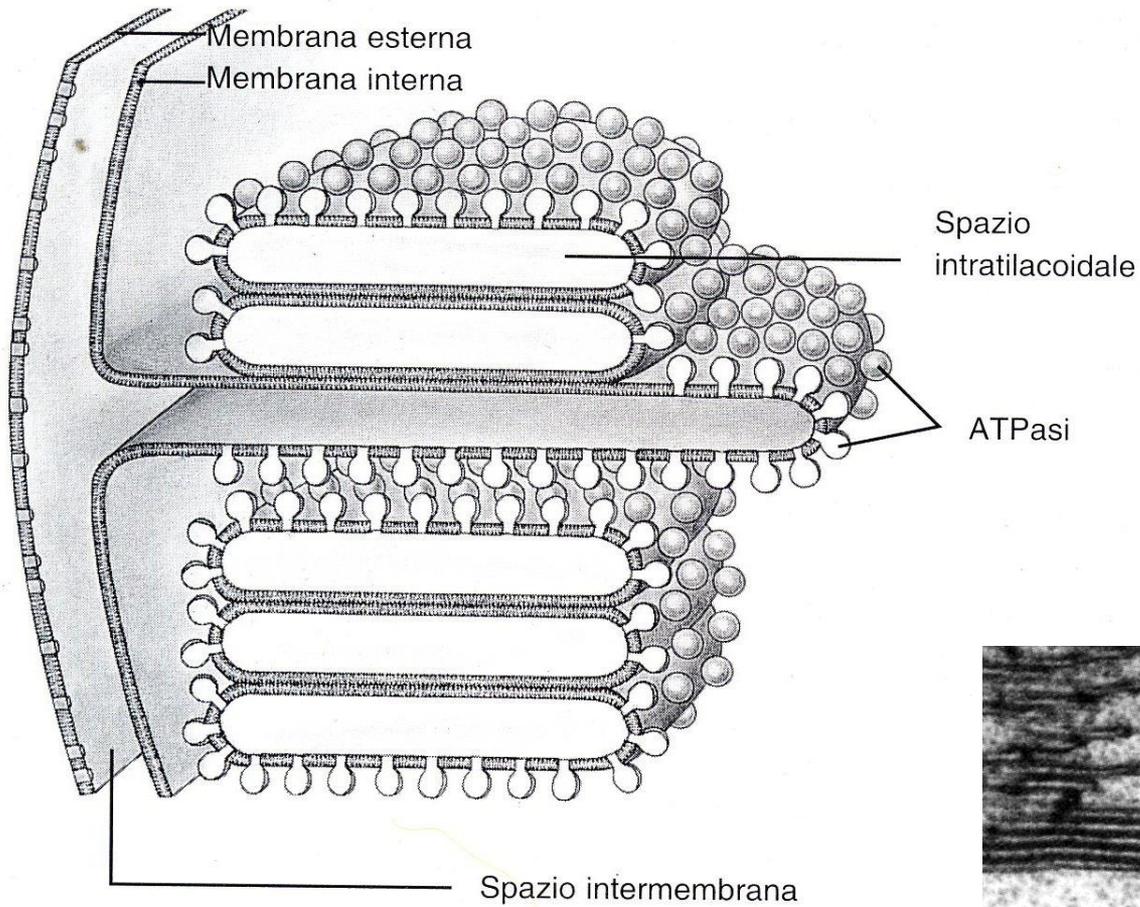
Cytochrome  $b_6/f$

ATP synthase

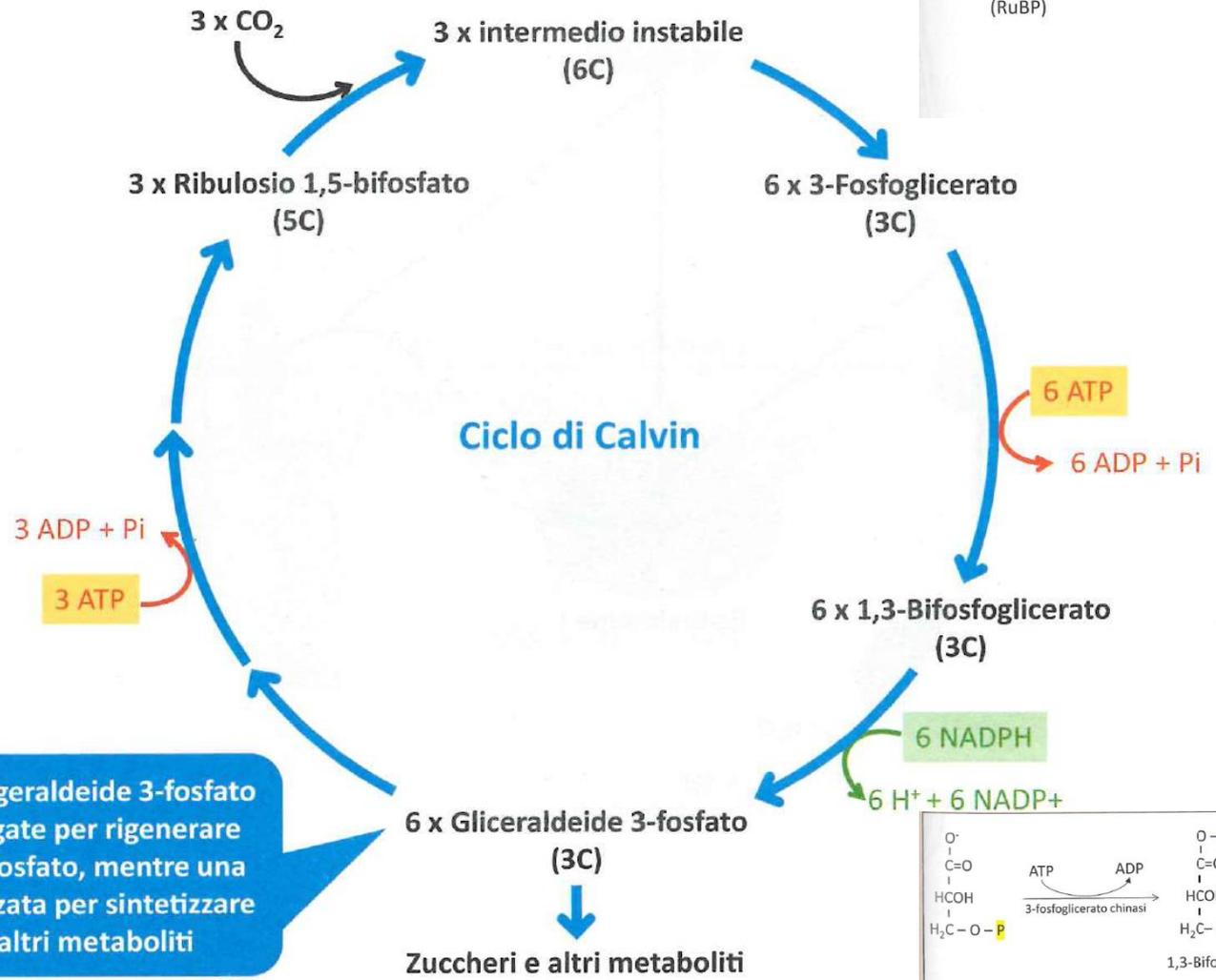
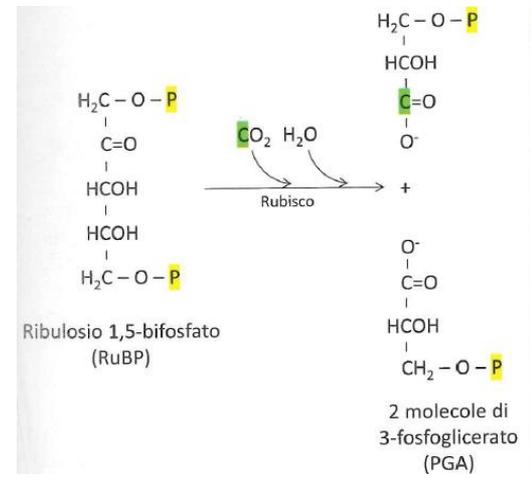
# ETEROGENEITA' LATERALE dei COMPLESSI DI MEMBRANA TILACOIDALE



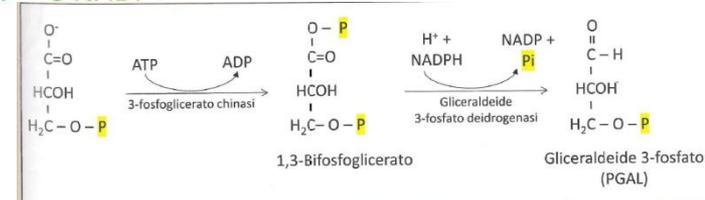
L'eterogeneità laterale dei complessi della membrana del cloroplasto. Il PSII è localizzato soprattutto nelle regioni impilate delle membrane tilacoïdali, mentre il PSI e l'ATPasi sono localizzate quasi esclusivamente nelle membrane non impilate. Il complesso del citocromo  $b_6f$  è distribuito equamente 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.



# Ciclo di Calvin – ciclo C3



5 molecole di glicer aldeide 3-fosfato vengono impiegate per rigenerare ribulosio 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 <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , sost. org.	CO <sub>2</sub>
Donatore di elettroni	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	sost. org.	H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , Fe <sup>2+</sup> , H <sub>2</sub>
organismi	piante verdi cianobatteri	Solfobatteri verdi e purpurei	Batteri verdi e purpurei NON a zolfo	vari batteri non fotosintetici
Prodotto di scarto	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>S</b>	<b>Altra sot.org., più ossidata</b>	<b>S, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup></b>
	<b>LUCE</b> (ambienti esposti alla luce)			<b>BUIO</b> (anche ambienti profondi)

**FOTOSINTESI  
OSSIGENICA**