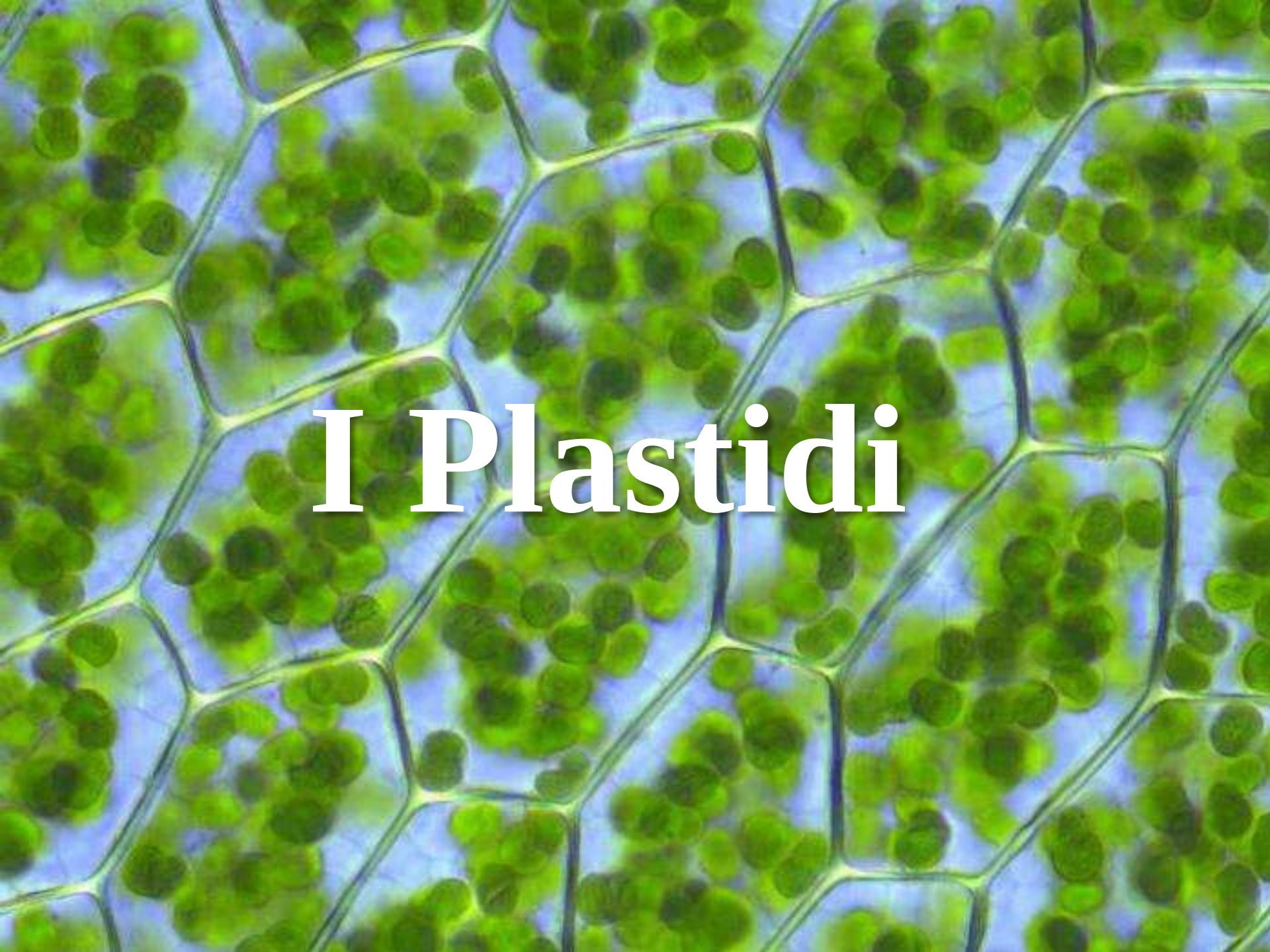
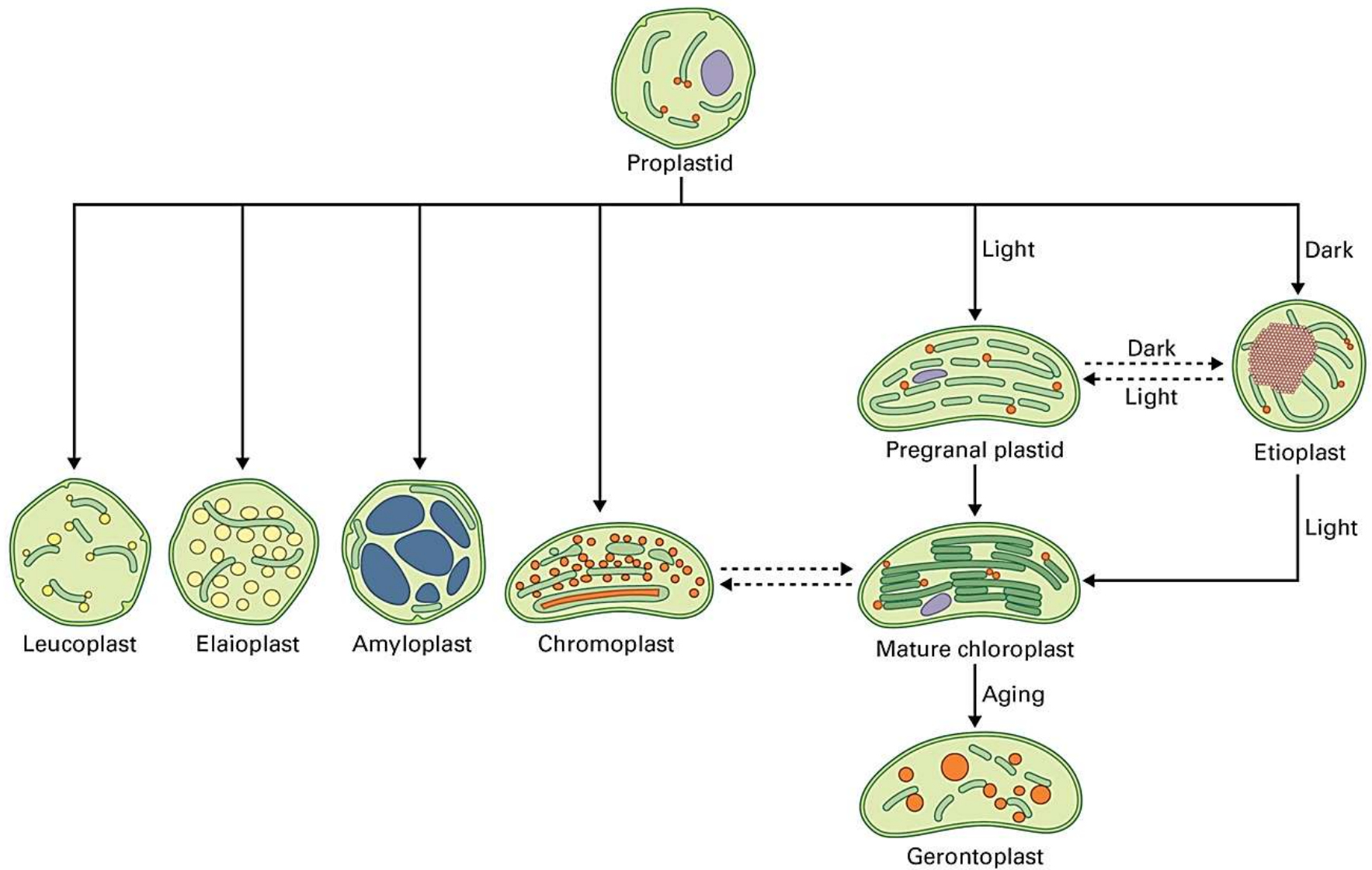


A light micrograph of plant tissue, likely an epidermis, showing several large, polygonal cells. Each cell is filled with numerous small, green, oval-shaped organelles, which are chloroplasts. The cell walls are clearly visible as thin, light-colored lines forming a network. The background of the cells is a pale blue color.

I Plastidi



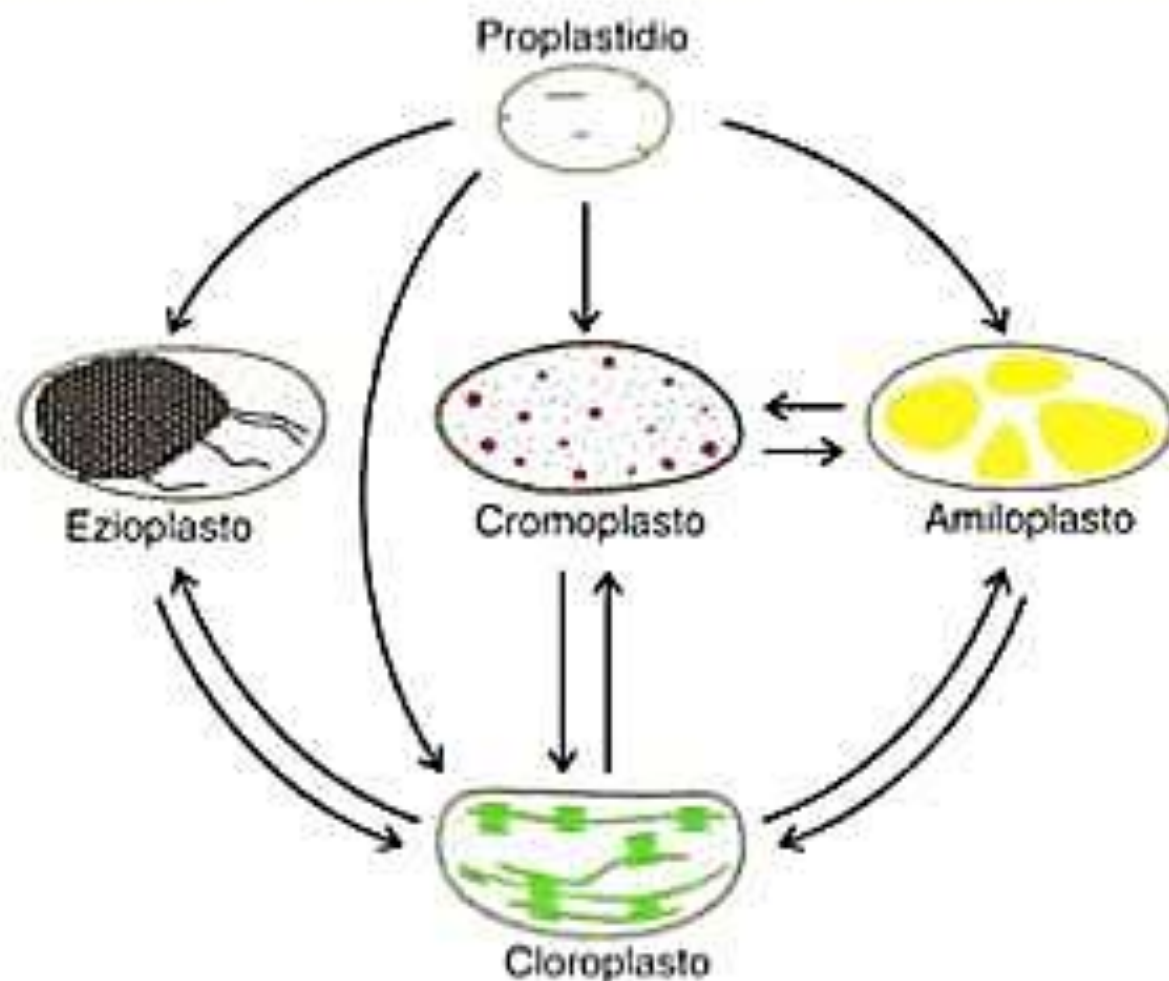
I plastidi sono organelli tipici delle cellule vegetali, e sono specializzati e differenziati per diverse funzioni essenziali alla vita della pianta.

PLASTIDI

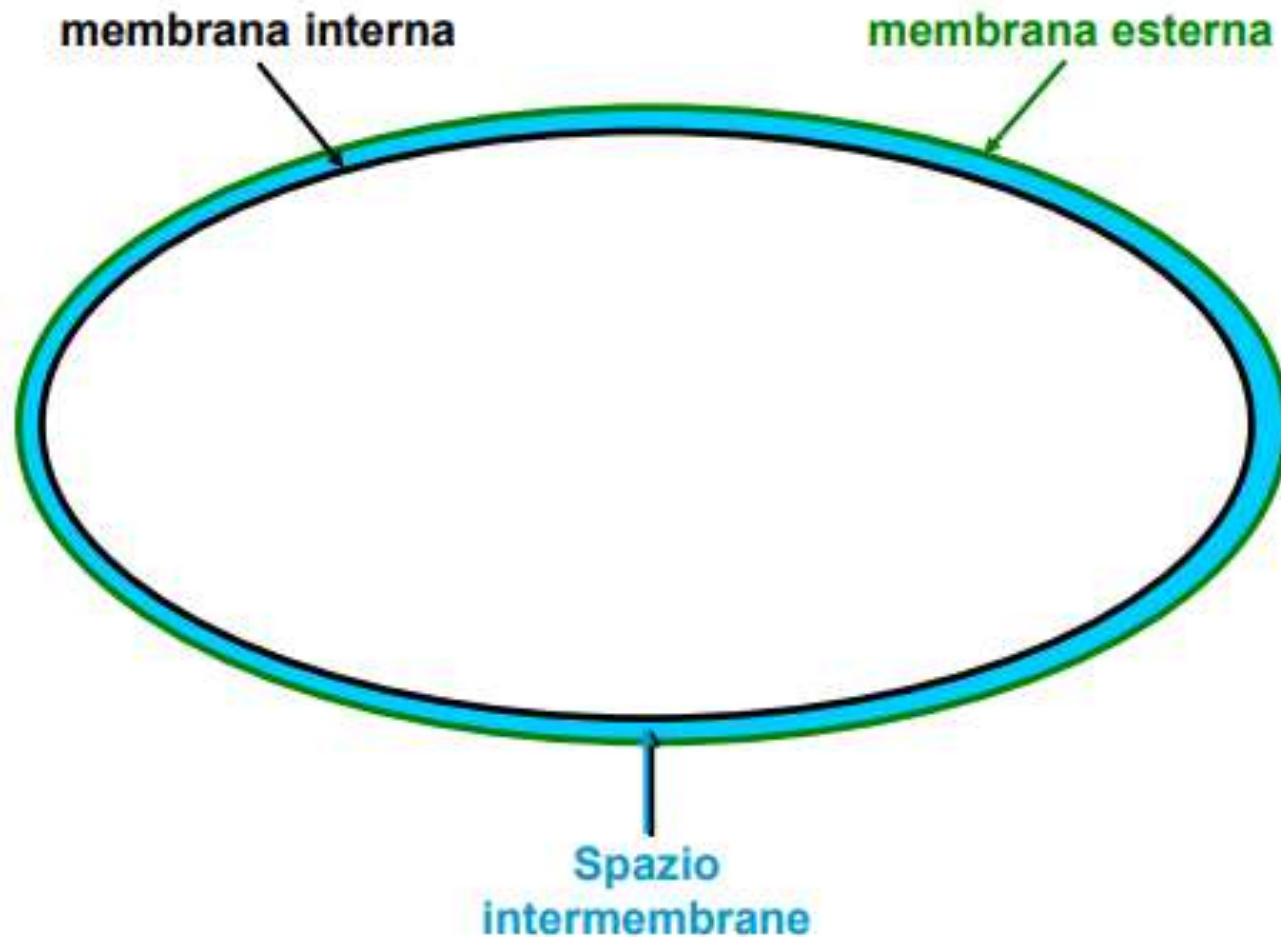


- Presentano due membrane concentriche;
- Hanno DNA e apparato trascrizionale/traduzionale proprio;
- Il numero nelle cellule è molto variabile e dipende dal tipo cellulare e dallo stato fisiologico di cellula e pianta;
- Hanno forma, dimensioni, contenuto e funzioni molto variabili;
- Si differenziano in maniera plastica (differenziazione/ de-differenziazione/ re-differenziazione)

INTERCONVERSIONE TRA DIVERSI TIPI DI PLASTIDIO

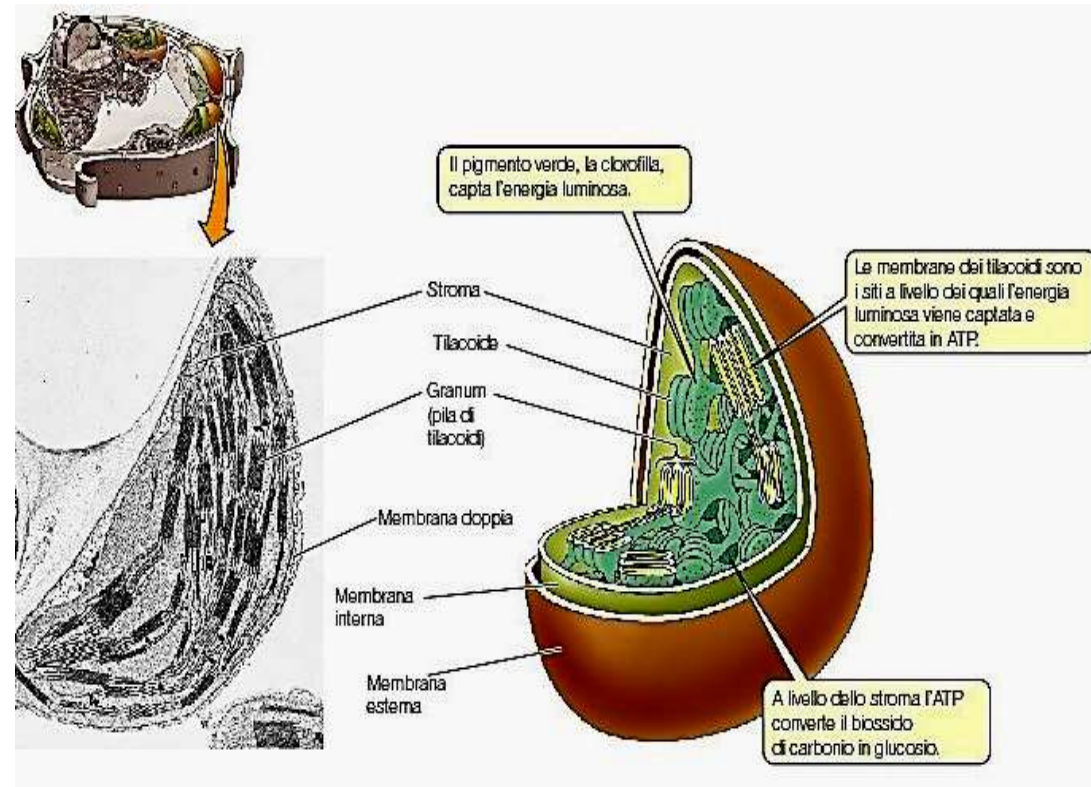


L'INVOLUCRO DEI PLASTIDI

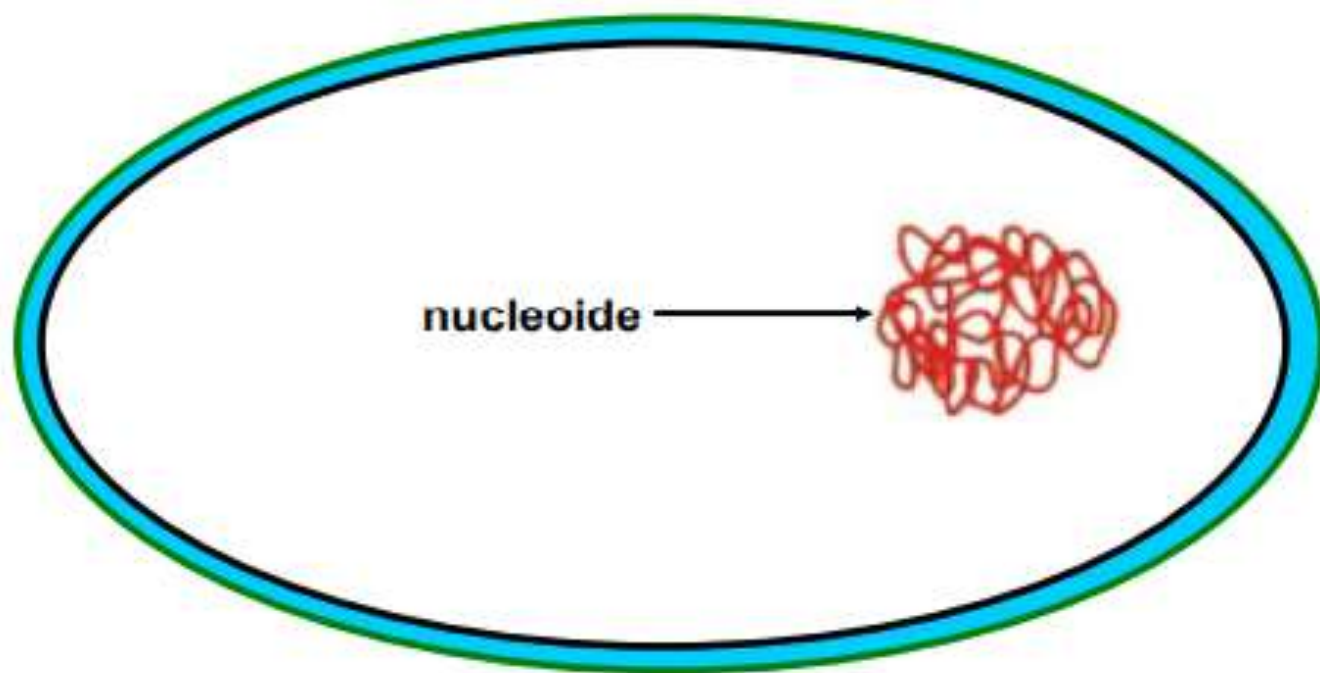


I plastidi sono costituiti da un involucro fatto da **due membrane bistratificate** la **MEMBRANA ESTERNA** e la **MEMBRANA INTERNA** all'interno delle quali si trova lo **STROMA** o **MATRICE**, fluido contenente vari metaboliti ed intermedi di reazione, ioni, proteine, ribosomi, DNA, lipidi.

- La **MEMBRANA ESTERNA** attua il riconoscimento ed il trasferimento all'esterno di componenti plastidiali sintetizzati all'interno, mentre la
- **MEMBRANA INTERNA** regola il flusso di metaboliti e ioni inorganici.
Sulle membrane sono inseriti numerosi enzimi che partecipano a vari processi metabolici.



IL DNA PLASTIDIALE (PLASTOMA)



Le molecole di DNA plastidiale si raggruppano in complessi chiamati **nucleoidi che sono costituiti** da DNA, RNA e svariate proteine necessarie per l'organizzazione e il mantenimento del nucleotide stesso, la replicazione e la trascrizione. I nucleoidi hanno un diametro di 0,2 μm e contengono circa 10 molecole di DNA plastidiale.

Rappresentazione schematica del DNA plastidiale



Il DNA plastidiale esiste in forma di molecola circolare (circa 120-200 Kb) o lineare. Generalmente, nell'unità base, una porzione della molecola (20-30 kb) è ripetuta con un orientamento invertito: queste due regioni, dette **ripetute invertite (IR)**, **contengono i geni che codificano per l'RNA ribosomiale. IR separano due regioni a singola copia** che hanno dimensione diversa e sono chiamate regione a singola copia piccola e regione a singola copia grande. I geni trasferiti nel nucleo acquisirono sequenze per un segnale di riconoscimento delle proteine indirizzate al plastidio: peptide di transito.

ORIGINE DEI PLASTIDI

TEORIA AUTOGENA: i procarioti hanno dato origine agli eucarioti divenendo sempre più complessi e sviluppando un sistema di endomembrane da cui si originano i plastidi ed i mitocondri.

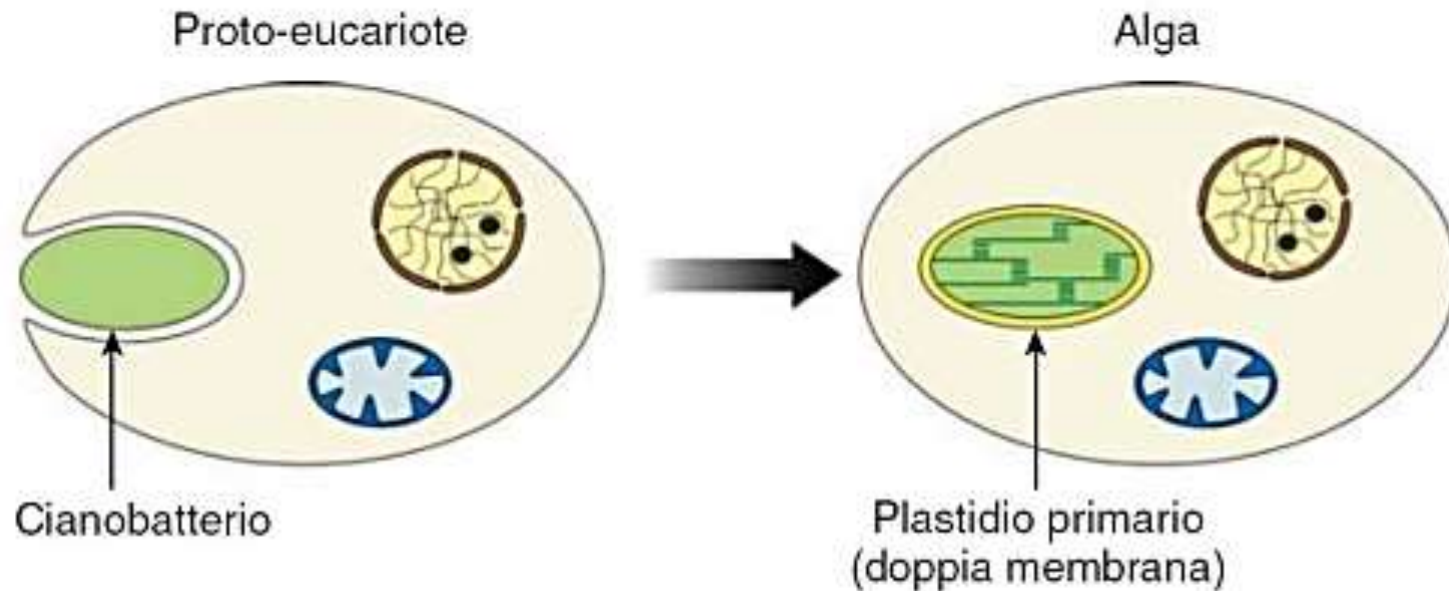
TEORIA ENDOSIMBIONTICA

Questa teoria ipotizza che i plastidi ed i mitocondri possano essere derivati da procarioti inglobati all'interno delle cellule eucariotiche.

Infatti i plastidi ed i mitocondri hanno in comune alcune caratteristiche con i procarioti:

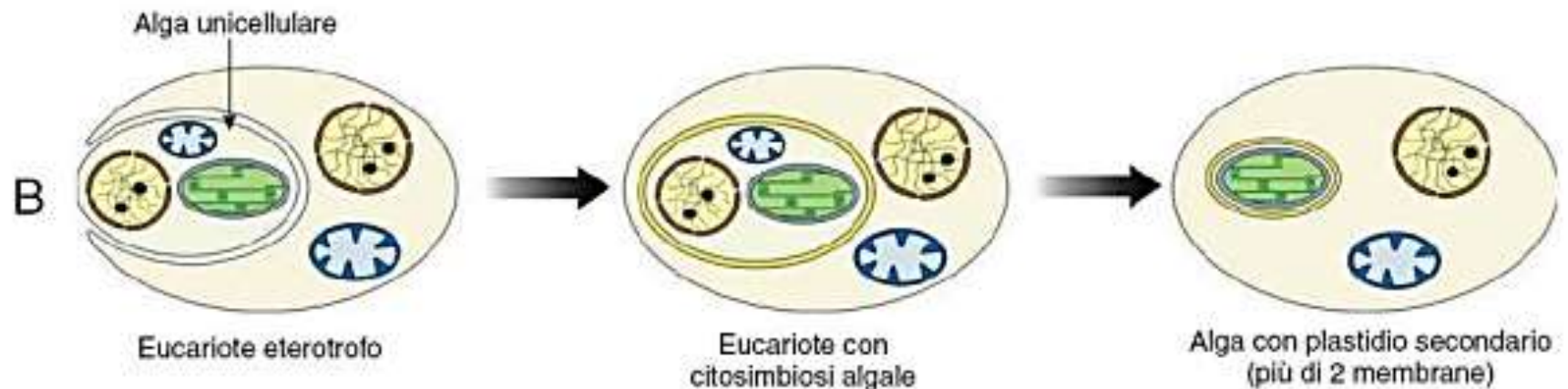
- 1) Presenza di un proprio DNA: molecola piccola, circolare e non organizzata dentro un nucleo
- 2) ribosomi 70S (e non 80S come quelli classici presenti nel citoplasma degli eucarioti) sensibili agli stessi antibiotici dei procarioti (streptomicina) **SONO perciò in grado di sintetizzare proteine a partire dal proprio DNA**
- 3) si dividono per scissione binaria così come i procarioti
- 4) hanno una doppia membrana e non posseggono microtubuli.

ORIGINE EVOLUTIVA DEI PLASTIDI: LA TEORIA ENDOSIMBIONTICA



1. Una **cellula amebolde** fagocita un **cianobatterio** che non viene digerito perché sarebbe uscito dal vacuolo digestivo si sarebbe poi moltiplicato dando luogo ai cloroplasti
2. L'ospite fotoautotrofo **perde la parete cellulare, trasferisce al nucleo dell'ospite più del 90% del suo genoma e cede all'eterotrofo parte dei prodotti della fotosintesi.**
3. Si stabilisce tra i due organismi una relazione di **simbiosi obbligata** che ha permesso la colonizzazione della terra 450 milioni di anni fa.
4. Sebbene molti geni di questo batterio ancestrale siano stati trasferiti al genoma nucleare, i plastidi hanno mantenuto un completo macchinario per sintetizzare proteine e **sufficiente informazione genetica per codificare circa 100 delle loro 2.500 proteine.**
5. Questo evento ha dato **origine a 3 linee evolutive: le glaucofite, le alghe rosse e le alghe verdi ed i loro discendenti, le piante**

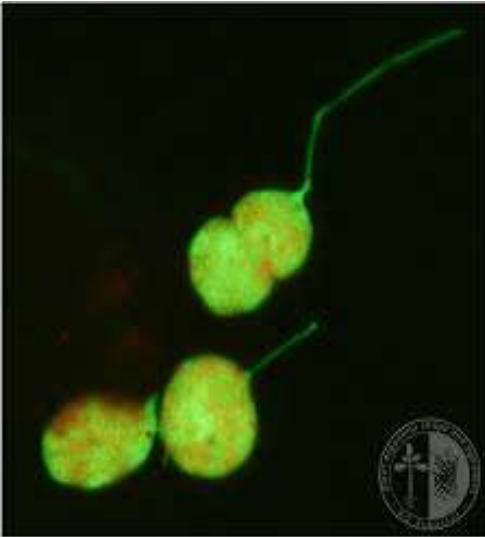
ORIGINE EVOLUTIVA DEI PLASTIDI: LA TEORIA ENDOSIMBIONTICA



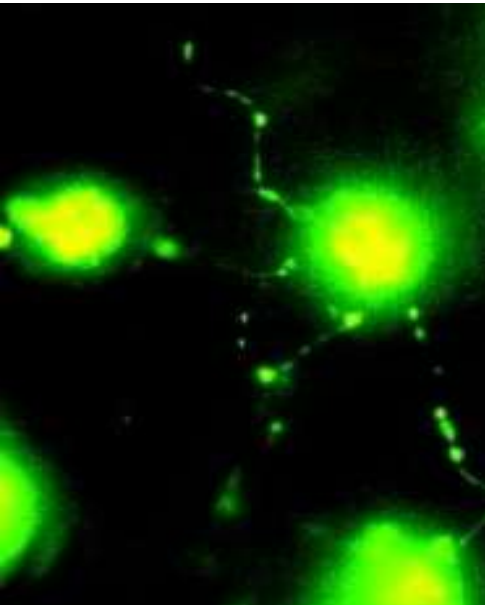
Ipotesi polifiletica, secondo la quale numerosi eventi endosimbiontici indipendenti sarebbero all'origine della biodiversità vegetale.

I risultati di numerose ricerche ultrastrutturali e genetiche indicano che molti taxa algali hanno avuto origine da **endosimbiosi secondarie e terziarie**: un eucariote eterotrofo avrebbe fagocitato un eucariote fotoautotrofo; l'ospite sarebbe diventato un plastidio con involucro formato da 3 o 4 membrane, delle quali quelle esterne soprannumerarie appartenenti alla cellula ospitante. Ne sono testimonianza le *Cryptophyta*, le *Euglenophyta* e le *Chlorarachniophyta*.

GLI STROMULI

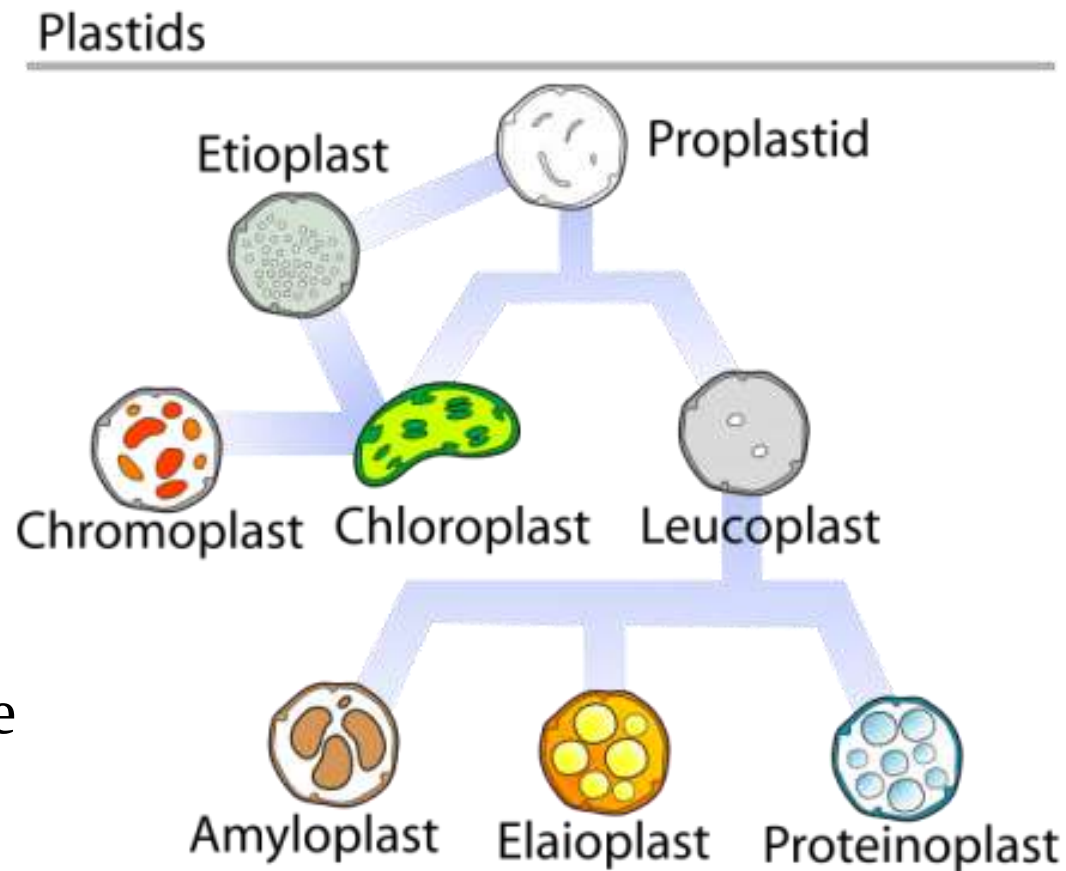


In diverse specie e tipi cellulari sono stati osservati dei tubuli contenenti stroma, che partono dalla superficie dei plastidi e si connettono con altri plastidi permettendo lo scambio di macromolecole. Essi, denominati stromuli, sono delle strutture altamente dinamiche che cambiano continuamente di forma. Gli stromuli sono circondati dalle membrane interna ed esterna dell'involucro plastidiale. Gli stromuli si muovono lungo i filamenti di actina grazie all'attività ATPasica della miosina che genera la forza motrice. • Gli stromuli sono molto abbondanti in cellule contenenti plastidi di piccolo volume e sono un mezzo per incrementare enormemente la superficie e scambiare prodotti o segnali con il citoplasma. Questo può essere particolarmente importante per il trasferimento di molecole da e verso altri organelli come mitocondri, perossisomi e nucleo.

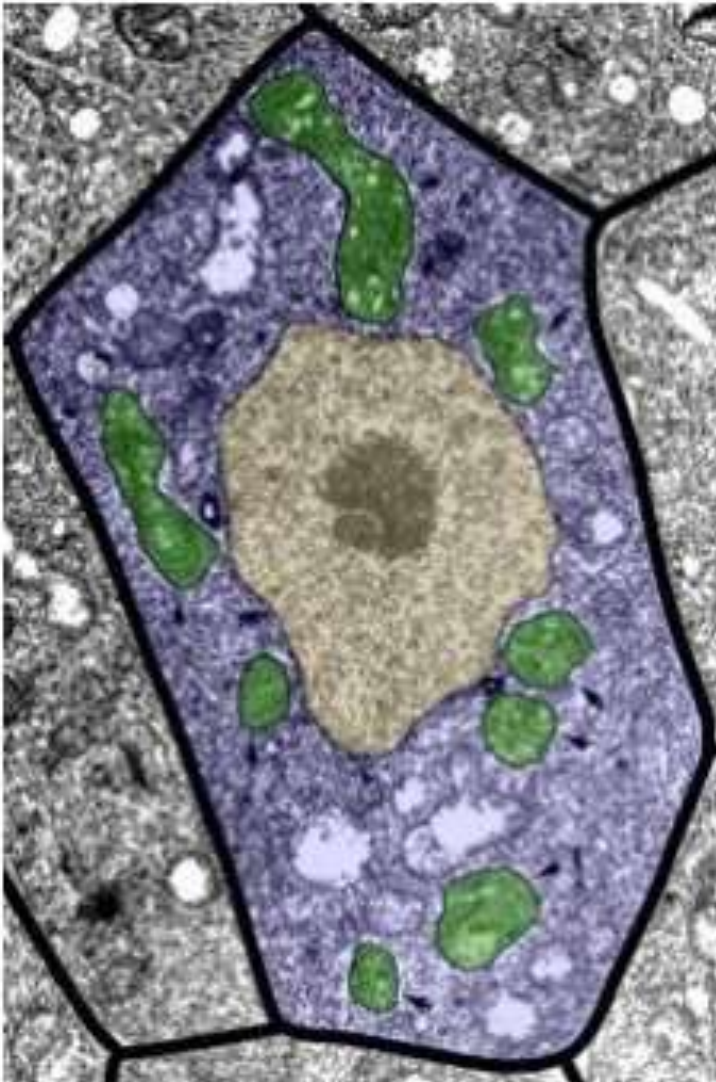


Nelle cellule giovani, poco differenziate, sono presenti i **PROPLASTIDI**, dei plastidi piccoli, incolori o di colore verde pallido, da cui si originano i plastidi altamente differenziati. I plastidi mancano nei funghi e nei procarioti.

Nelle alghe sono indicati con il termine generico di cromatofori; salvo alcune eccezioni, essi sono pochi, voluminosi e di differente morfologia, centrali o parietali, unici o variamente perforati (archeo- e mesoplastidi). Nelle alghe più evolute e nelle piante terrestri sono piccoli, numerosi, di forma lenticolare e funzionalmente differenziati (neoplastidi).

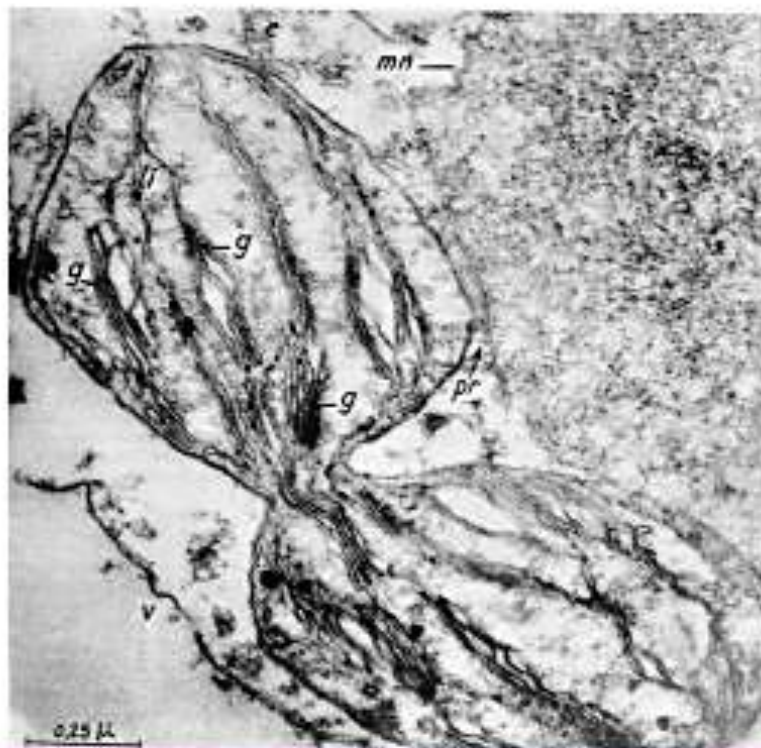


I PROPLASTIDI



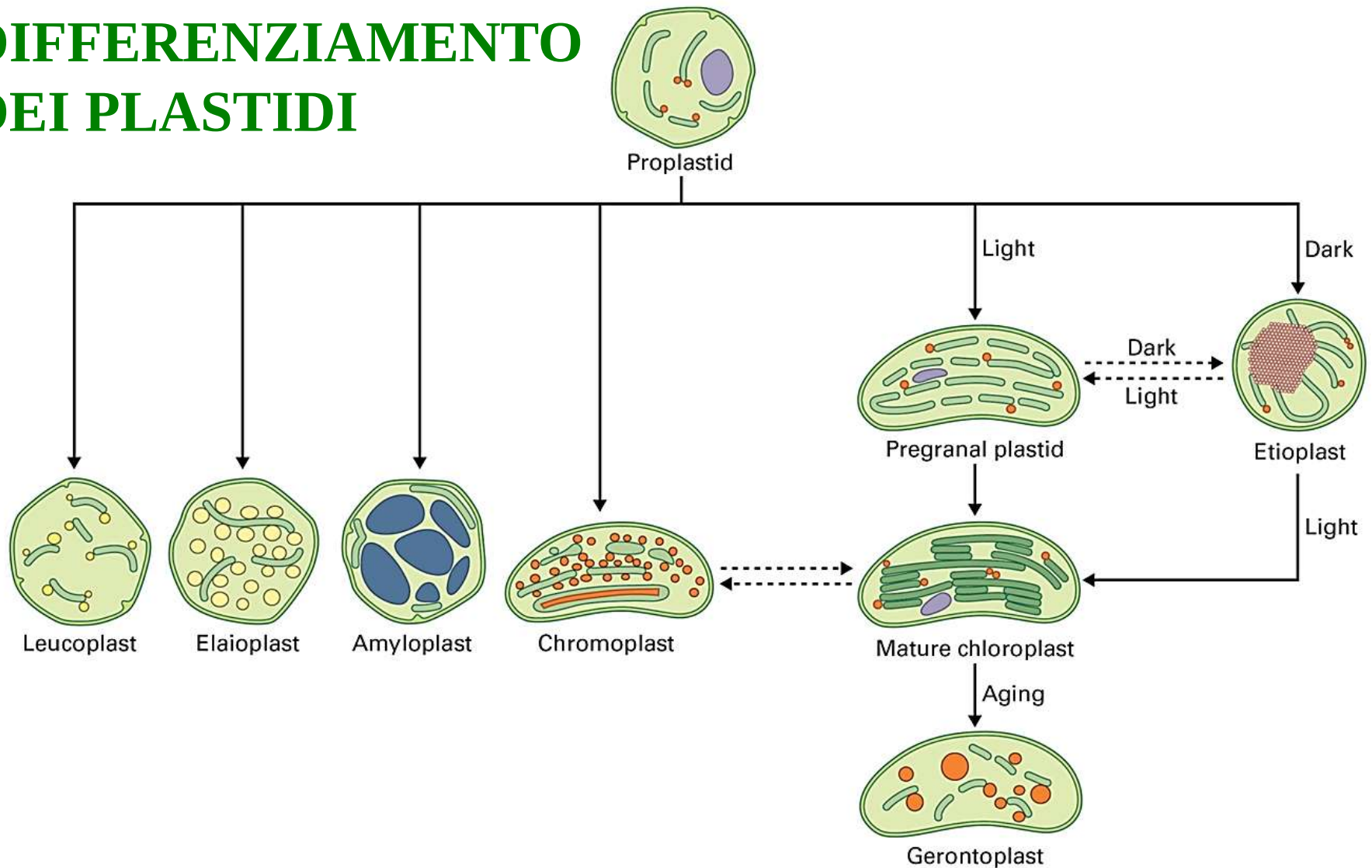
- Si trovano nelle cellule dell'embrione e nella pianta adulta nelle cellule meristematiche degli apici radicali e caulinare;
- Hanno dimensioni ridotte 0.5-1 μm
- 10-20 per cellula
- Hanno un sistema di membrane interno poco sviluppato;
- Sono incolori o verde pallido

UN PLASTIDIO DERIVA SEMPRE DA UN ALTRO PLASTIDIO



- Come i batteri, i cloroplasti si moltiplicano per scissione binaria.
- La divisione dei plastidi è indipendente dalla divisione cellulare
- Tutti i plastidi derivano da quelli dello zigote che li ha ereditati dal citoplasma del gamete femminile

DIFFERENZIAMENTO DEI PLASTIDI

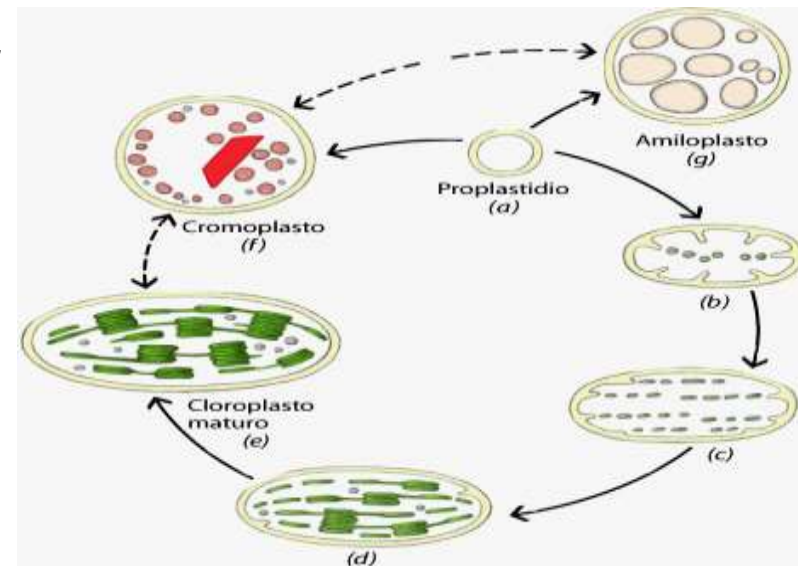


Il differenziamento dei proplastidi nelle varie forme di plastidi maturi dipende da:

- Fattori ambientali (es luce)
- Fattori interni (tipo e stato cellulare, ormoni)

Dai proplastidi si differenziano i plastidi *che si dividono a seconda della loro funzione, del loro colore, dello sviluppo delle membrane interne e del contenuto dello stroma, in tre diversi tipi:*

- **CLOROPLASTI** Funzione: fotosintesi clorofilliana. Possiedono un'abbondante sistema di membrane interne pigmentate (membrane tilacoidali)
- **CROMOPLASTI** Funzione: pigmentazione di fiori e frutti, contengono carotenoidi e sono da gialli ad aranciati. Il cambiamento di colore, durante la maturazione dei frutti di pomodoro e di peperone, è dovuto alla trasformazione dei *cloroplasti* in *cromoplasti* nelle cellule del pericarpo dei frutti
- **LEUCOPLASTI** Funzione: riserva. Non contengono pigmenti e sono localizzati nelle cellule dei tessuti non clorofilliani. Essi possono immagazzinare proteine ed amido. I leucoplasti che contengono amido sono detti amiloplasti



Amiloplasti	Accumulano amido; sono considerati leucoplasti
Cloroplasti	Svolgono la fotosintesi
Cromoplasti	Contengono grandi quantità di pigmenti lipidici; si trovano nei fiori e nei frutti
Ezioplasti	Uno stadio specifico della trasformazione dei proplastidi in cloroplasti; si formano in tessuti determinati a divenire fotosintetici che crescono in assenza di luce.
Leucoplasti	Plastidi incolori; sintetizzano lipidi ed altre sostanze.
Proplastidi	Plastidi piccoli; indifferenziati

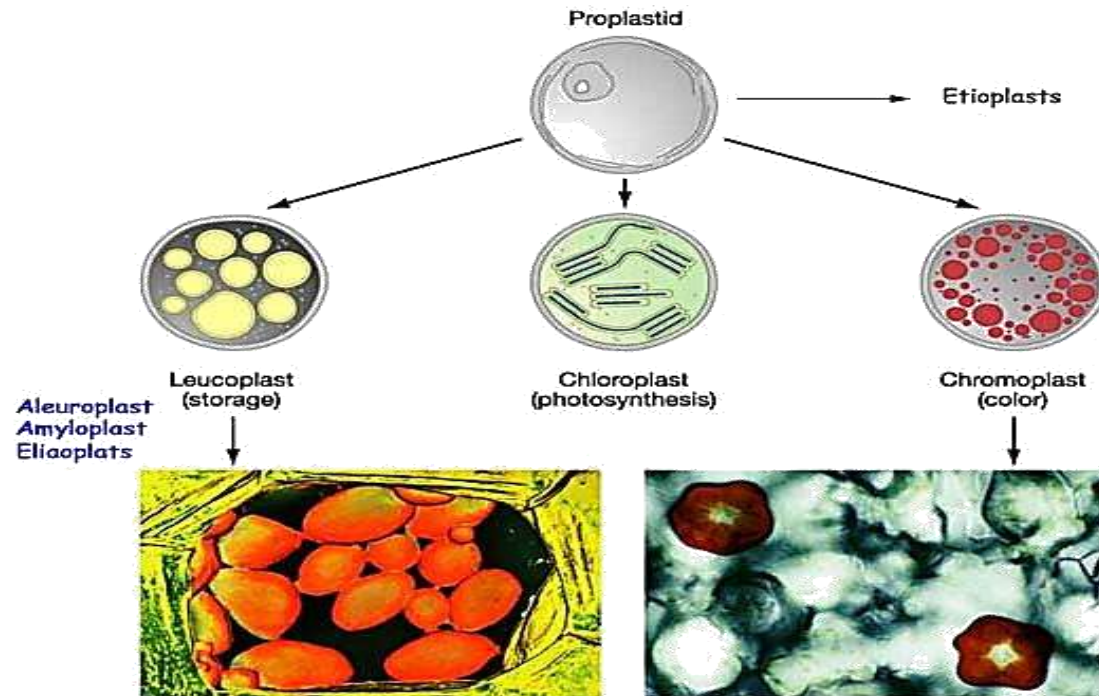
Leucoplasti

È una vasta famiglia di plastidi caratterizzati dall'assenza di pigmenti (leykòs = bianco) Sono specializzati nella sintesi e/o nell'accumulo di sostanze di riserva. Sono classificati in base al tipo di sostanze prodotte e/o accumulate:

Amiloplasti - organelli vegetali incolori legati alla produzione e allo stoccaggio dell'amido

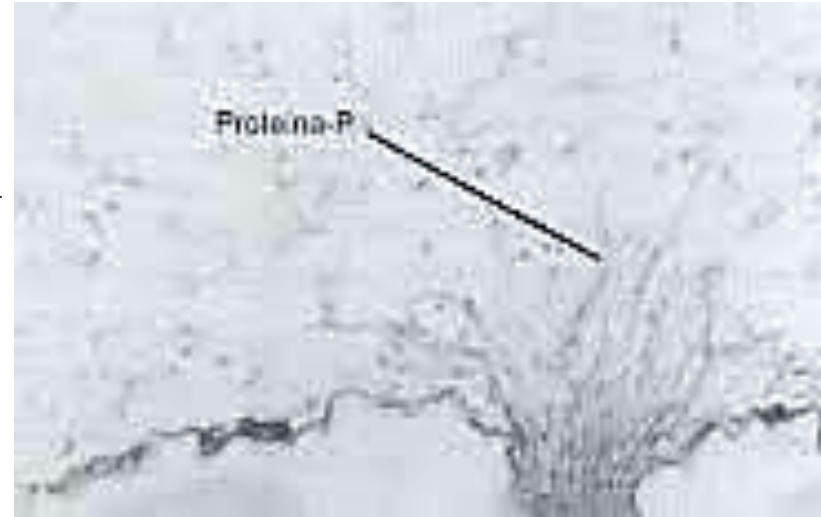
Aleuoplasti o Proteinoplasti- organelli vegetali incolori legati alla produzione e alla conservazione delle proteine

Elaioplasti - organello vegetale incolore correlato alla produzione e allo stoccaggio di petrolio e lipidi



PROTEINOPLASTI

esempio di proteine accumulate nei proteinoplasti sono le proteine P delle cellule del floema. Gli elementi cribrosi sono senza nucleo e perdono il vacuolo centrale, il citoplasma è molto ridotto e occupa la periferia della cellula. Nel citoplasma sono presenti inclusioni proteiche chiamate “P-protein crystalloids” queste sembrano svolgere un ruolo di difesa occludendo i fori degli elementi cribrosi danneggiati per un attacco patogeno (batterico, fungino e virale) o di insetti.

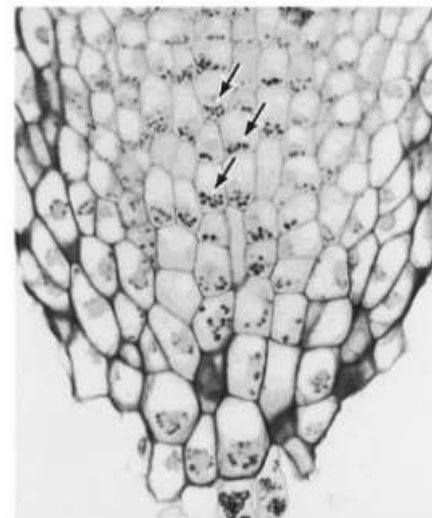
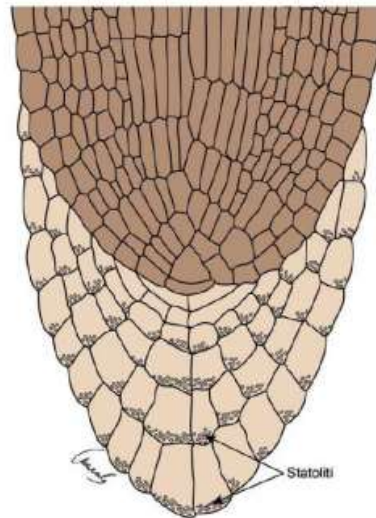


GLI AMILOPLASTI

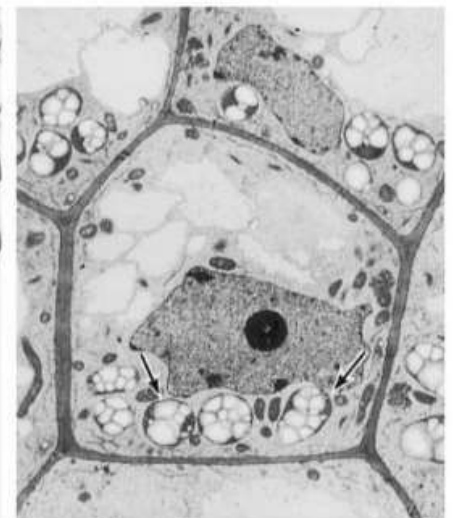
Sono in grado di polimerizzare il glucosio ad amido, ma non di sintetizzare carboidrati.

Sono particolarmente abbondanti nei tessuti e negli organi specializzati per l'accumulo a lungo termine dei nutrienti.

Un esempio si riscontra nelle cellule della columella della cuffia radicale, gli amiloplasti funzionano come statoliti, cioè sono coinvolti nella percezione dello stimolo gravitropico (auxina).



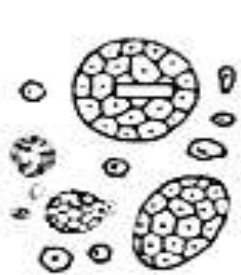
(a)



(b)

Gli amiloplasti maturi, detti granuli di amido, assumono forme e dimensioni caratteristiche, che dipendono dalla deposizione di strati di amido intorno ad un centro di formazione definito **ilo**.

La morfologia degli amiloplasti è un importante carattere diagnostico per i vegetali di interesse commerciale



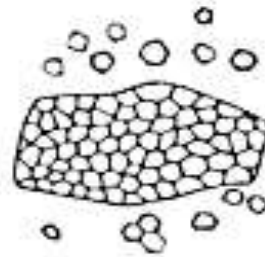
Avena



Frumento



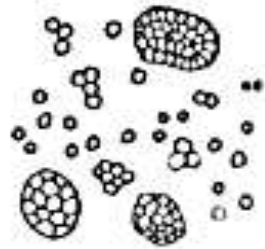
Mais



Grano saraceno



Orzo



Riso



Segale



Fagiolo



Lenticchia



Pisello



Soia



Patata



Banana



Curcuma



Manioca



Maranta



Batata

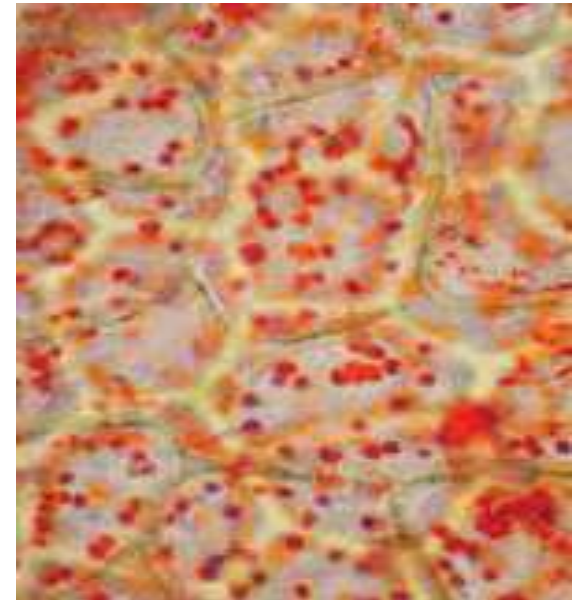
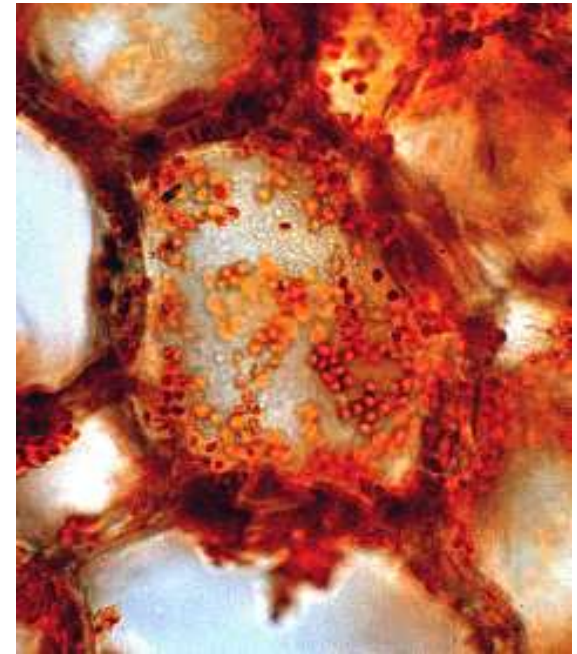
I CROMOPLASTI

Possono avere membrane interne ma mancano di un vero e proprio sistema tilacoidale.

La conversione cloroplasto-cromoplasto comporta la degradazione delle clorofille.

Accumulano pigmenti carotenoidi:

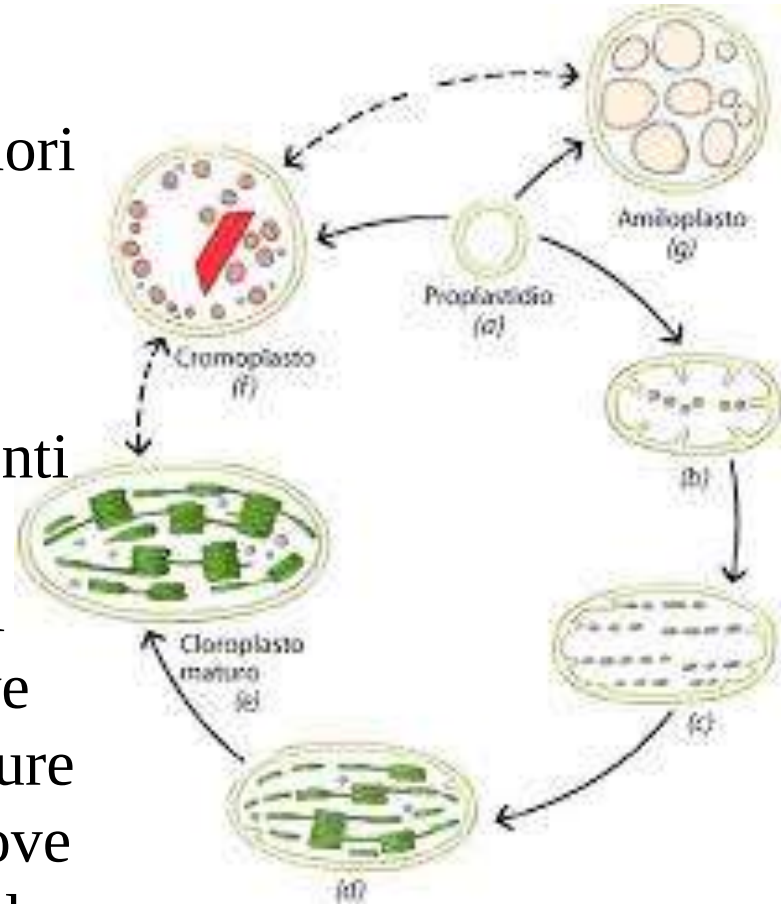
- in goccioline lipidiche giallo arancio (plastoglobuli)
- in cristalli
- legati a membrane interne
- la conversione cloroplastocromoplasto dipende da fattori endogeni (ormoni e nutrienti) ed ambientali (fotoperiodo e temperatura)
- il processo può essere reversibile



I cromoplasti

possono derivare da plastidi non fotosintetici o dai cloroplasti (pomodoro, peperone). La presenza dei cromoplasti è responsabile della colorazione di alcuni fiori (ranuncolo), frutti (pomodoro) e radici (carota).

Nella conversione da cloroplasto a cromoplasto, uno dei maggiori cambiamenti è il rimodellamento del sistema delle membrane interne. Il disassemblaggio dei tilacoidi è associato con la sintesi di nuove membrane nelle quali si formano le strutture che accumulano i carotenoidi. Queste nuove membrane non derivano dai tilacoidi ma da vescicole generate dalla membrana interna dell'involucro.





Conversione di cloroplasti in cromoplasti

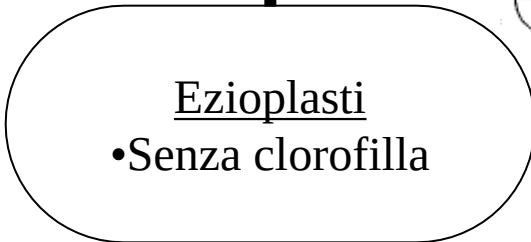
I GERONTOPLASTI

Nelle foglie senescenti si osservano plastidi che, in seguito a processi degradativi (demolizione delle clorofille e del sistema interno dei tilacoidi e accumulo di carotenoidi in plastoglobuli), assumono un aspetto simile a quello dei cromoplasti. Tali organelli denominati gerontoplasti, rappresentano uno stadio degenerativo irreversibile dei cloroplasti e non vanno confusi con i veri cromoplasti (nei gerontoplasti non si realizza la sintesi ex novo di carotenoidi). Diversi fattori influenzano i colori delle foglie in autunno, come i cambiamenti del pH vacuolare e l'attivazione delle vie biosintetiche degli antociani.

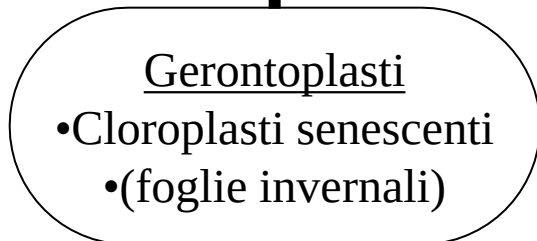
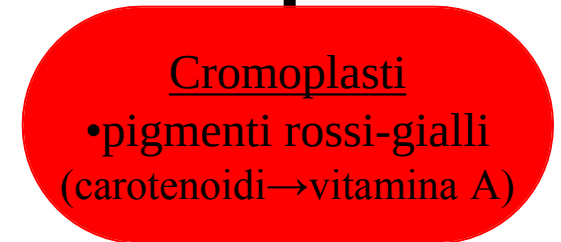
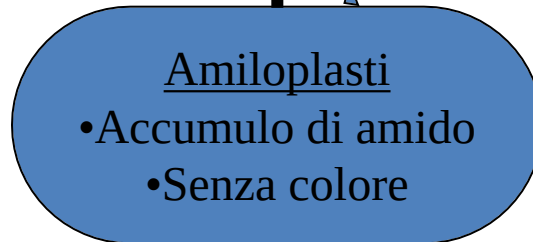




BUIO



LUCE



In foglie, steli

Radici, semi, frutti.

Petali, frutti.

GLI EZIOPLASTI

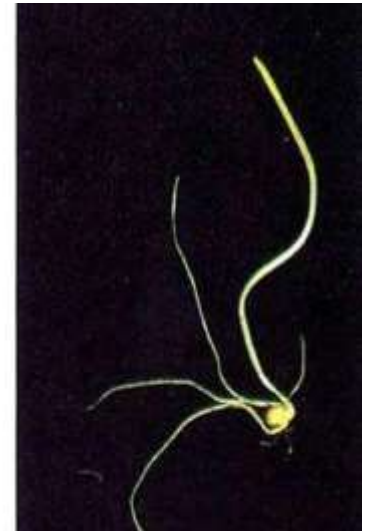
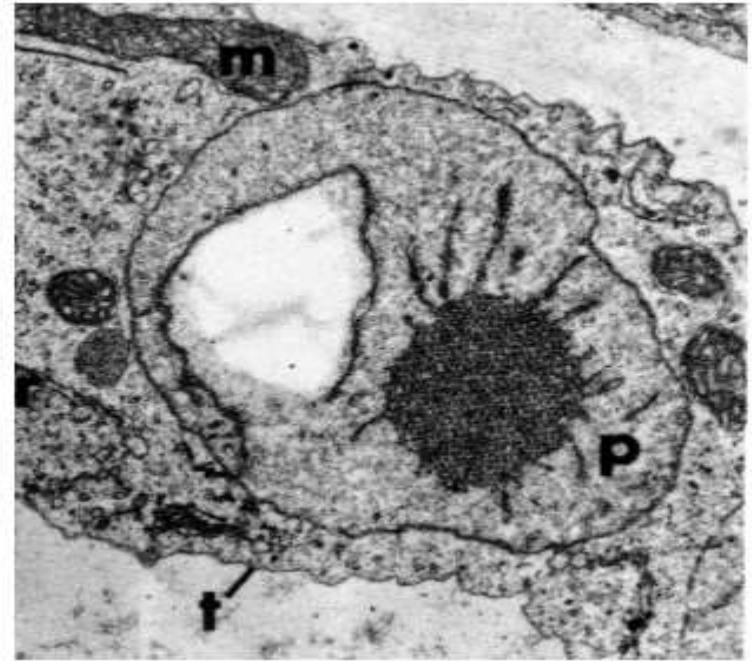
In assenza dello stimolo luminoso i proplastidi della foglia si trasformano in **ezioplasti**.

Lo stimolo luminoso determina la conversione dell'ezioplasto in cloroplasto.

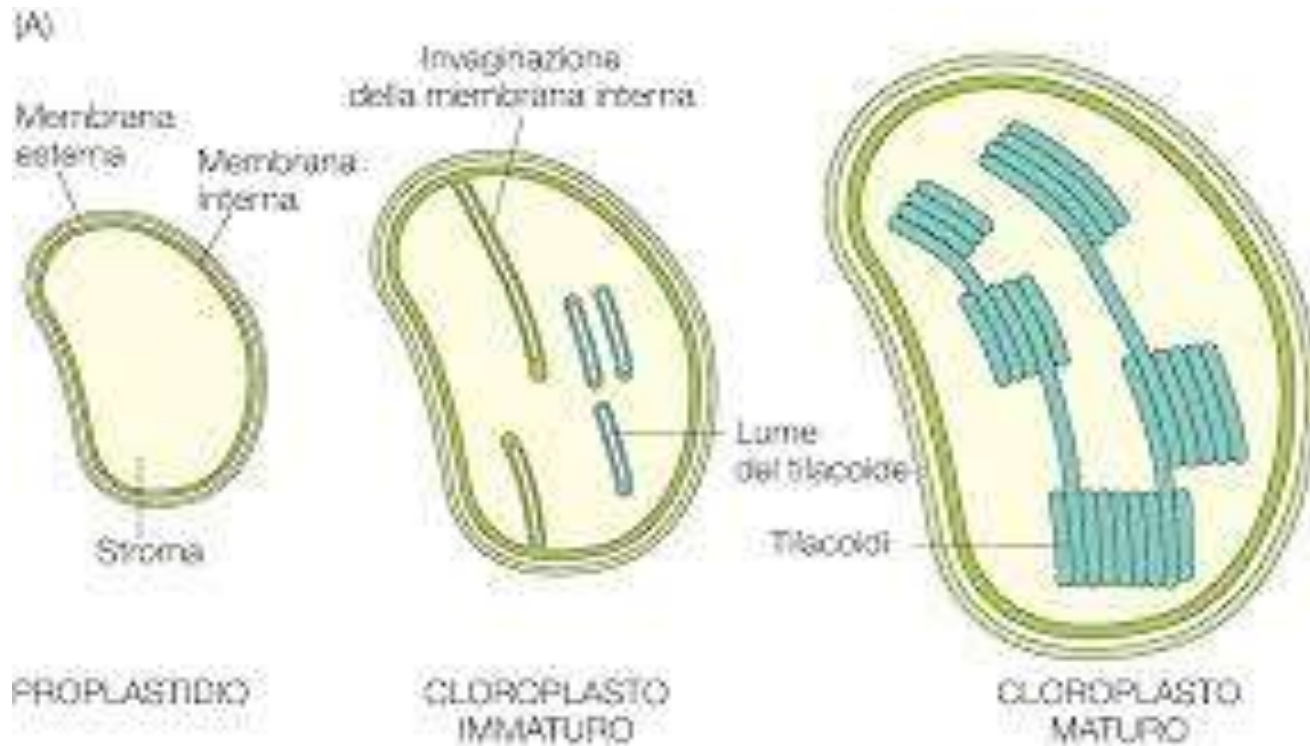
Gli ezioplasti sintetizzano molti lipidi, che sono componenti delle membrane interne dei cloroplasti, mentre è molto ridotta la sintesi delle proteine di membrana. La grande sintesi di lipidi porta alla formazione di un sistema di membrane tubulari molto ramificato, che forma un corpo paracristallino, il **corpo prolamellare**.

Se la plantula viene esposta alla luce il protoclorofillide si trasforma in clorofilla e i lipidi del corpo prolamellare si disperdono e vanno a formare le membrane tilacoidali e l'ezioplasto si trasforma in cloroplasto.

Il processo è definito **fotoconversione** e si compie in tempi relativamente brevi (in genere nell'arco di un paio di giorni).



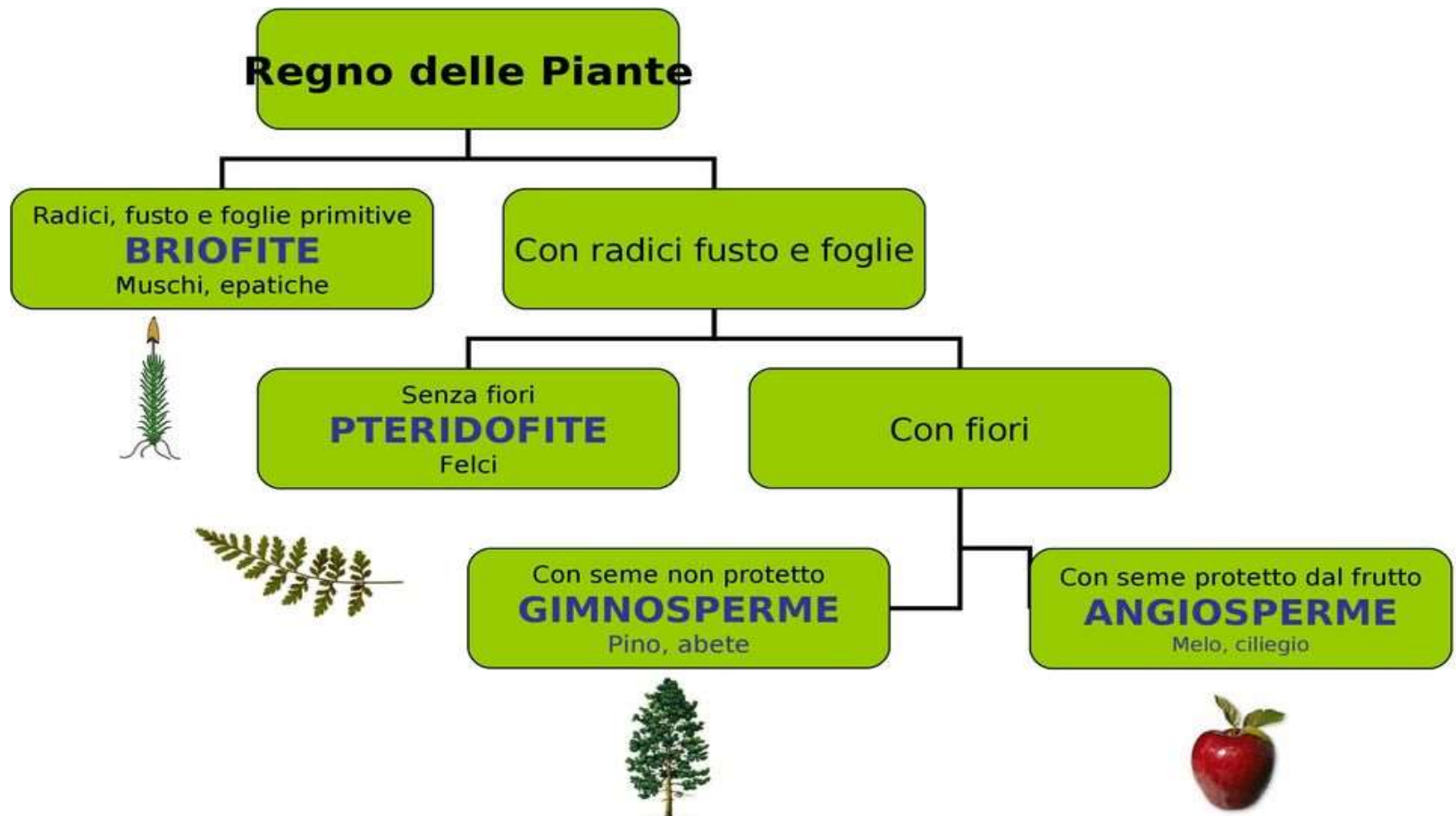
DA PROPLASTIDI A CLOROPLASTI



La **luce è un fattore necessario ma non sufficiente** per la trasformazione dei proplastidi in cloroplasti.

Lo sviluppo dei plastidi è governato anche da **fattori genetici che sono organo-specifici e tessuto-specifici.**

La relazione tra luce e sviluppo dei plastidi è divenuta più stretta nel corso dell'evoluzione delle piante; mentre nelle pteridofite e gimnosperme la sintesi di clorofilla e il differenziamento dei cloroplasti può avvenire anche al buio, nelle angiosperme, in assenza di luce, i proplastidi non si differenziano in cloroplasti, né sintetizzano clorofilla, ma si differenziano in ezioplasti.



Durante il differenziamento dei proplastidi in cloroplasti, le membrane interne aumentano di numero e complessità per cui si cominciano a formare i primi tilacoidi granali e intergranali. Sono ancora scarsamente conosciuti i meccanismi con i quali vengono prodotte le membrane tilacoidali e poi assemblate in un modello tridimensionale.

A differenza delle angiosperme, le gimnosperme sono in grado di sintetizzare la Chl sia al buio che alla luce. L'abilità a sintetizzare la Chl al buio è legata alla presenza di 3 geni (**chlL**, **chlN**, and **chlB**) nel genoma del cloroplasto che codificano per subunità protoclorofillide riduttasi luceindependenti. E' un ossidoreduttasi che catalizza la seguente reazione:



Almeno 2 di questi geni sono assenti nel genoma dei cloroplasti delle angiosperme e conseguentemente sono incapaci di sintesi della Chl al buio.

Sia le angiosperme che le gimnosperme sono capaci di sintesi dei carotenoidi al buio sebbene la sintesi venga stimolata dalla luce.

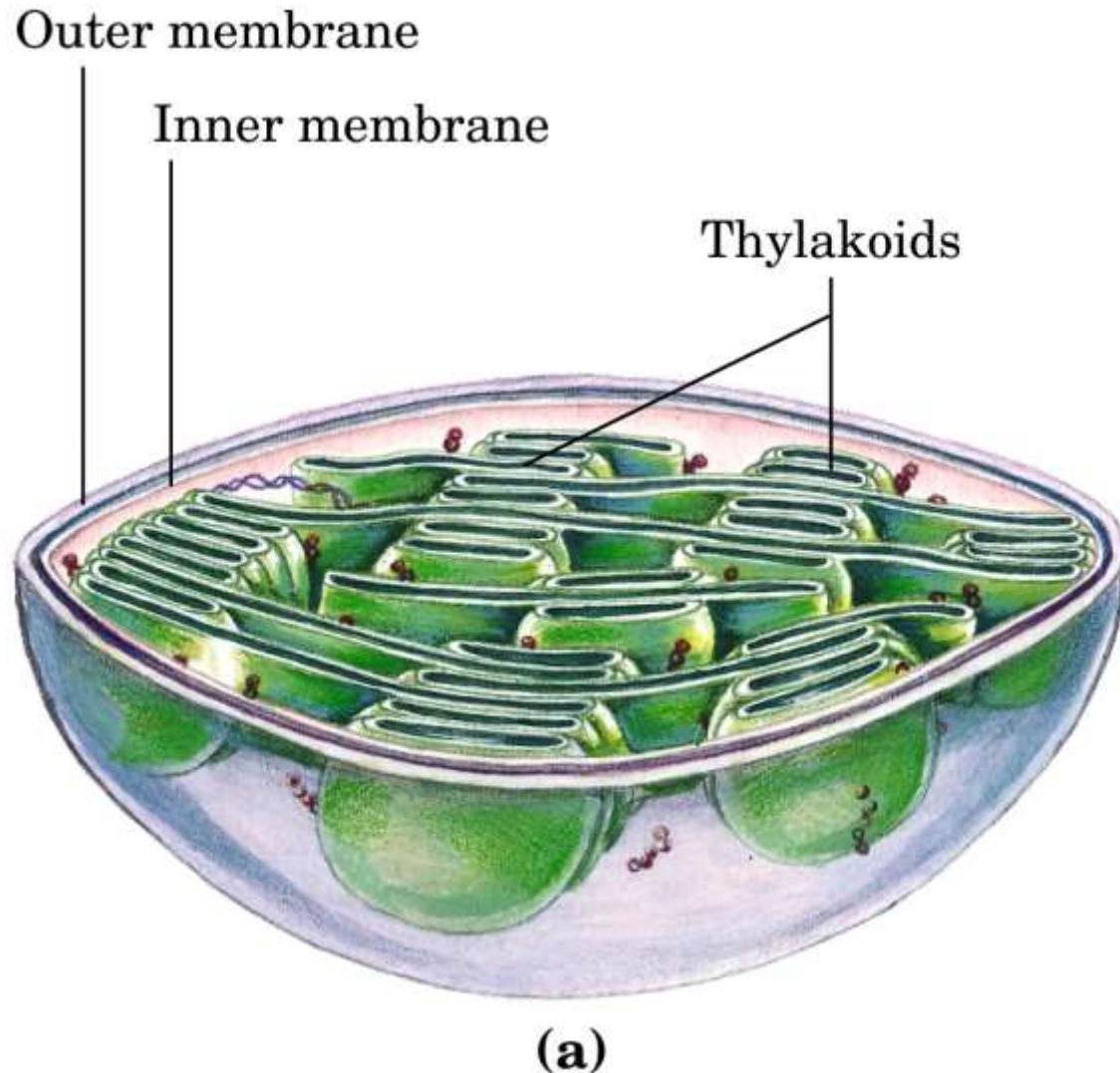
SOLO I CLOROPLASTI SONO PLASTIDI FOTOSINTETICI

I principali organi fotosintetici, in quasi tutte le piante superiori, sono le foglie.



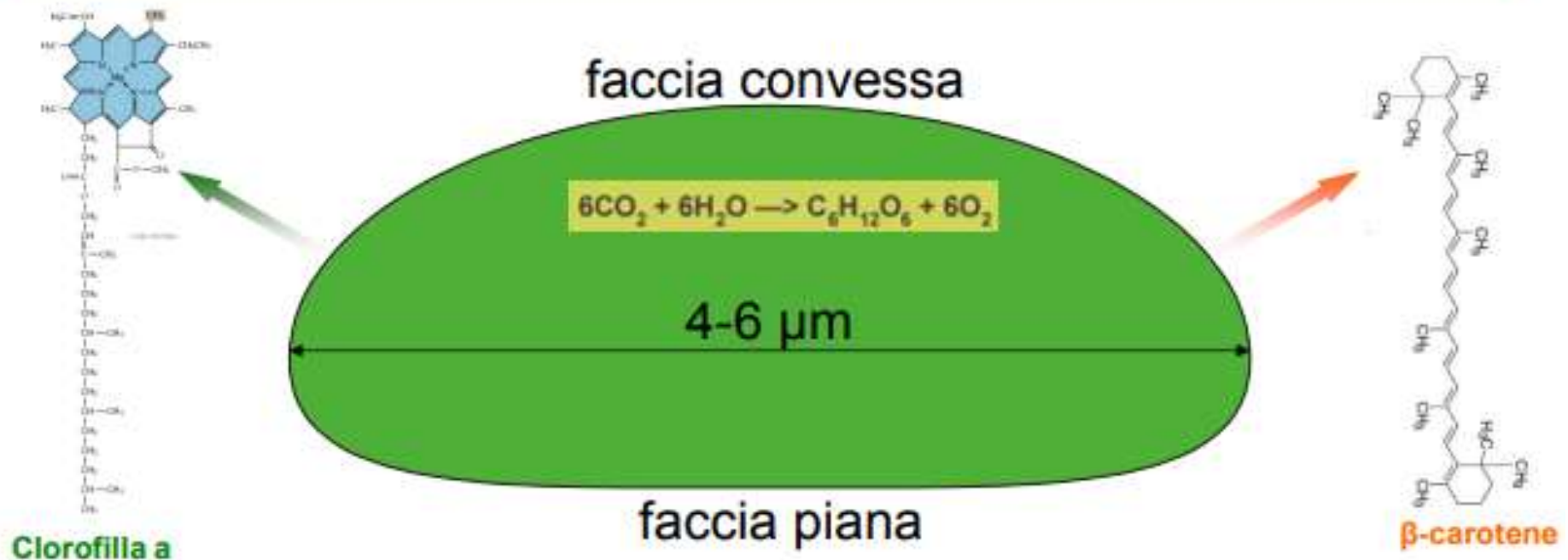
I cloroplasti occupano l'8% del volume cellulare totale nelle piante superiori

Nelle piante superiori da 1 a 100 per cellula hanno forma lenticolare e sono in grado di riprodursi per semplice divisione

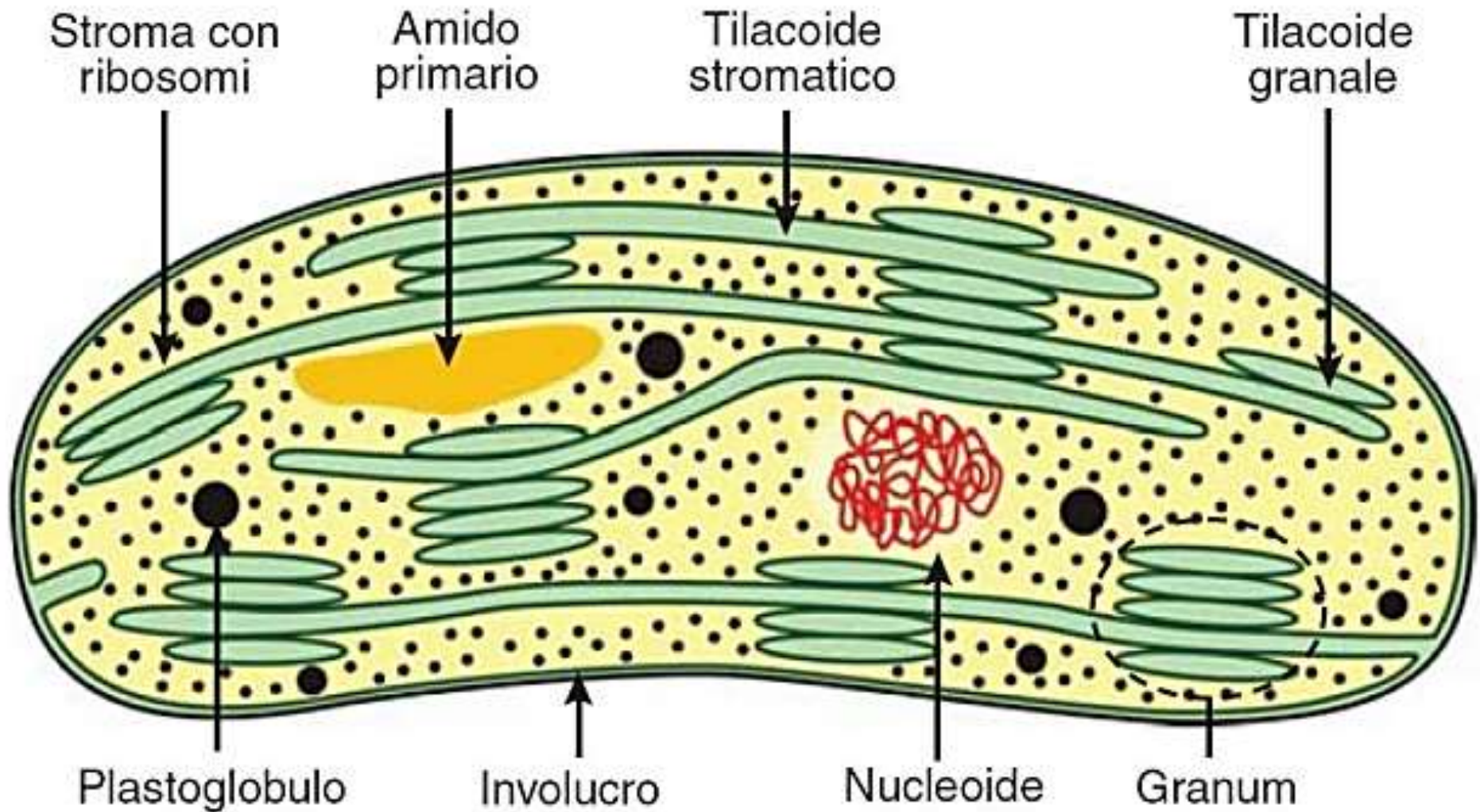


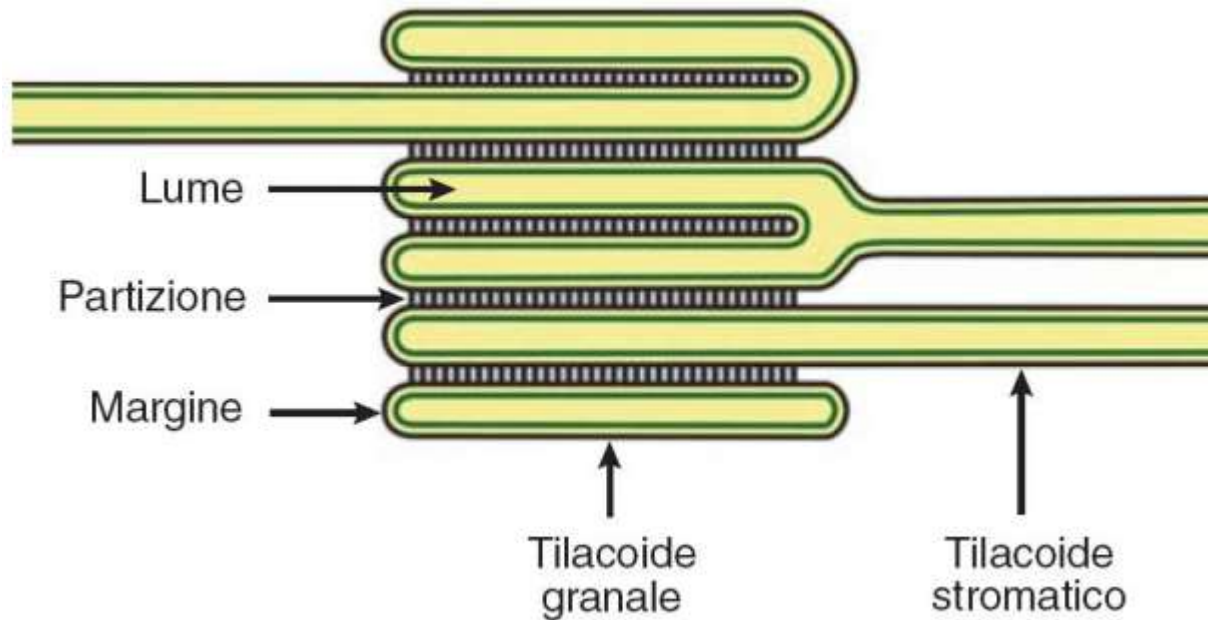
I CLOROPLASTI

- forma ellissoidale con una faccia piana ed una convessa
- dimensioni di 4-6 μm
- contengono clorofille e carotenoidi
- hanno funzione fotosintetica
- sono presenti in tutti gli eucarioti fotoautotrofi (alghe e piante)

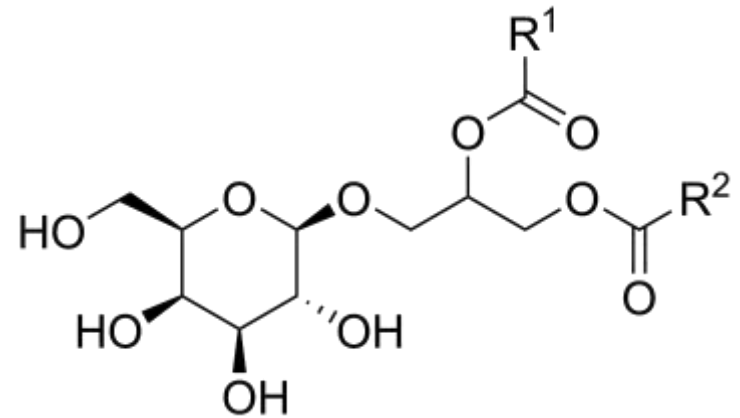


I CLOROPLASTI

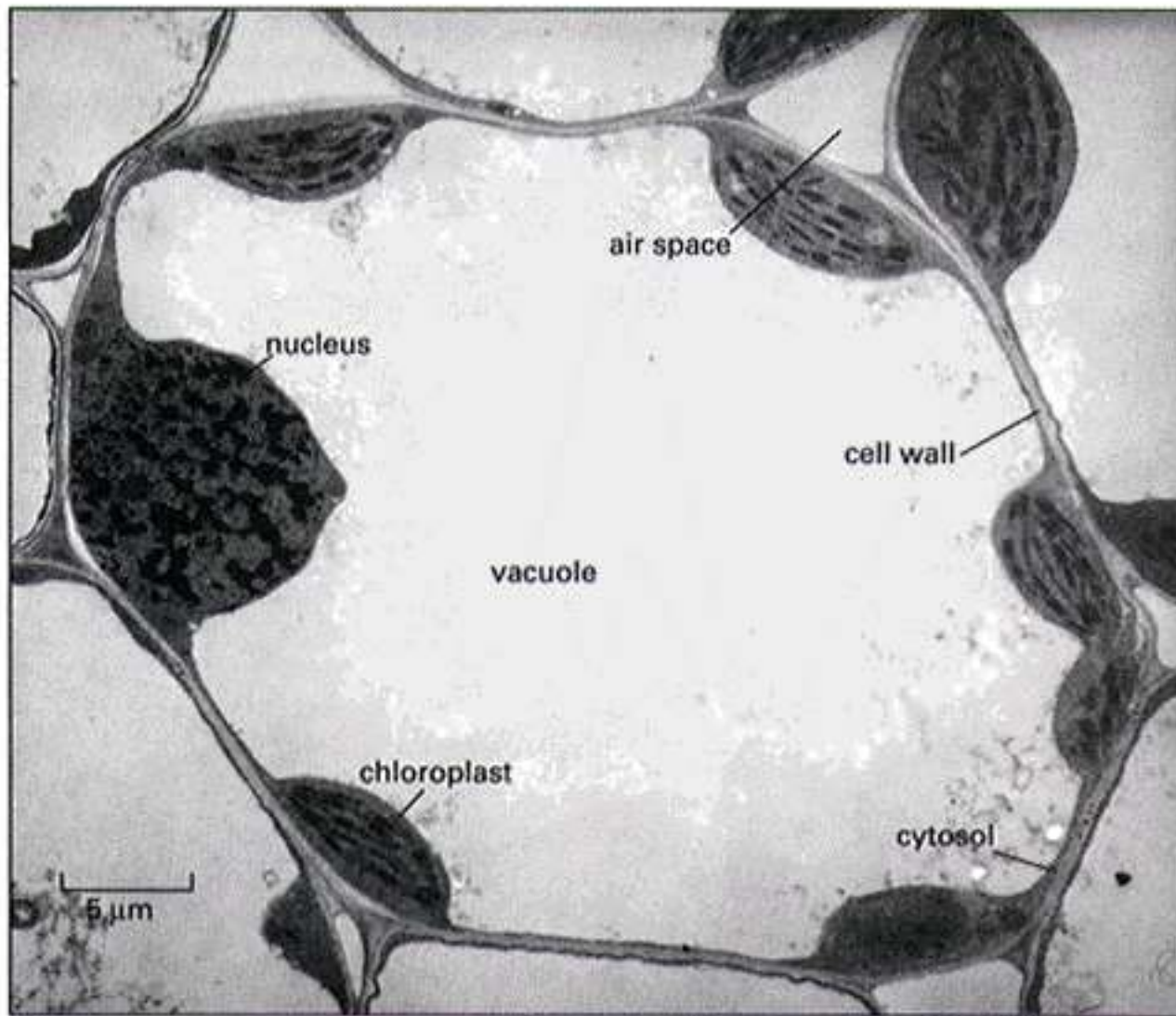




Diversamente dalle membrane della maggior parte delle cellule eucariotiche, quelle dei cloroplasti sono povere in fosfolipidi e ricche in **galattolipidi**, inoltre presentano uno strato di peptidoglicani tra le due membrane (dimostrazione dell'origine dai cianobatteri).



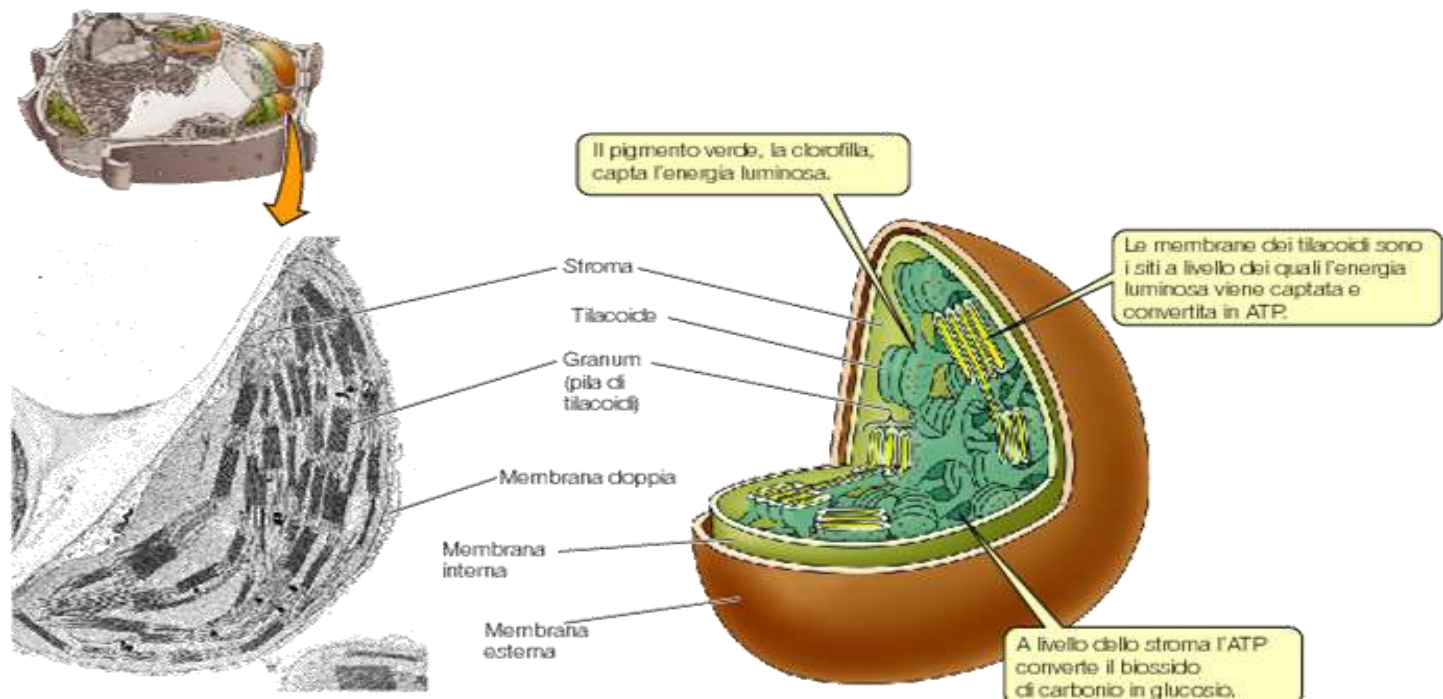
I galattolipidi sono glicolipidi in cui l'ossidrile in posizione C3 del glicerolo è impegnato in un legame acetalico col carbonio C1 di una molecola di galattosio



(A)

From The Art of MBoC³ © 1995 Garland Publishing, Inc.

Cellula di foglia di grano (TEM) che mostra una cellula con un grande vacuolo che pressa il citoplasma contro la periferia della cellula-notare i cloroplasti.



È delimitato da 2 membrane unitarie che costituiscono l'involucro plastidiale e sono separate da uno spazio periplastidiale.

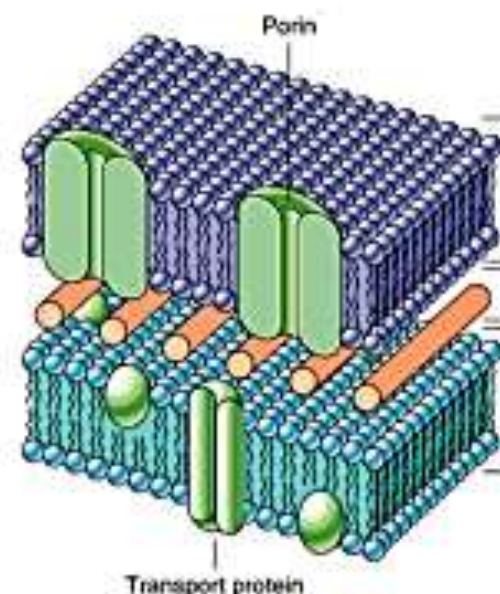
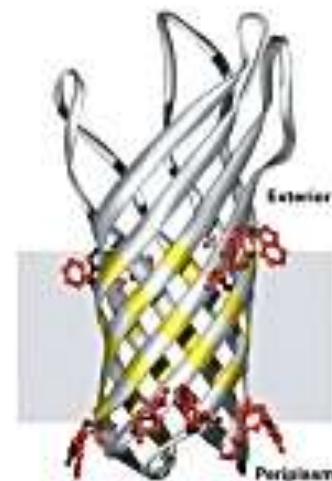
Le 2 membrane sono specializzate per funzioni molto diverse.

La membrana esterna è coinvolta essenzialmente nei meccanismi di riconoscimento e di trasferimento all'interno dell'organello, di componenti strutturali e funzionali, sintetizzati in altri compartimenti cellulari.

Quella interna, invece, regola il flusso di metaboliti e ioni organici tra citoplasma e stroma plastidiale.

La membrana esterna del cloroplasto è permeabile a molecole di ridotte dimensioni (<10 kDa) grazie alla presenza di speciali proteine, le **porine** che formano dei canali.

La membrana interna è molto selettiva, permeabile solo a molecole neutre: gli scambi di metaboliti e ioni avvengono attraverso specifiche proteine trasportatrici.



I CLOROPLASTI

INTERAZIONI PLASTOMA-GENOMA

Il DNA plastidiale contiene un numero di geni sufficiente per la sintesi di 125 proteine (le proteine codificate dai geni nucleari sono decine di migliaia)

Molte delle proteine presenti nei cloroplasti sono codificate da geni nucleari, sintetizzate nel citoplasma e poi importate nel cloroplasto

Alcune proteine sono costituite da diverse subunità di cui alcune sono codificate da geni nucleari e altre da geni plastidiali

IMPORTO DI PROTEINE DAL CITOPLASMA AL CLOROPLASTO

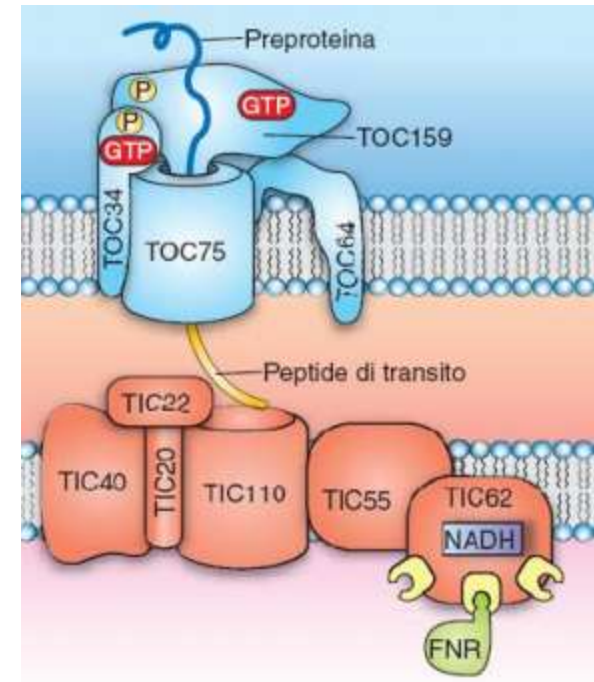
attraverso trasportatori specifici localizzati nell'involucro. Le proteine destinate al cloroplasto portano nella posizione ammino-terminale un piccolo peptide di transito che riconosce i trasportatori sulla membrana del cloroplasto.

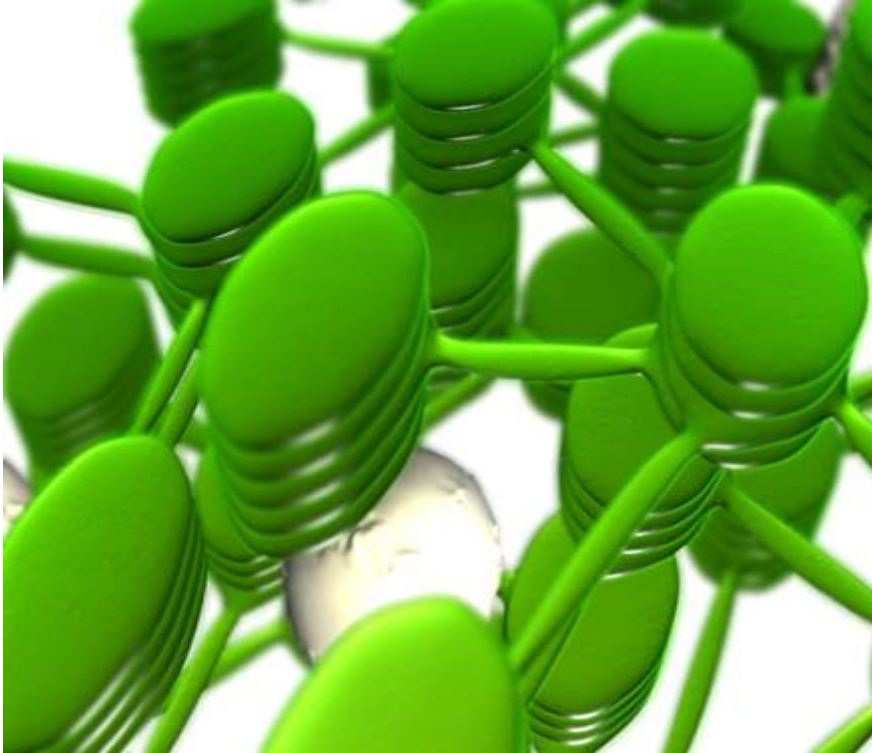
Il sistema di riconoscimento ed importo è localizzato sull'involucro dei plastidi fotosintetici e non; è costituito da due complessi multiproteici :

TOC-Translocon of Outer Envelope of Chloroplast
(traslocone inserito nell'involucro esterno del cloroplasto)

TIC-Translocon of Inner Envelope of Chloroplast
(traslocone inserito nell'involucro interno del cloroplasto)

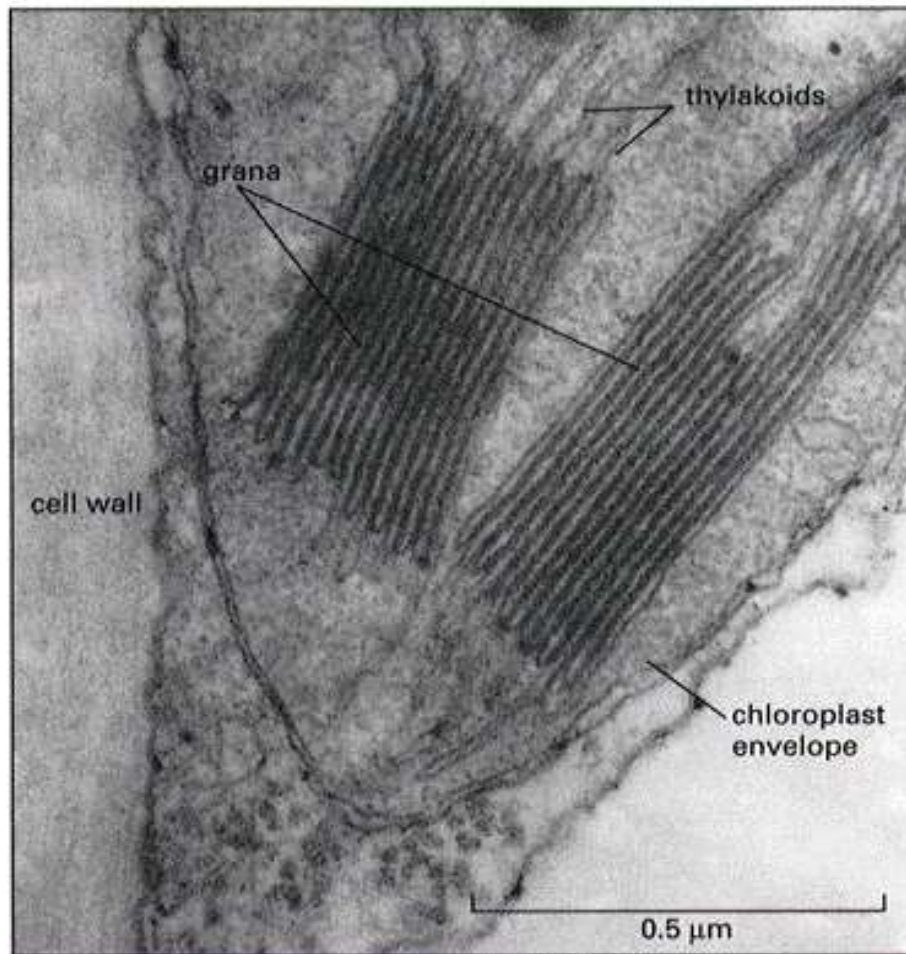
Durante il passaggio il peptide di transito viene eliminato e la proteina matura raggiunge la sua destinazione





La struttura interna del cloroplasto è complessa.

Lo stroma è attraversato da un elaborato sistema di tilacoidi, formato da “**grana**”-serie di tilacoidi a forma di disco somiglianti a pile di monete- e “**tilacoidi stromatici**” (intergranari) che, attraversano lo stroma tra i grana, parallelamente all’asse maggiore del cloroplasto.



(C)

From The Art of MBoC³ © 1995 Garland Publishing, Inc.

Un dettaglio dei grana. Identifica lo spazio intra-tilacoidale, il compartimento nel quale I protoni sono pompati durante le reazioni di trasporto degli elettroni (reazioni luminose).

Il complesso ATPasico, che dissipa il gradiente protonico è anche localizzato in queste membrane. Nota anche la doppia membrana del cloroplasto, che gioca un ruolo importante nel controllo del trasporto degli acidi organici e degli zuccheri.

I cloroplasti delle piante superiori contengono circa 50 grana per cloroplasto e granuli di amido. L'**involucro** esterno non contiene clorofilla, ma carotenoidi.

Grana = tilacoidi organizzati in pila

Lamelle stromatiche = membrane che uniscono i grana

Complessi proteici dei tilacoidi (integrali e periferici) in parte orientati verso lo **stroma** in parte verso il **lume**.

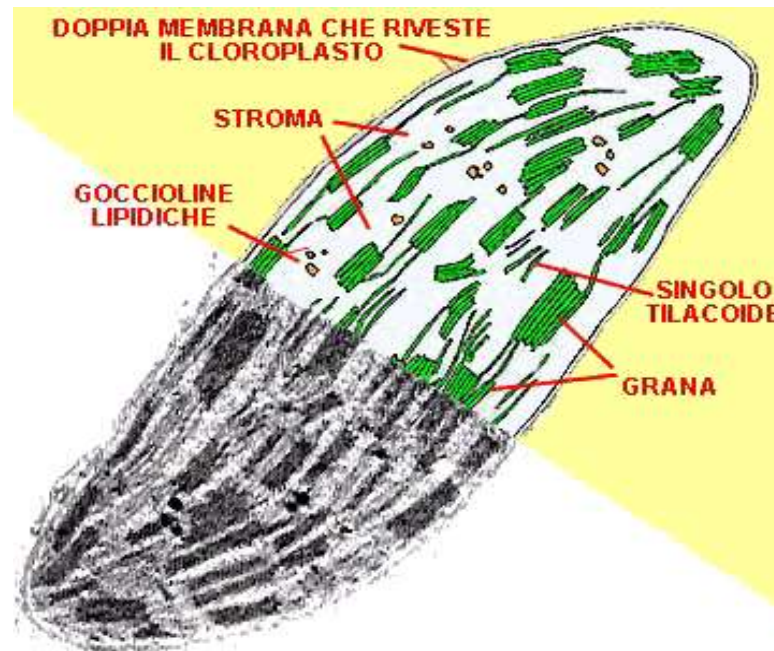
Lipidi di membrana = 50% lipidi acilici prevalentemente galattolipidi elettricamente neutri (MGDG e DGDG) e in minore percentuale fosfolipidi e solfolipidi.

Acidi grassi altamente insaturi (ac linolenico) = membrane + fluide

Lamelle appressate meno fluide per un elevato rapporto proteina/lipide

E' stato ipotizzato che tutti i tilacoidi siano, in qualche modo, collegati tra di loro, in modo da formare un'unica cavità interna.

Questo spazio interno servirebbe da sito di accumulo per gli ioni H^+ liberati nella prima fase della fotosintesi (il gradiente formato dai quali, ai due lati della membrana dei tilacoidi, è assai importante per fornire energia alla sintesi chemiosmotica di ATP).



Nella membrana tilacoidale troviamo tre gruppi di molecole importantissime:

1.I fotosistemi, di cui il **PSII** presente soprattutto sulla membrana dei tilacoidi impilati in grana e il **PSI** più esterno per essere accessibile al NADP⁺ nello stroma. I fotosistemi comprendono l'insieme dei pigmenti fotosintetici, i pigmenti antenna (accessori) e i pigmenti del centro di reazione;

2.Il sistema di trasporto elettronico del cloroplasto, in grado di ricevere gli elettroni perduti dalla clorofilla, in seguito all'assorbimento di luce;

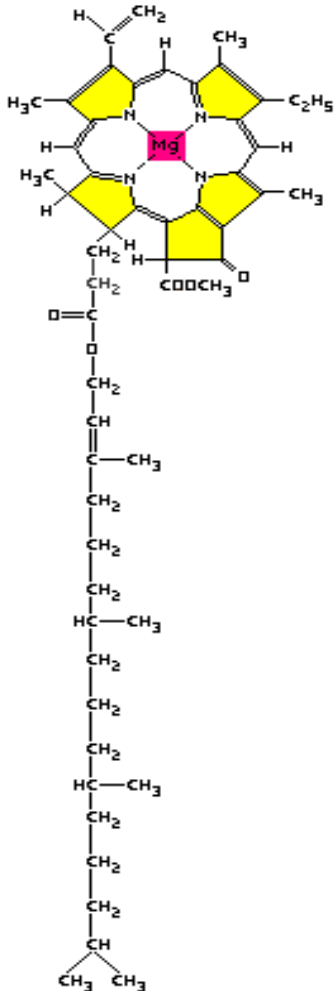
3.I complessi proteici dell'ATP-sintetasi, in grado di sfruttare il gradiente di ioni H⁺, creatosi tra lo spazio interno dei tilacoidi e lo stroma, per produrre molecole di ATP con meccanismo chemiosmotico.

Funzioni del cloroplasto :

- **Cattura l'energia luminosa e convertirla in energia chimica-
reazioni luminose;**
- Usa l'energia chimica per guidare un numero di vie biosintetiche -
come la riduzione del diossido di carbonio, nitrato e solfato in
molecole organiche come zuccheri ed aminoacidi;
- Esprime un numero di geni codificanti per proteine strutturali ed
enzimatiche.
- Regola il flusso di piccole molecole dal e verso il citoplasma
- Permette la diffusione di O₂ e di CO₂
- Comunica con il resto della cellula

Pigmenti Fotosintetici

Le clorofille e i pigmenti carotenoidi inclusi nelle membrane dei tilacoidi sono responsabili della cattura della luce, che dà l'avvio alla fotosintesi clorofilliana processo biologico di conversione dell'energia radiante in energia chimica, utilizzata poi per la trasformazione di composti a basso livello in composti ad alto livello di energia libera, con un rifornimento finale di energia potenziale chimica all'organismo.



Nell'assorbimento dell'energia radiante utile per la conduzione del processo fotosintetico, sono coinvolte tre classi differenti di pigmenti:

le *clorofille*, i *carotenoidi* e le *ficobiliproteine*.

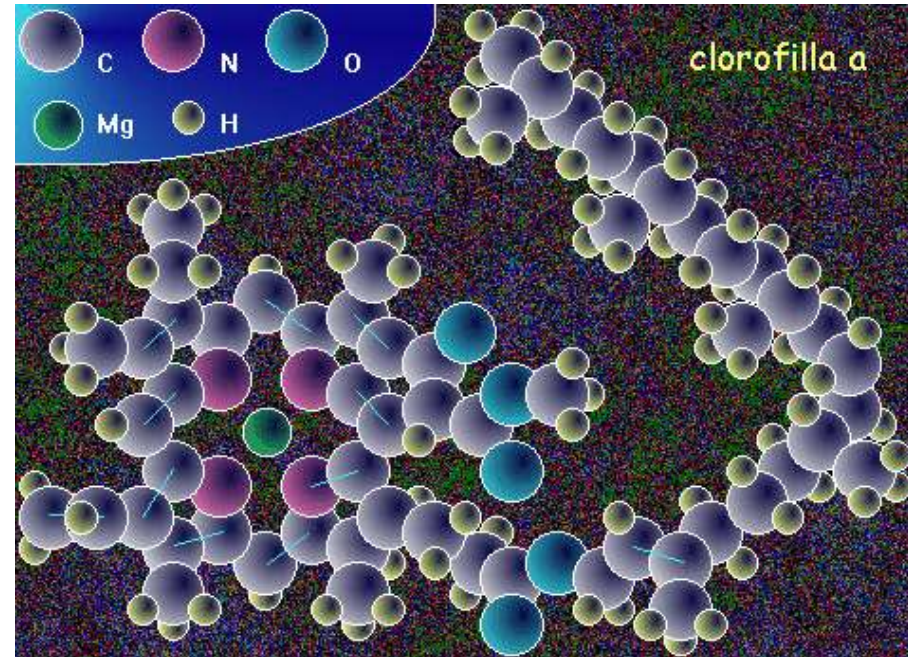
I pigmenti delle prime due classi sono ubiquitari tra gli organismi fotosintetizzanti, le ficobiliproteine, invece, sono specifiche di alcuni gruppi algali (cianobatteri, alghe rosse, criptoficee).

La Clorofilla

Le molecole di clorofilla hanno un **anello porfirinico idrofilo** e una **catena idrofoba**.

L'anello porfirinico è costituito da 4 eterocicli collegati da ponti CH e con i 4 N rivolti verso l'interno che coordinano lo ione metallico al centro.

Qui è rappresentata la **clorofilla a**.

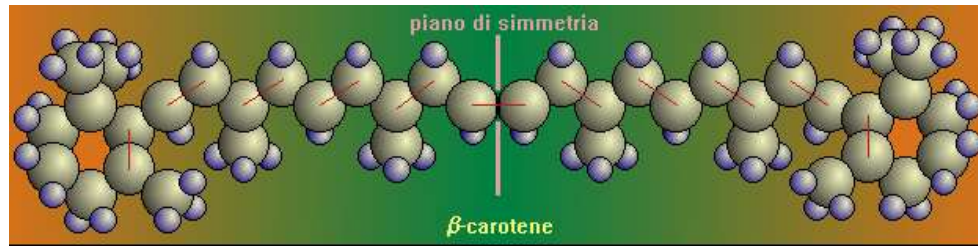


Clorofilla a: in tutti gli organismi con fotosintesi ossigenica (nei complessi antenna e nei centri di reazione)

Clorofilla b: negli organismi fotosintetici verdi (piante vascolari, briofite, alghe verdi)

Clorofille c1-c2: pigmenti accessori presenti in diversi gruppi di alghe (diatomee, feofite)

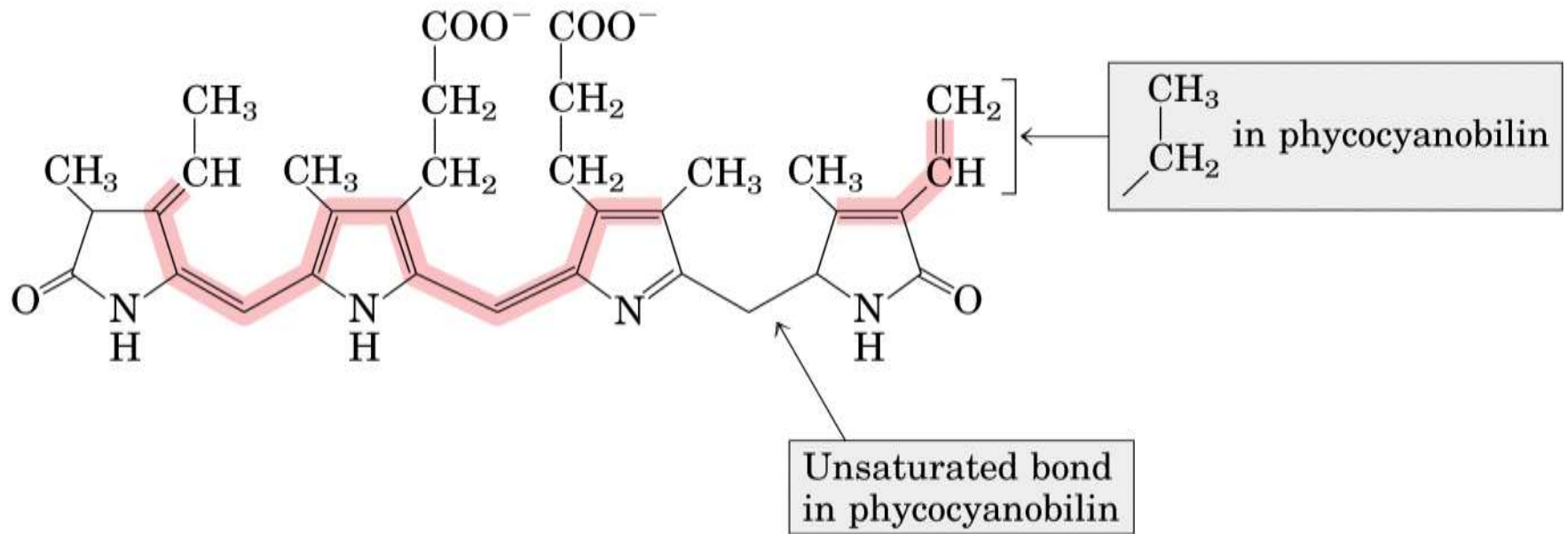
Batterioclorofille: presenti nei batteri con fotosintesi anossigenica, alcune fanno parte dei centri di reazione.



I carotenoidi sono **pigmenti** di colore giallo o arancione la cui molecola ha due anelli esagonali (aperti o chiusi) collegati fra loro da una lunga **catena isoprenica** con **doppi legami coniugati**.

Sono **idrofobi**, essendo generalmente costituiti esclusivamente da **C** ed **H**.

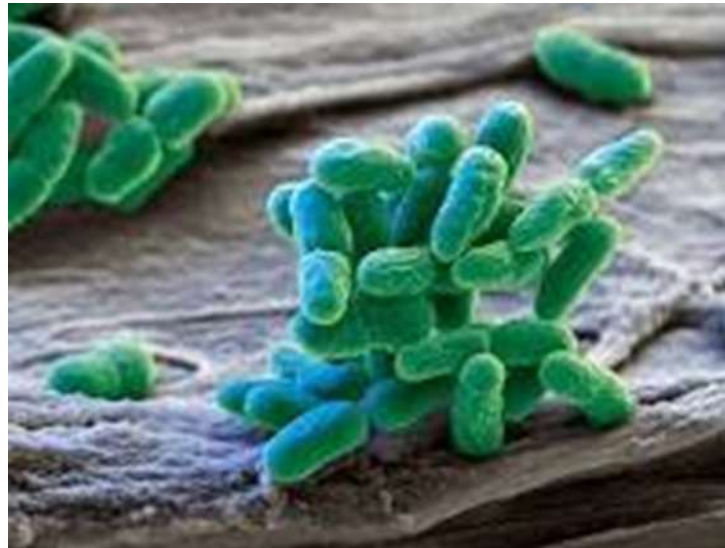
Ficobiline presenti nelle alghe rosse e nei cianobatteri



(b) Phycoerythrobilin

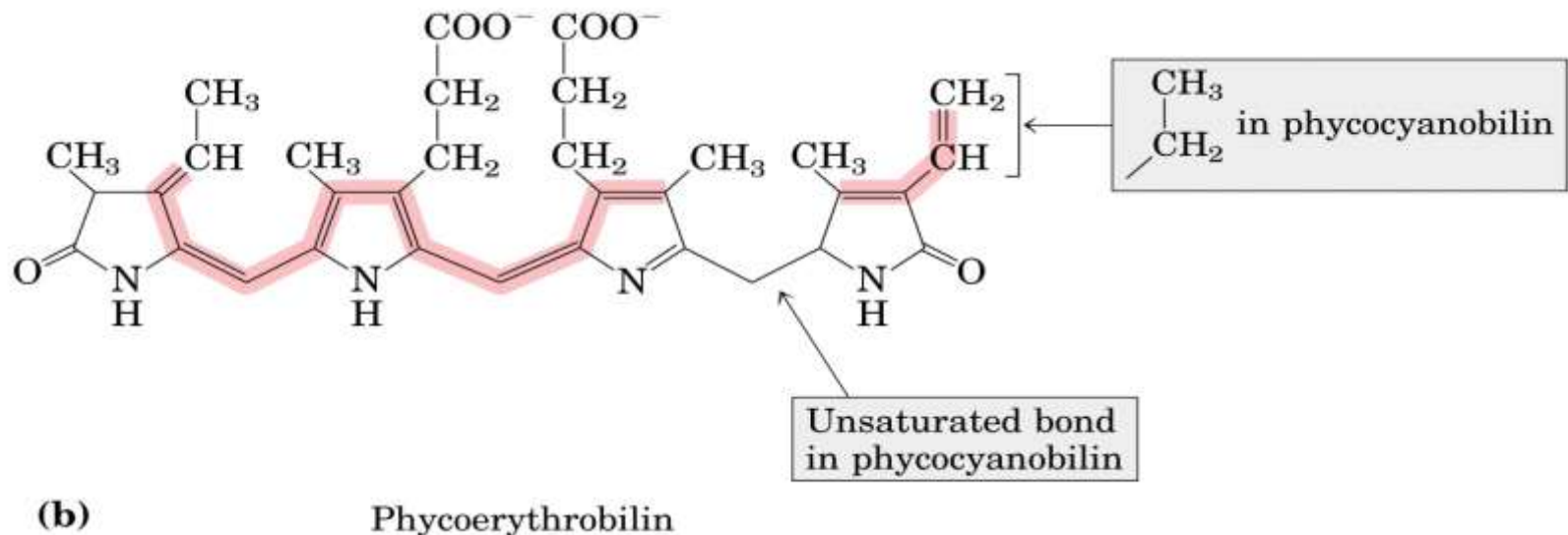
Apparato fotosintetico dei CIANOBBATTERI

- Occupa gran parte del citoplasma e si presenta come un grosso sistema di lamelle o sacculi appiattiti e paralleli, detti **tilacoidi**, prodotti per ripetute invaginazioni del plasmalemma, nei quali si trovano immersi i pigmenti fotosintetici, cioè *clorofilla a*, *carotenoidi* e *xantofille*, di tipo diverso da quelle degli eucarioti.
- I **tilacoidi** dei cianobatteri sono ricoperti dai **ficobilisomi**, piccole granulazioni formate da proteine e pigmenti accessori detti **ficobiline**, di colore azzurro (*ficocianina* e *alloficocianina*) e di colore rosso (*ficoeritrina*), che spesso mascherano il colore verde della clorofilla.



Apparato fotosintetico dei CIANOBBATTERI

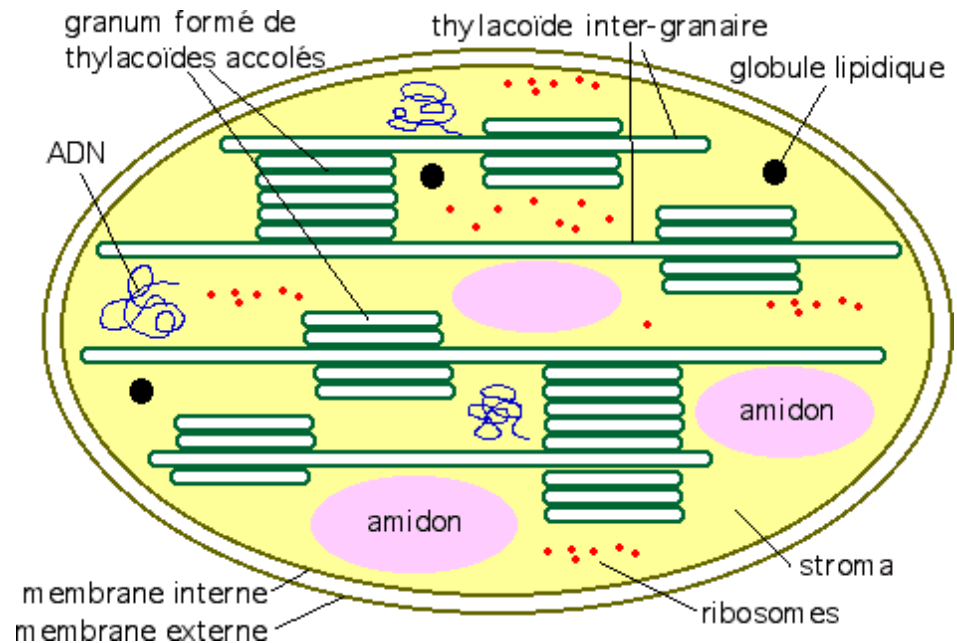
- Le **ficobiline**, come gli altri pigmenti accessori, svolgono l'importante funzione di captare radiazioni luminose di lunghezza d'onda diversa da quella assorbibile dalla clorofilla e di trasmetterla a quest'ultima per lo svolgimento del processo fotosintetico.
- A differenza degli altri batteri fotosintetici e come in tutti i vegetali eucariotici, nei cianobatteri sono presenti entrambi i tipi di **fotosistemi** (PS I e PS II), i quali funzionano adoperando l'acqua come donatore di elettroni per la produzione di energia chimica (ATP e NADPH) con liberazione di ossigeno



La capacità di formare i cloroplasti ed i pigmenti ad essi associati, implica il contributo sia del DNA nucleare, che di quello plastidiale che è circolare e ha dimensioni tra 120-190 Kb nelle vascolari, tra 85-300Kb nelle alghe.

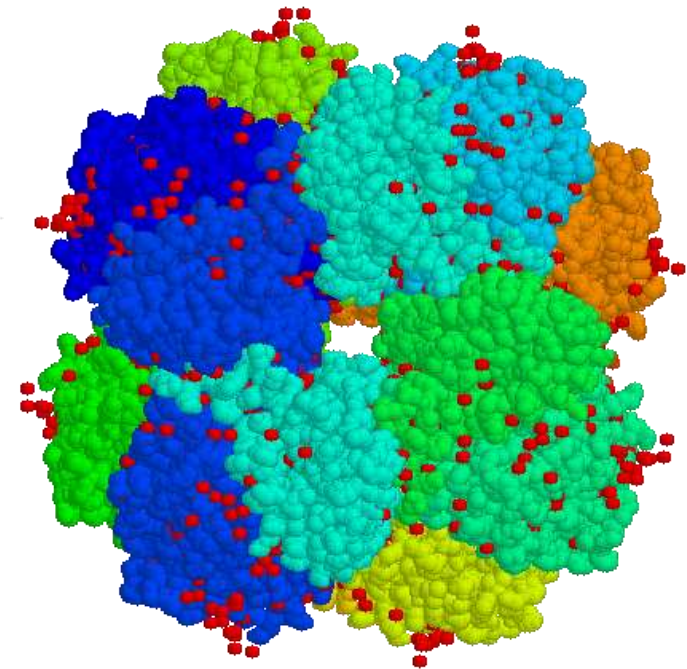
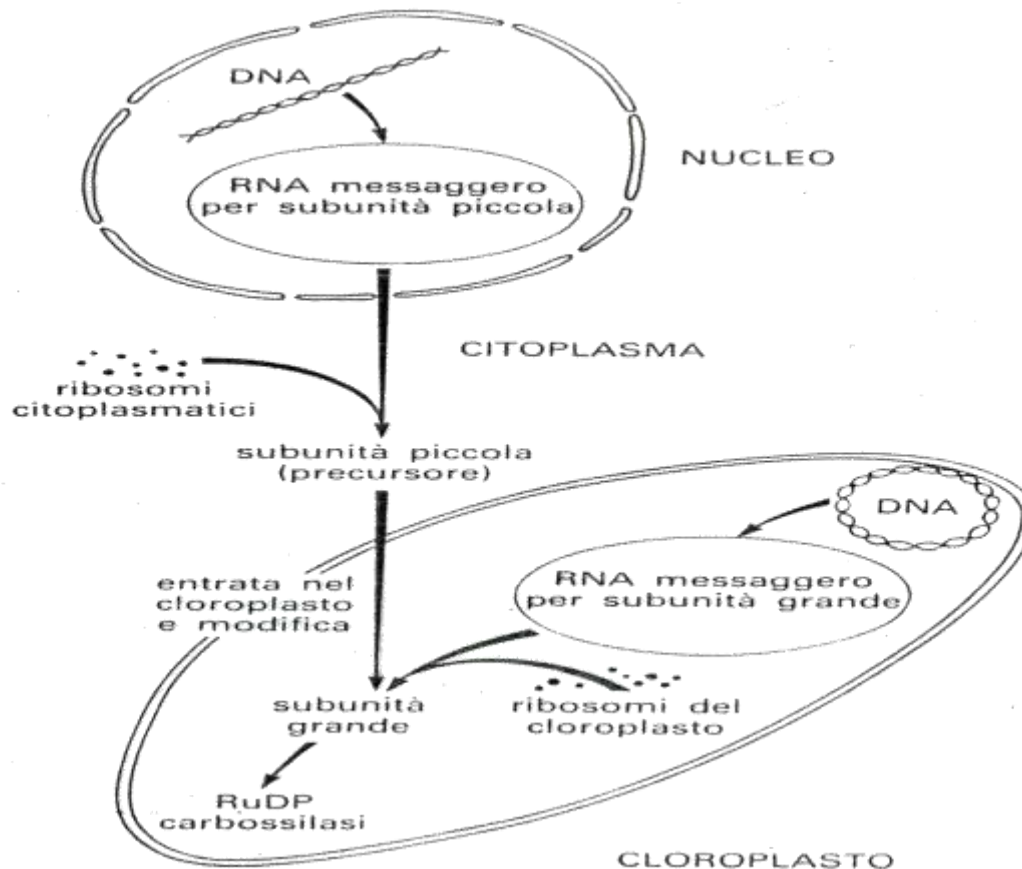
Il DNA plastidiale e l'intero macchinario per la traduzione e trascrizione delle informazioni genetiche (ribosomi, tRNA, aminoacidi ecc.), si trovano nello stroma del cloroplasto assieme agli enzimi solubili delle vie biochimiche; tra questi, troviamo gli enzimi della fase buia della fotosintesi - Ciclo di Calvin-e quelli del metabolismo dell'amido.

La proteina stromatica + abbondante è la [Rubisco](#) che conduce la reazione carbossilativa di fissazione della CO₂ sul ribulosio-1-5 bisfosfato.

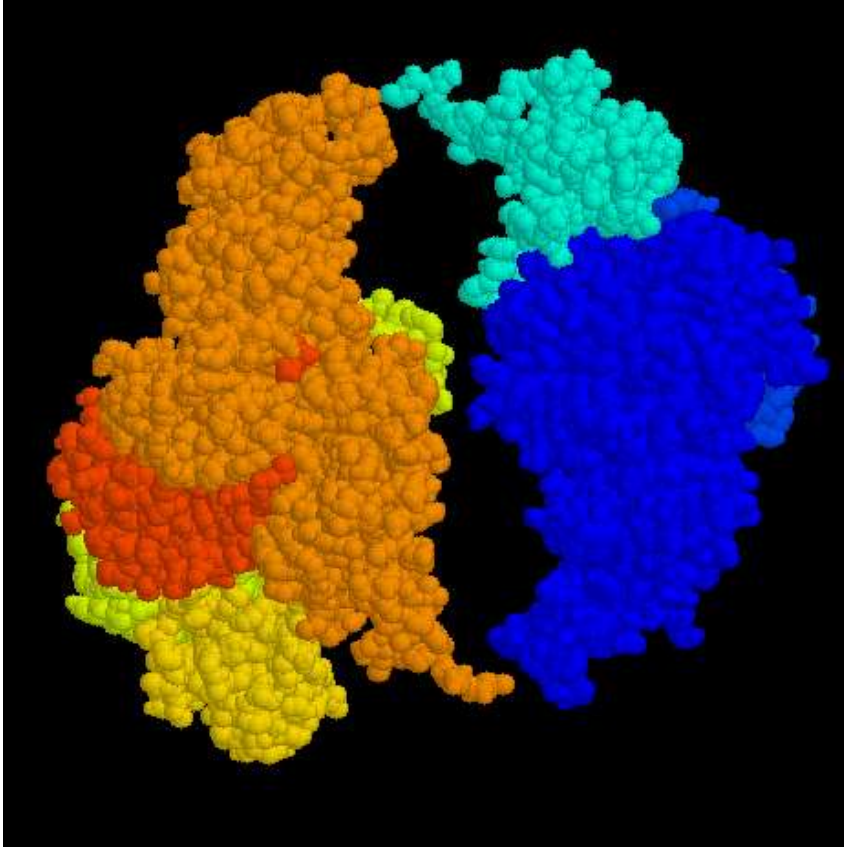


La RUBISCO, il più importante enzima plastidiale coinvolto nella fotosintesi è formata da 8 subunità proteiche grandi e 8 subunità piccole.

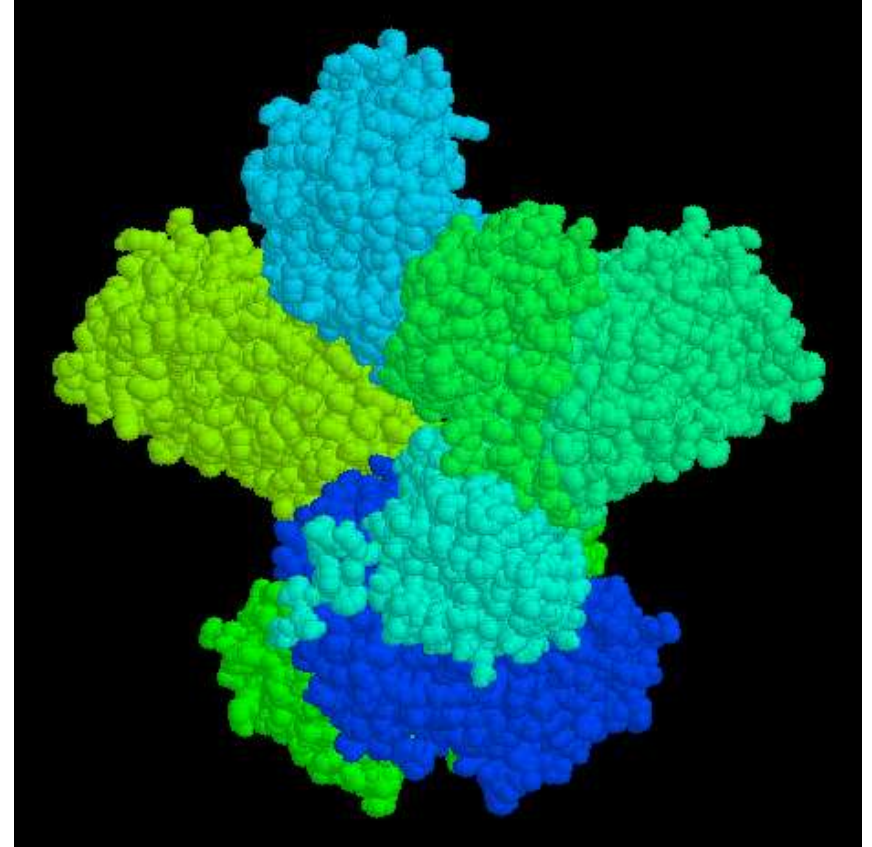
L'informazione genica per costruire la subunità grande è contenuta nel DNA dei cloroplasti mentre quella per costruire la subunità piccola nel DNA del nucleo.



Sub-unità piccole

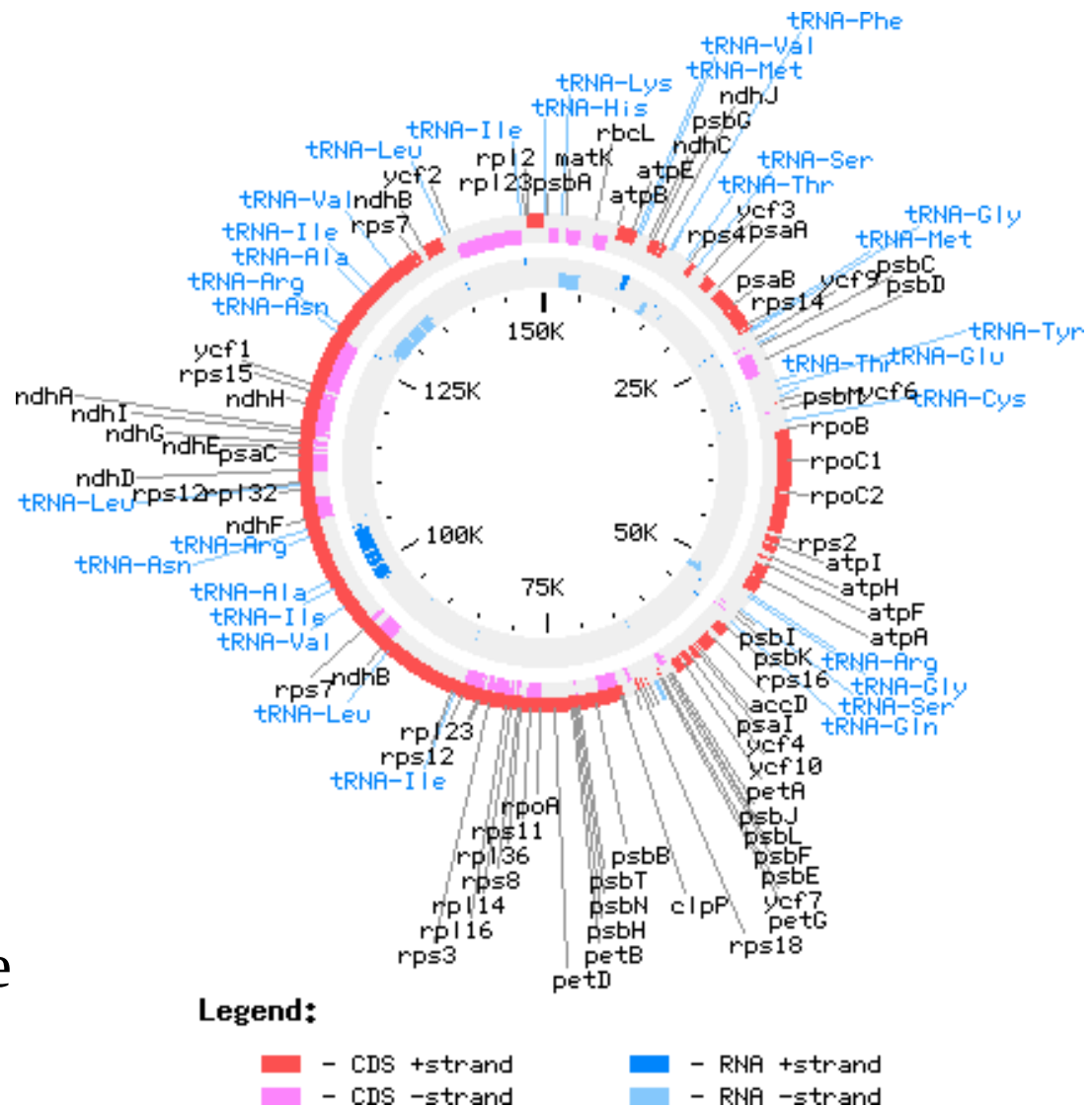


Sub-unità grandi

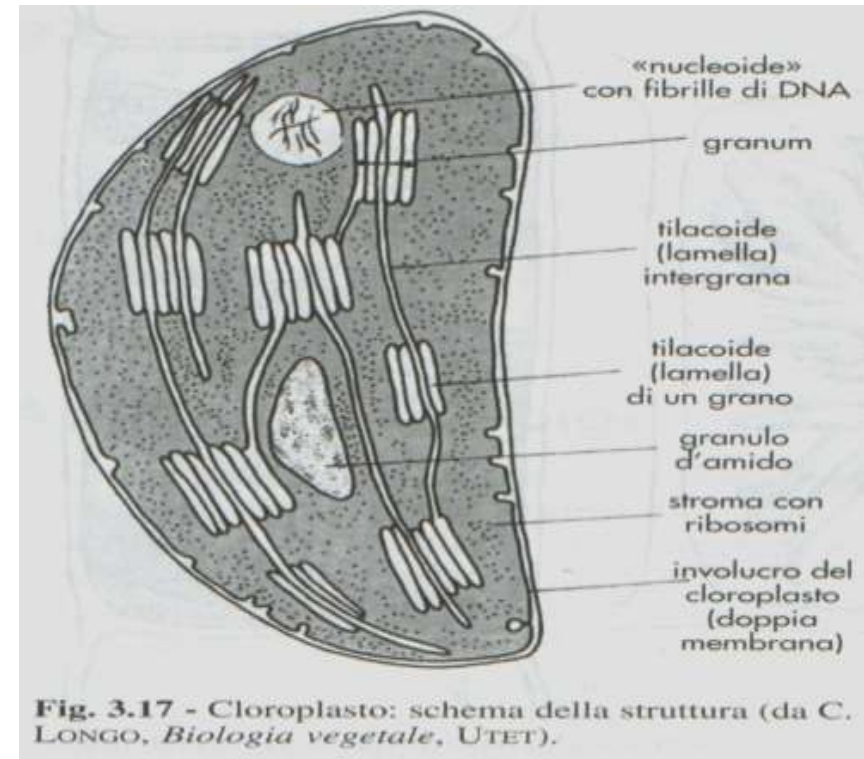


Alcune proteine del cloroplasto sono codificate o rese specifiche dal DNA plastidiale e sono sintetizzate nel cloroplasto stesso.

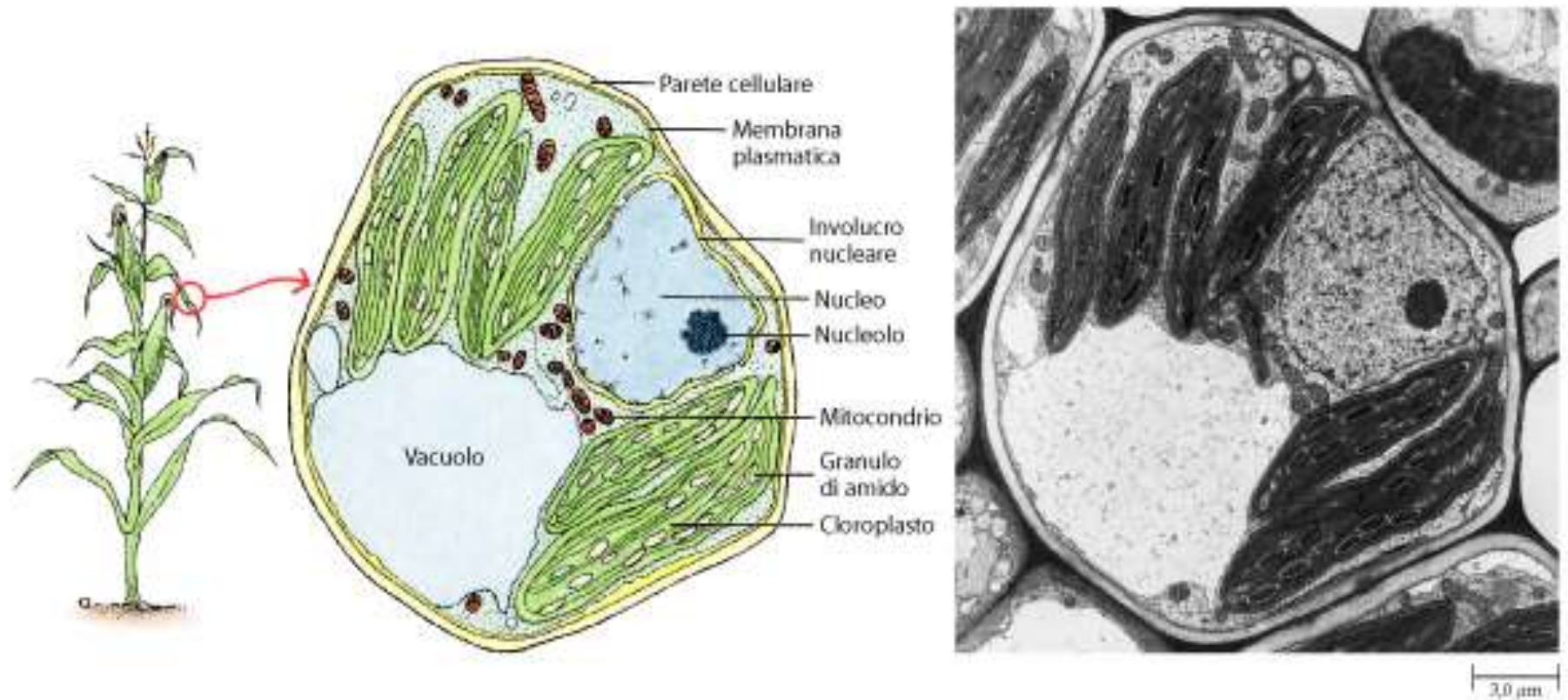
Molte proteine sono tuttavia codificate dal DNA nucleare, sintetizzate nel citosol e poi trasportate nel cloroplasto.



Quando i cloroplasti fotosintetizzano rapidamente, producono una quantità di zuccheri superiore alle necessità della cellula e l'eccesso viene temporaneamente polimerizzato a formare granuli d'amido (**AMIDO PRIMARIO**) all'interno dei cloroplasti stessi.



Se la pianta resta al buio per almeno 24h, l'amido viene scisso per fornire zucchero alla pianta, che in queste condizioni non è in grado di fotosintetizzare. I granuli di amido ricompaiono poi dopo 3 o 4 ore di esposizione della pianta alla luce.



I cloroplasti, non solo sono i siti della fotosintesi, ma sono anche coinvolti nella sintesi degli amminoacidi e degli acidi grassi e dell'accumulo temporaneo dell'amido (a. primario o fotosintetico).

AMIDO

L'amido è un polimero ad alto peso molecolare del GLUCOSIO.

La sua sintesi avviene nei cloroplasti

L'AMIDO è l'unione di due diversi polimeri:

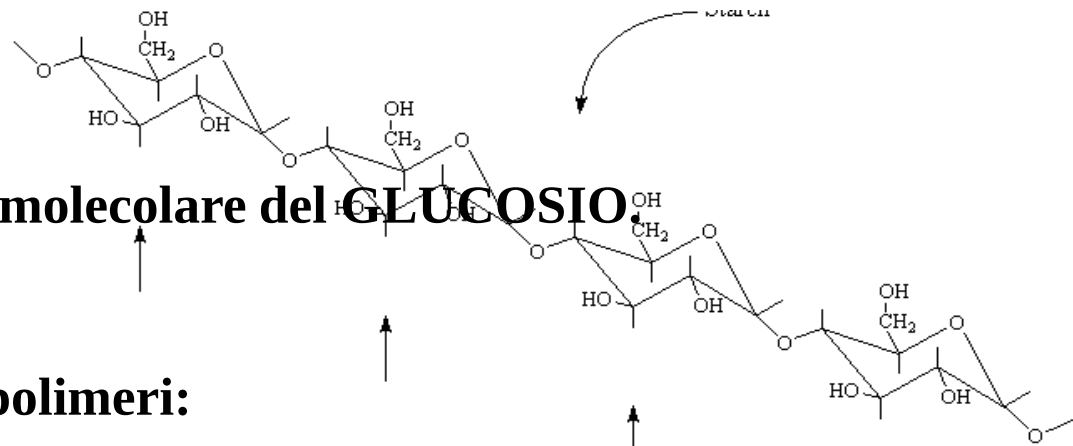
L'AMILOSIO e l'AMILOPECTINA entrambi formati da GLUCOSIO.

L'amilosio è LINEARE e il legame tra le molecole di glucosio viene chiamato **α -1,4 glucosidico:**

l'-OH legato al carbonio in posizione 1 della prima molecola di glucosio reagisce con l'-OH legato al carbonio in posizione 4 della molecola di glucosio seguente.

A causa del modo in cui le due molecole di glucosio sono orientate (entrambe nella stessa direzione) il legame viene definito α

Le molecole di amilosio possono essere formate da circa 1000 residui di glucosio anche se c'è una certa variabilità nella loro lunghezza.



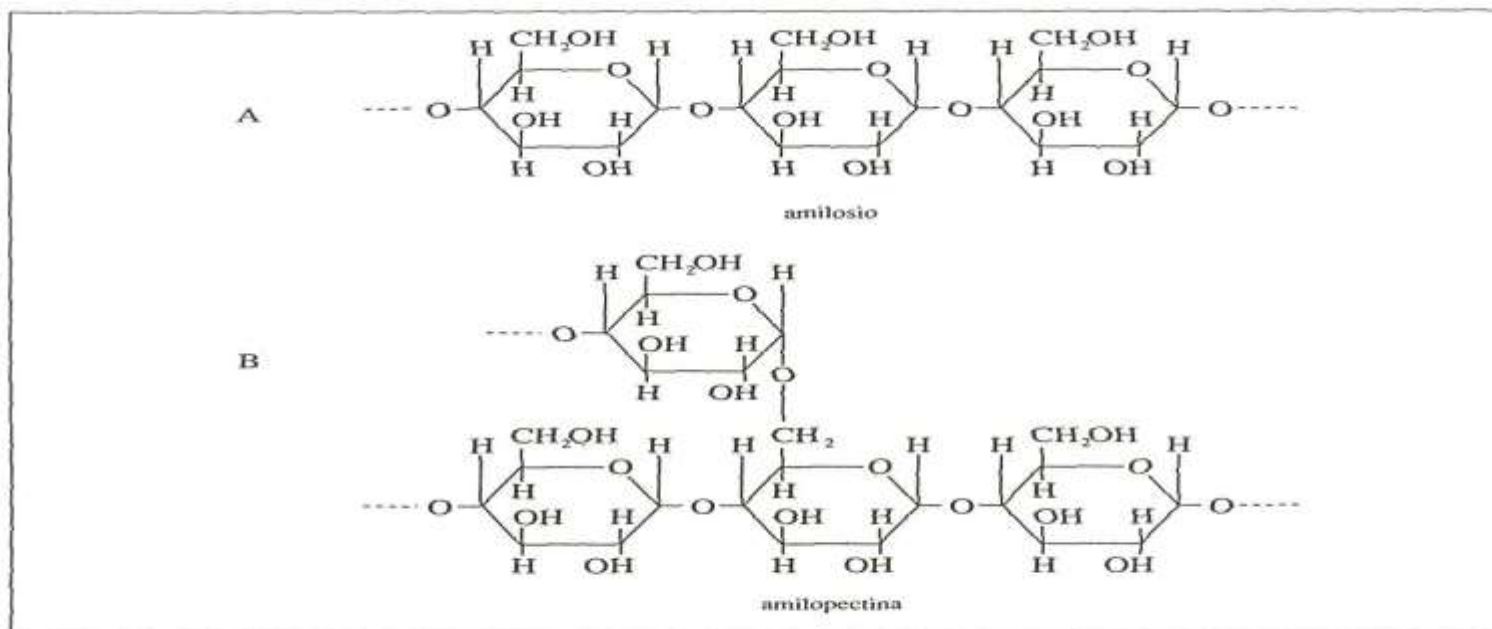
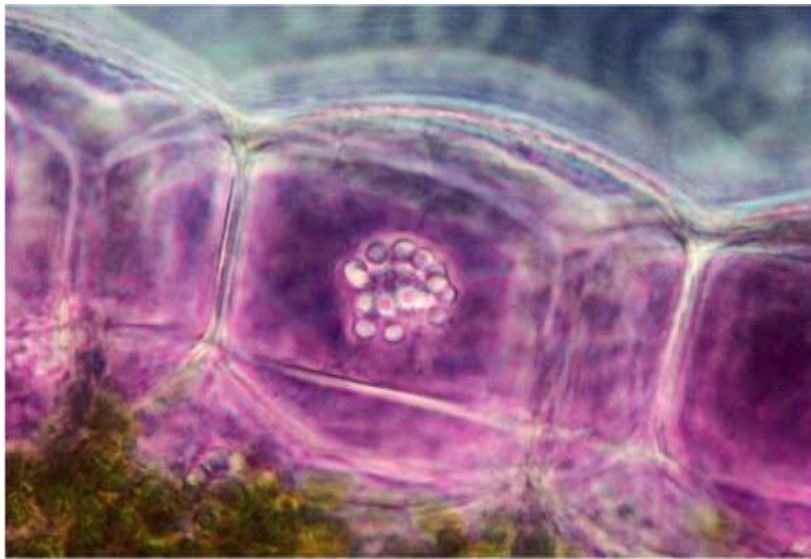


Figura 4.18. - Struttura dell'amido (A) e della amilopectina (B).

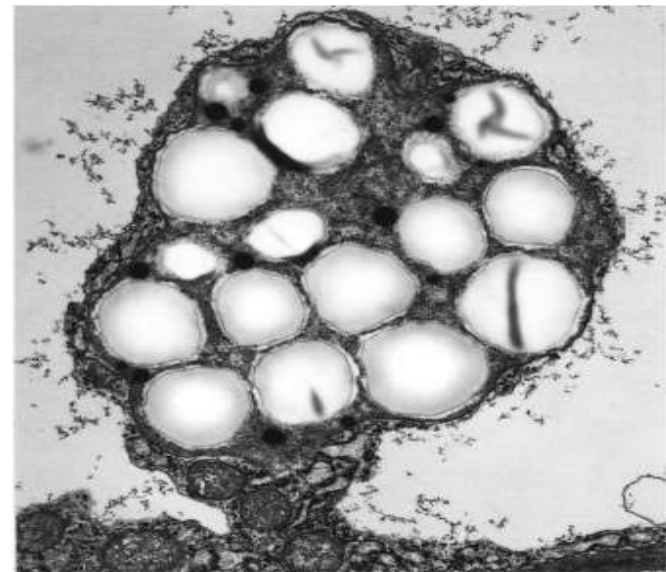
L'amilopectina è un polimero del **glucosio RAMIFICATO**: ad alcune molecole di amilosio vengono attaccati in posizione 6 altre molecole di glucosio (**legame α -1,6**).

Da tali molecole la polimerizzazione proseguirà mediante legami α -1,4 costruendo catene laterali costituite da circa 25 residui di glucosio.

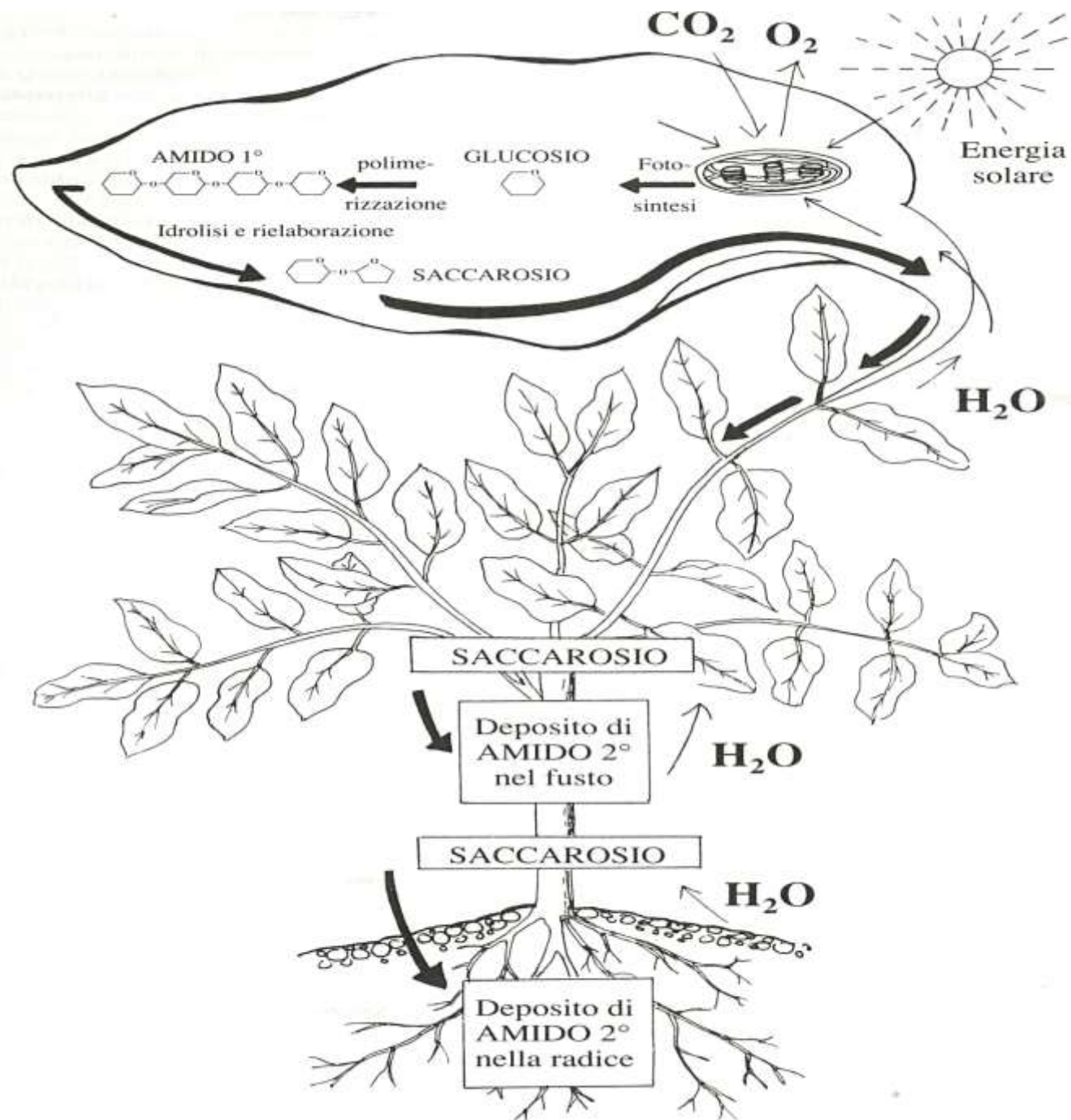
L'amido primario che si forma durante la fotosintesi nei cloroplasti dove è deposto in piccoli granuli, durante la notte quando non si ha fotosintesi viene idrolizzato in dimeri di saccarosio (un glucosio + un fruttosio) i quali vengono poi trasferiti negli **organi di riserva** dove si ripolimerizzano nei leucoplasti a formare l'amido secondario.



20 μm



1 μm



Ciclo dell'amido: il **glucosio** prodotto durante la fotosintesi, viene polimerizzato in una forma insolubile (amido primario), osmoticamente inerte e poco ingombrante.

Lo stesso deve essere necessariamente traslocato attraverso il sistema conduttore della pianta (floema) in una forma solubile (**saccarosio**) per poi essere ripolimerizzato una volta giunto agli organi di riserva (amido secondario).